



Nr C 433

Februari 2019

Reviderad april 2020

Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan

– inklusive konsekvenser av befintliga åtgärder och styrmedel

På uppdrag av Naturvårdsverket och Boverket

Martin Erlandsson



Författare: Martin Erlandsson

På uppdrag av: Naturvårdsverket och Boverket

Rapportnummer C 433 (rapporten finns som en tidigare variant som erhålls på begäran)

ISBN 978-91-7883-095-4

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2019

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	4
1 Introduktion.....	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Tidigare utförda arbete	7
1.3 Mål, syfte och avgränsningar	8
2 Metodval.....	9
2.1 Analys i ett livscykelperspektiv.....	9
2.2 Grundläggande modellansats.....	10
2.2.1 Karbonatisering av betong.....	13
2.2.2 Sänkor av förnybart kol.....	14
2.3 Uppskalning till årlig konsumtion	16
3 Referensscenariot.....	18
3.1 Olika utsläppskällor	18
3.1.1 Nybyggnad	18
3.1.2 Teknisk förvaltning och ombyggnad	19
3.1.3 Driftsenergi	22
3.1.4 Driftens vattenanvändning	24
3.1.5 Slutskede.....	25
3.1.6 Personbilar och lätta lastbilar	25
3.2 Klimatpositiva aspekter – negativa utsläpp.....	26
3.2.1 Karbonatisering.....	26
3.2.2 Lagring av biogent kol i byggnadsstocken.....	27
3.2.3 Koldioxidinfångning och lagring.....	30
3.3 Referensscenariot: Framtidens klimatpåverkan med befintliga styrmedel.....	30
3.4 Validering av modell och resultat (tillägg 2020)	32
4 Förslag på fortsatt arbete	38
5 Erkännande av stöd	40
6 Referenser.....	41
7 Bilagor.....	45
7.1 Klimatpåverkan för olika byggnadstyper.....	45
7.2 Klimatpåverkan för elmix	46

Sammanfattning

IVL har fått i uppdrag av Naturvårdsverket och Boverket att ta fram en modell för framtagande av klimatscenarier för bygg- och fastighetssektorn. Denna rapport har uppdaterats 2020 med avseende på främst nya bindemedelshalter i betongen, samt att en validering gjorts av den här utvecklade LCA-modellen med den input-output (I/O) modell som används i Boverkets miljöindikatorer.

Rapporten beskriver en modell som gör det möjligt att ta fram och analysera ett nationellt klimatscenario för bygg- och fastighetssektorn som påverkas av hur mycket vi bygger och vad. Modellen baseras på ett antal processer som påverkar byggandet, brukandet samt hur mycket som byggs och vad, det vill säga vilka typbyggnader. Detta gör att modellen kan analysera förändringar, såsom hur vi i framtiden väljer att bygga i form av byggnader för olika ändamål, val av byggnadstyper/byggplattformar, förbättrad miljöprestanda för byggmaterial osv. Resultatet i modellen blir då ett framtidsscenario och dess klimatpåverkan till och med 2050. Sådana scenarier kan användas för att visa möjliga effekter på utsläpp av klimatgaser utifrån definierade aktiviteter i bygg- och fastighetssektorn.

Då de typbyggnader som används i beräkningen kan ha ett inventeringsdjup ner på minsta byggmaterial, så kan modellen beskriva materialomsättningen för nyproduktion och tillbyggnad. För ombyggnad, reparation och utbyte har förenklade nyckeltal tagits fram, som gör att det inte går att bestämma vilka material dessa aktiviteter ger upphov till. För att bestämma vilka material som används för ombyggnad, reparation, utbyte och annat underhåll krävs ett utvecklingsarbete. Ett förslag på hur dessa materialflöden kan kopplas till olika byggprocesser ges i rapporten.

Med modellen är det möjligt att analysera olika former av skärpta styrmedel och åtgärder för att nå uppsatta nationella klimat- och luftföroreningsmål. Dessa scenarier kan jämföras med det referensscenario som tagits fram och som validerats mot en tidigare rapport av IVA och Boverkets miljöindikatorer.

Referensscenariot har utvecklats i projektet och beskriver en framtida utveckling med befintliga styrmedel. Referensscenariot visar att klimatpåverkan från bygg- och fastighetssektorn kommer gå ner kraftigt efter 2018 och detta beror främst på att byggtakten avtar starkt de närmaste åren. Även tillkommande energianvändning från nyproduktionens energianvändning under driften kommer minska och beaktas i referensscenariot. Det finns ett behov att även analysera hur klimatpåverkan kan minska per process, per producerad enhet och så vidare.

I denna reviderade versionen av rapporten så har bindemedelshalterna i betong ökat. Det är viktigt att ha ett representativt värde av bindemedelshalt i betong då det ger stort utslag för byggnadens klimatpåverkan. Med det nya värdet anses referensscenariot bättre avspeglade dagens klimatpåverkan.

I projektet har en definition av klimatpositiva åtgärder tagits fram, samt ett sätt att kommunicera detta resultat. En ny metod föreslås för att bedöma det klimatpositiva bidraget från träbaserade produkter som byggs in och som finns i byggnadsstocken, det vill säga omfattar det årliga nettotillskottet. Detta betyder att den föreslagna metoden är konservativ, då den inte inkluderar det som redan finns inbyggt, eller att till nettotillskottet addera en halveringstid som normalt görs i internationell klimatrapportering. För att bedöma klimatnyttan av det som redan finns inbyggt och möjligheten att inkludera en halveringstid bör utredas vidare.

Även nya beräkningar som visar på betydelsen av upptag av koldioxid från betong under driftsskedet har tagits fram. Det unika med denna beräkning av karbonatiseringen av betong är att det är den första nationella analysen som gjorts med den nya metoden som utvecklats inom den europeiska standardiseringen (EN 16 757:2017). Denna positiva klimatpåverkan är signifikant och tillsammans med detaljinformation om processerna till sektorns klimatbelastning ger referensscenariot en ny högupplöst bild på storleksordningarna för olika delar som bidrar till klimatpåverkan idag och i en framtid.

Visionen är att modellen ska vidareutvecklas och användas då nya styrmedel utvärderas. Den ska användas som stöd för att analysera utvecklingen inom bygg- och fastighetssektorn och möjligheterna att nå de nationella klimatmålen till 2030, 2040 och 2045.

Genom en framtida vidareutveckling av både I/O- och LCA-modellen så kan de komplettera varandra. I/O-modellen kan användas för att följa upp byggsektorns klimatpåverkan och se trender bakåt i tiden. LCA-modellen kan användas för att göra framtidsanalyser och studera konsekvenser av olika förändringar eller konsekvenser av nya policys eller lagstiftning.

En vidareutveckling av den framtagna modellen kan göras genom att lägga till fler och parameterstyrda typbyggnader. På så sätt enskilda materialflöden och val av olika byggplattformer modelleras, vilket är nästa steg i utvecklingen av det verktyg som presenteras. Med en sådan utbyggnad kan all nybyggnad modelleras högupplöst och förbättringar för enskilda materialslag kan simuleras. För att uppnå samma möjlighet för ombyggnad krävs tillgång till bättre statistik för vad den ombyggnad som genomförs redan idag omfattar för byggaktivitet. Samtidigt måste även ett underlag tas fram som på processnivå beskriver framtida drift, underhåll och ombyggnad, för att kunna göra samma simuleringar i modellen för ombyggnadsåtgärder.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

IVL har fått i uppdrag av Naturvårdsverket och Boverket att ta fram en modell för framtagande av klimatscenarier för bygg- och fastighetssektorn. Framtagande av klimatscenarier för bygg- och fastighetssektorn är ett initiativ som startades upp inom ramen för Miljömålsrådets arbete och drivs av Naturvårdsverket och Boverket. Initiativet syftar till att ta fram en metod och resultat som beskriver hur utsläppen av växthusgaser och luftföroreningar kan komma att utvecklas kopplat till olika scenarier för bygg- och fastighetssektorn (Boverket 2018a). Detta arbete visar att det finns ett behov av att ta fram en metod för att få fram nationella klimatscenarier för bygg- och fastighetssektorn. Sådana scenarier ska visa möjliga effekter på utsläpp av klimatgaser utifrån aktiviteter i bygg- och fastighetssektorn med en bred systemansats.

Det finns ett behov av att scenarierna ska beskriva utvecklingen utifrån befintliga styrmedel, s.k. referensscenarier, och utifrån skärpta styrmedel och åtgärder för att uppsatta nationella klimat- och luftföroreningsmål ska kunna nås, s.k. målsценarier (2 °C måluppfyllelse). Scenarierna ska användas som stöd för att analysera den pågående utvecklingen inom bygg- och fastighetssektorn, möjligheterna att nå de nationella klimatmålen till 2030, 2040 och 2045 och för att understödja en ekologiskt hållbar utveckling av byggandet. Olika scenarier ska kunna tas fram baserat på hur det faktiska byggandet utvecklas.

De tidigare målsценarier från Naturvårdsverket som Miljömålsberedningen (SOU 2016:47) använde sig av när förslaget till nya klimatmål för Sverige togs fram, tog inte hänsyn till möjliga effekter av ett ökat byggande i landet. Det behöver därför tas fram nya metoder för scenarier som även tar hänsyn till effekter på klimatpåverkan, det vill säga utsläpp till luft av växthusgaser och negativa utsläpp från sektorn, samt en förändrad energianvändning och byggande som vi nu ser framför oss.

Ett sådant referensscenario behöver ta sin utgångspunkt i Boverkets byggprognoser och Energimyndighetens långsiktsprognois. Den metod som behövs ska följa samma systemgränser som används för Boverkets miljöindikatorer, med särredovisning av den andel av utsläpp- (och energianvändning) som kan komma att ske i Sverige som följd av utvecklingen inom byggsektorn. De nya scenarierna jämförs med den tidigare antagna utvecklingen i berörda sektorer (arbetsmaskiner, vägtransporter, basmaterialproduktion m.m.) i de målsценarier som användes av Miljömålsberedningen.

1.2 Tidigare utförda arbete

Byggsektorns Kretsloppsråd utförde tidigt en analys av byggsektorns miljöpåverkan, vilken bedömdes i relation till de nationella miljömålen (klimatpåverkan, försurning, övergödning, marknära ozon och energianvändning). Analysen var ett delunderlag i byggsektorns miljöutredning (Erlandsson 2001), för att bedöma betydande miljöaspekter och det producentansvar som då debatterades. Denna miljöutredning uppdaterades 2006, men nu med en bredare inventering som innebar att all materialanvändning inkluderades baserat på intern konsumtion (Carlson m.fl. 2008).

IVA initierade ett projekt för att stimulera till såväl fortsatt diskussion och kunskapsuppbyggnad, som till aktiva åtgärder för att minska byggprocessens och materialproduktionens klimatpåverkan. I rapporten från projektet (Byman 2014) konstaterades att det i dag finns tillräcklig kunskap för att agera, att tidiga skeden är avgörande och att varje aktör som ansvarar för bygginvesteringar bör göra en tidig analys av klimateffekterna för att förstå helheten och söka efter alternativ vad gäller utformning, val av material och metoder.

Det senaste initiativet inom sektorns frivilliga miljöarbete att driva frågan är Byggsektorns Färdplan (Fossilfritt Sverige 2018). I detta branschgemensamma färdplansarbete har ett stort antal aktörer enats om en vision om att år 2045 är värdekedjan i bygg- och anläggningssektorn klimatneutral och konkurrenskraftig, helt i linje med Sveriges mål samt samhällets och världens behov.

Boverket publicerar årligen miljöindikatorer¹ som beskriver utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn ur ett livscykelperspektiv. Beräkningarna baseras på en input/output-analys som utgår från SCB:s miljöräkenskaper. Indikatorn beskriver de utsläpp som uppstår från aktiviteter i samtliga skeden under byggnaders livscykel: produktion av byggmaterial och produkter, uppförande av byggnader, transporter, drift- och användning av byggnader, rivning och återvinning. Eftersom miljöräkenskaperna utgår ifrån ekonomiska transaktioner mellan olika branscher och ekonomisk handel med varor och tjänster så försvåras möjligheten att härleda vilka processer och materialflöden som orsakar klimatpåverkan. Den information som finns om vilka produkter som används inom byggsektorn är också på en ganska grov nivå. Detta gör att metoden blir begränsande som underlag för att ta fram scenariobaserade miljöpåverkan som utgår ifrån prognoser för framtida ny-, om-, tillbyggnad samt utbyte, drift och underhåll.

¹ Boverket (2018). *Miljöindikatorer - aktuell status*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/> Hämtad 2019-01-20.

1.3 Mål, syfte och avgränsningar

I uppdragsbeskrivningen till det uppdrag som redovisas här anges att en metod tas fram där utsläpp av klimatpåverkan från olika typbyggnader (arketyper) skalas upp till utsläpp på nationell nivå. Beräkningen av klimatpåverkan ska grunda sig på livscykelanalyser av växthusgasutsläpp av olika typer av byggnader som är representativa för det som byggs idag. Metoden ska tillämpas genom att analysera exempel på en förändrad byggteknik och analysera dessa konsekvenser på klimatpåverkan. Både bostäder och lokaler ska ingå i analysen. I uppdraget ingår också att beskriva hur metoden ska kunna användas för att se möjliga effekter på de totala utsläppen av luftföroreningar och klimatgaser utifrån aktiviteter i bygg- och fastighetssektorn i förhållande till klimatmålet 2045.

Målet med det genomförda uppdraget är att ta fram en metod som gör det möjligt att beskriva den svenska bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan i framtiden och den version som tagits fram nu är grundmodellen som beskriver ett referensscenario, det vill säga vad som förväntas hända med de styrmedel som redan finns. I ett tillkommande steg så kan denna modell byggas på så att den kan hantera olika åtgärdsscenario. Syftet med den metod som tas fram är att ett underlag som ska kunna ligga till grund för arbete med målsценарier om klimatutsläpp från bygg- och fastighetssektorn. Målet är att denna metod sedan ska kunna vidareutvecklas och förfinas för att kunna analysera konsekvenser av olika styrmedel och åtgärder.

Den livscykelanalyismetodik som används utgår ifrån de metodanvisningar som utvecklats gemensamt inom den europeiska standardiseringen (CEN TC 350). Eftersom dessa standarder (EN 15804, EN 15978) inte innehåller några metodanvisningar för hur negativa klimatutsläpp ska hanteras så har en sådan metodik utvecklats vid genomförande av uppdraget.

För att validera resultatet av det referensscenario som tagits fram här så har resultatet från 2015 använts för att jämföra med resultatet med den klimatindikator som beräknas med en input/output-analys som Boverket redovisar.

2 Metodval

2.1 Analys i ett livscykelperspektiv

Utgångspunkten för den metod som används här för att beskriva bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan baseras på livscykelanalys (LCA) med metoder som allmänt tillämpas för byggprodukter och byggnadsverk baserat på europeiska standarder (CEN 2012, CEN 2013). Bidraget av utsläpp och upptag av olika växthusgaser räknas samman i en LCA till klimatpåverkan. Detta sätt att lägga samman bidraget från olika växthusgaser baseras på en allmänt använd metod från IPCC och resulterar i en koldioxidkvivalent (CO_2e), som beskriver bidraget till klimatpåverkan (GWP100, Global Warming Potential på 100-års sikt). Vi förkortar detta sätt att räkna som GWP-100 och noll-räknar då biogena koldioxidutsläpp. Det vill säga utsläpp och upptag av biogen koldioxid som kommer från ekosystem som är i balans bidrar inte till någon klimateffekt, vilket däremot förändrad markanvändning gör eller utsläpp av andra biogena växthusgaser såsom metan. Detta gör utsläppen av biogen koldioxid koldioxidneutral, vilket inte är samma sak som att de är klimatneutrala, där olika åsikter finns. Det betyder att LCA-metoden enligt de Europiska standarderna EN 15804 och EN 15978 måste kompletteras för att kunna hantera för klimatet positiva åtgärder såsom biogen koldioxidinfångning och lagring, samt betydelsen av olika temporära kolsänkor.

Negativa utsläpp av växthusgaser kan erhållas genom infångning och lagring av växthusgaser från förnybara resurser (bio-CCS), vilket ger en klimatpositiv miljöpåverkan. På samma sätt ger en temporär biogen kolsänka en klimatpositiv effekt och ingår i den nationella klimatrapporteringen. Ett exempel på detta är träbaserade produkter som byggs in i byggnader eller på andra sätt i samhället (dvs redovisas då som "harvest wood products", HWP). Det finns förenklade metoder anvisade av IPCC för beräkning av HWP till klimatrapporteringen (UNFCCC), men andra mer utvecklade metoder kan användas istället om det går att motivera. Nedan finns en beskrivning av en metod som utvecklats här för att få med bidraget från träbaserade produkter som finns i byggnadsstocken. Klimatpositiva aspekter från åldring av betong (karbonatisering) saknas dock för närvarande i internationell klimatrapportering, men förslag finns framme (Stripple m.fl. 2018).

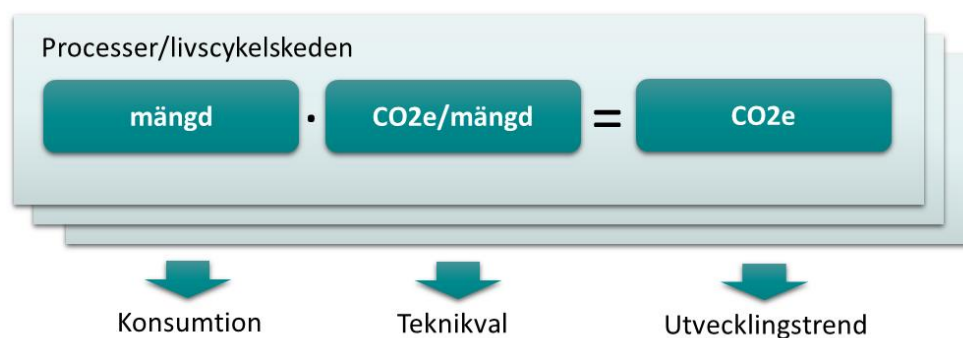
LCA-metodik kan generellt sett förenklat delas in i bokförings-LCA respektive konsekvens-LCA. Val av systemperspektiv styrs av vad LCA-beräkningarna ska användas till. Det korrekta metodvalet om syftet är att analysera de utsläpp som faktiskt sker i den verkliga världen är bokförings-LCA, där summan av all resursanvändning enligt denna metodansats överensstämmer med de totala globala utsläppen som redovisas i statistiken (även nämnt som 100-procentregeln, se utförligare förklaring och bakgrund i Erlandsson m.fl. 2014).

Eftersom en LCA utförs i ett livscykelperspektiv så inkluderas miljöpåverkan – eller miljöryggsäcken – för de resurser som används i den svenska bygg- och fastighetssektorn

oavsett i vilket land utsläppen sker. Detta betyder att en LCA för den svenska användningen av resurser alltid inkluderar sådan uppströms påverkan som eventuellt skett utomlands. Däremot är det inte brukligt i en LCA att skilja på i vilket land utsläppet skett, varför denna särredovisning skulle kräva ett extra arbete för att få fram och i vissa delar behöva skattas och har därför inte inkluderats i den metod som utvecklats här. Boverkets indikator för utsläpp av växthusgaser beräknas som inhemska (territoriella) utsläpp inklusive import. I praktiken betyder detta att en LCA och Boverkets indikator för växthusgaser inklusive import, har samma principiella systemgräns och ger i detta avseende jämförbara resultat. Däremot fördelas miljöpåverkan, i den LCA-metodik som tillämpas i byggsektorn, efter fysiska orsaks- och verkanssamband och bundna egenskaper (såsom värmevärde, bundet biogent kol) kan inte allokeras bort i en bokförings-LCA. Boverkets miljöindikatorer baseras på en ekonomisk transaktionsmodell, det vill säga ett ekonomiskt orsaksverkanssamband, vilket gör att klimatpåverkan som sker i en sektor allokeras baserat på det ekonomiska värdet av olika flöden/transaktioner. Denna grundläggande skillnad gör att de två metoderna inte nödvändigtvis ger samma resultat.

2.2 Grundläggande modellansats

Mycket förenklat kan man beskriva att den modell som behövs för att ta fram ett framtida scenario för bygg- och fastighetssektorn består av ett antal processer. För varje sådan process konsumeras årligen en viss mängd resurser (material, energi och tjänster), där varje resursmängd har en klimatpåverkan. Summeras alla dessa resurser som används i sektorn processer så erhålls den årliga klimatpåverkan. Vi får på så sätt en modell med processer/livscykelkedan som på ett kvantifierbart sätt beskriver sektorns klimatpåverkan, se Figur 1.



Figur 1 Grundläggande beståndsdelar i den modell som utvecklats.

En grundförutsättning för modellen var att den skulle ha ett livscykelperspektiv, varför de analyserade processerna representerar skalbara delar av livscykeln. Bidraget till årlig klimatpåverkan i modellen är därför uppdelad på olika övergripande processer med benämningar enligt EU-standarden EN 15978 informationsmoder (se Tabell 1), där teknisk förvaltning är en sammanslagning av B2) Underhåll, B3) Reparation, B4) Utbyte, se Figur 2.

A1-5 Nybyggnad

B2-4 Teknisk
förvaltning

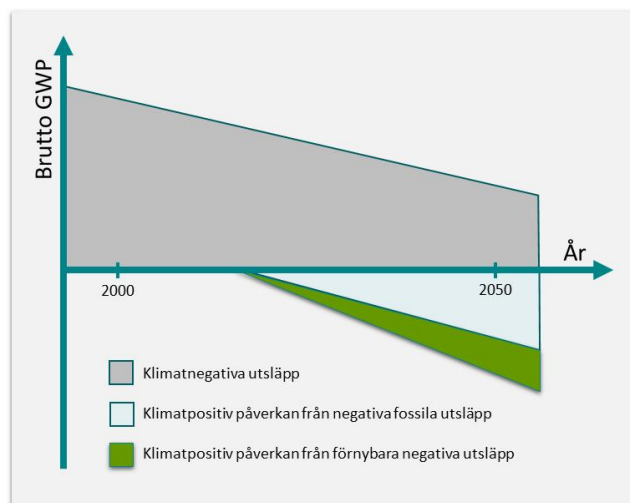
B5 Ombyggnad

B6 Drifts-
energiB6 Driftens
vattenanvändning

C Slutskede

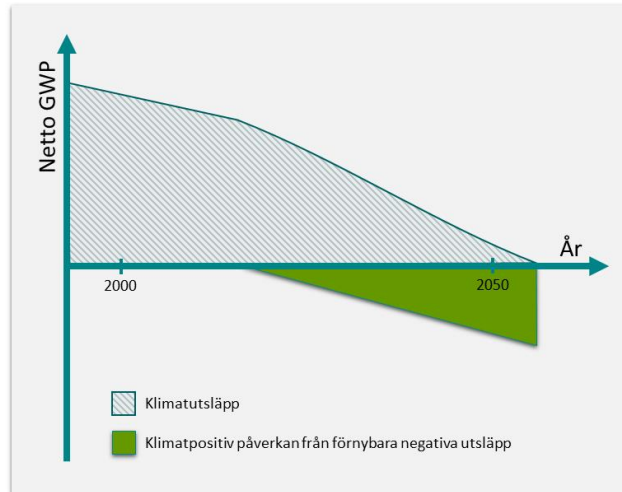
Figur 2 Grundläggande beståndsdelar i den scenariomodell som utvecklats.

Varje sådan process är skalbar och den årliga mängden beskriver hur mycket som konsumeras/ används. Klimatpåverkan beror sedan på de teknikval som gjorts (se Figur 1). Såväl konsumtion som teknikval kommer att förändras i framtiden och denna struktur är grunden för att modellen ska kunna användas för att analysera konsekvenser av sådana förändringar. Modellens primära syfte är visserligen det framåtblickande perspektivet men den måste valideras och till viss del baseras på historiska data. En annan komplexitet är att vissa aspekter inte är beroende av årlig resursanvändningen eller materialtillskottet, utan även av vad som redan finns inbyggt i byggnadstocken. Detta gäller för positiv klimatpåverkan såsom lagring av kol i en sänka eller det upptag som sker av koldioxid genom betongens åldrande (karbonatisering).



Figur 3 Illustration av utsläpp av växthusgaser och negativa utsläpp (både från upptag i skog och mark samt övriga negativa utsläpp).

Skillnaden mellan bilden ovan och nedan är att utsläpp av fossila växthusgaser som sedan åter fångats in inte särredovisas som två olika poster i Figur 4, utan nettoräknas (se det ljusblå fältet i Figur 3 som inte finns med i Figur 4, utan istället gör att ytan som beskriver klimatutsläppen nu är mindre). Om bara netto-GWP redovisas syns inte exakt hur mycket fossila växthusgaser som fångas in, varför detta alternativ kan ses som mindre transparent.



Figur 4 Illustration av nettoutsläpp av växthusgaser (netto GWP), där de negativa värdena under x-axeln utgör sådana åtgärder som bidrar till temperatursänkning.

En klimatpositiv aktivitet innebär enligt definitionen i denna rapport att utsläpp av växthusgaser tas bort från atmosfären, ofta efter att den släpps ut från en mänskligt orsakad källa. Upptaget av växthusgaser kan dels ske naturligt eller antropogent på något sätt såsom koldioxidinfångning och lagring. För att inte få in naturliga processer och den inbindning som sker där så måste en tidsgräns sättas på varaktigheten av en sådan här process. Vi föreslår därför att förändringar och negativa aspekter kopplade till en klimatpositiv åtgärd ingår under en tidsperiod på 100 år i en LCA och den modell som utvecklas. På så sätt får resterande klimatpåverkan betraktas som "naturliga" (denna restpost benämns även som "stored impact" i vetenskapliga artiklar). Inom LCA-tillämpningen används ibland tidsbegrepp som överblickbar tid (Sundqvist m.fl. 2002), men ett mer pragmatiskt synsätt är att sätta en bortre parentes på 100 år (se exempelvis EN 15804), vilket då gäller både utsläpp och upptag av växthusgaser.

För att understryka och bättre förstå innebörden av olika åtgärdsstrategier måste vi kunna särskilja på sådana aktiviteter som kan leda till en minskad klimatpåverkan (Figur 3), respektive en åtgärd som kan bidra till negativa utsläpp av växthusgaser som gör att vi kan sänka klimatpåverkans temperaturhöjning (dvs netto negativa GWP enligt Figur 4). Ett annat ord för negativa utsläpp, eller upptag av klimatgaser, är att säga att de är klimatpositiva. Ovanstående definition innebär att minskad klimatpåverkan från en process inte kan betraktas som klimatpositiv eftersom det inte är ett utsläpp som sedan tas upp igen, utan är just bara en minskning före och efter en åtgärd.

Om den koldioxid som tas bort från atmosfären är permanent kan det bidra till en kolsänka som enkelt beräknas med koldioxidekvivalenter enligt IPCC och förkortas GWP_{100} , Global Warming Impact (2013). Om däremot den koldioxid som tas bort inte är permanent, så måste klimatpåverkan beräknas genom att analysera det årliga strålningsbidraget (RF, Radiative Forcing) under en given valbar tidsrymd och sedan räkna om detta till GWP. I många analyser är det vanligt att begränsa GWP till 100 år (dvs GWP_{100}) och en konsekvens av detta är att alla sänkor som är längre än 100 år kan betraktas som permanenta. Det utsläpps som eventuellt sker efter 100 år ger då inte upphov till något bidrag till GWP_{100} . En sådan sänka får då samma storlek som fossil

koldioxidutsläpp under 100 år, men med ett negativt bidrag. Denna klimatpositiva sänka redovisas då som ett bidrag som hamnar under x-axeln i Figur 4.

I modellen så uppstår klimatpositiva utsläpp vid karbonatisering, främst från portlandsklinker som absorberar koldioxid som en del av sitt naturliga åldrande.

Även biogent kol och då främst från långlivade produkter som trä i byggnader utgör en kolsänka med klimatpositiva egenskaper. Idag är det vanligt att detta görs i internationell klimatrapporering, men det saknas allmänt accepterade metoder för hur en biogen kolsänka skulle kunna inkluderas i en livscykelanalys (LCA). EU:s forskningscentra JRC (Ispra) som arbetar med metodiken för klimatavtryck (PEF) har föreslagit att för alla sådana sänkor som är längre än 100 år kan 1 kg biogen koldioxid sättas lika med en lika stor klimatpositiv koldioxidekvivalent (Castellani m.fl. 2018). Å andra sidan så erhålls inget klimatpositivt bidrag med denna metod om sänkan är kortare än 100 år. Andra metoder såsom PAS2050 (2008) föreslår en linjär skalning mellan 0 och 100 år, men även andra scenariobaserade metodförslag finns (Erlandsson & Zetterberg 2017).

Nedan presenteras den metodutveckling som gjorts för att kunna inkludera bidraget från klimatpositiva aspekter från betong och träprodukter. Notera att de metoder som ges nedan skiljer sig från de schablonmetoder som idag används för beräkning av klimatpositiva bidrag från karbonatisering och lagring av biogent kol i samhället i den internationella klimatrapporeringen.

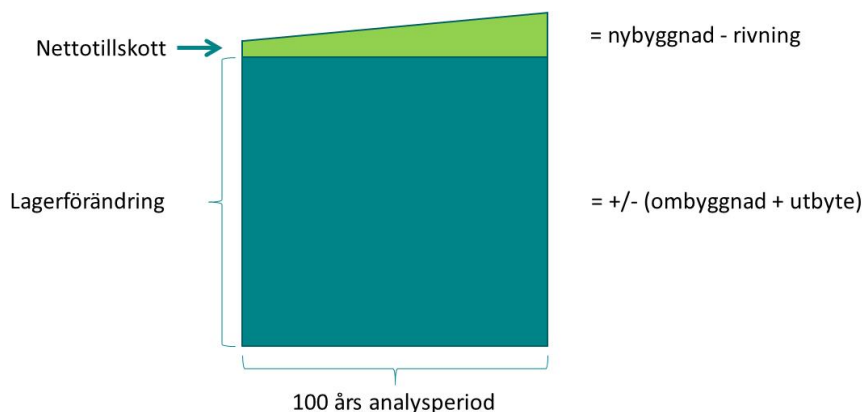
2.2.1 Karbonatisering av betong

I internationell klimatrapporering inkluderar för närvarande inget land karbonatisering av betong. Det finns dock olika metoder framtagna med olika grader av förenklade ansatser för att bedöma bidraget från karbonatisering och dessa beskrivs utförligt i en rapport av Stripple m.fl. (2018). Metodmässigt är karbonatiering av betong ganska oproblematiske och en koncensusbaserad metod finns framtagen gemensamt mellan de Europiska standardgrupperna i CEN för fabriksbetong och prefabricerade betongelement (se exempelvis bilaga BB i EN 16 757:2017). Det som behöver förtydligas är att vi i modellen här generellt sett har antagit en tidsmässig avgränsning för utsläpp och upptag på 100 år. Av denna anledning så antas karbonatiseringen också bara fortgå under 100 år. Detta antagande stämmer också med hur Andersson m.fl. (2013) gör i en beräkning av det svenska byggnadsbeståndets karbonatisering.

Vidare antas i referensscenariot att all framtida rivning av betong återanvändas i vägkonstruktioner under asfalt eller i betong, vilket innebär ett på nationell nivå försumbart klimatpositivt bidrag från denna del då karbonatiseringen i dessa miljöer är små och krossningen och bearbetning orsakar också ett koldioxid bidrag som i sådana fall ska beaktas. Om betongen däremot hade finkrossats och exponerats för luft hade karbonatiseringen kunnat ökas betydligt (se Stripple m fl. 2018). Då vi inte identifierat någon befintlig studie som gjort karbonatiseringsberäkningar för Sverige baserat på bilaga BB i den europeiska standarden 16 757:2017 (se ovan), så har sådana beräkningar gjort i denna utredning (se vidare i avsnitt 3.2.1) och är på så sätt unika.

2.2.2 Sänkor av förnybart kol

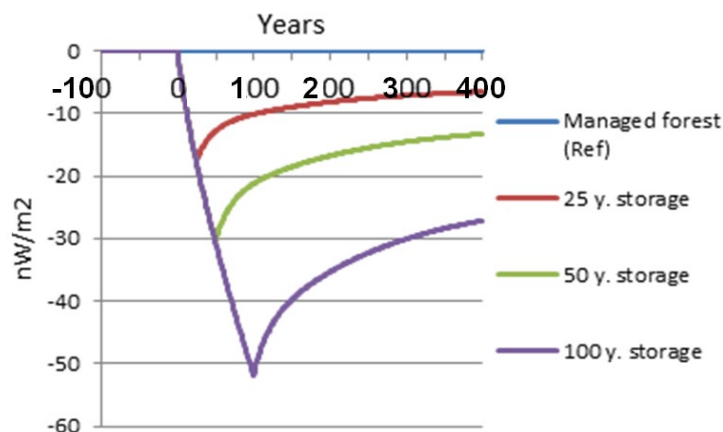
I internationell klimatrapporering används en förenklad metod för att bedöma bidraget av förnybar biogent kol som finns upplagrad i samhället. Eftersom detta metodantagande bygger på produkter som har en begränsad livslängd så utgår modellen från att olika produktgrupper får olika halveringstider. Eftersom byggnadsstocken ökar, så ökar också mängden inbyggt biogent kol från träprodukter. Historiskt sett har andelen rivning varit mycket liten och det är därför rimligt att utgå ifrån att detta även gäller i framtiden och därför kommer även detta bidrag till byggnadsstockens nettoförändring vara mycket liten. Istället är det nybyggnation och tillbyggnad som kommer bidra till denna nettoökning av upplagrat biogent kol i den byggda miljön. En viss förändring av byggnadsstockens materialsammansättning sker i och med ombyggnad, men denna förändring bedöms vara av mindre betydelse i förhållande till det årliga nettotillskottet av biogent kol från träbaserade produkter som kommer från nybyggnad. Detta gäller särskilt om andelen byggnader med trä som stommaterial ökar enligt den trend som sett vi sett de senaste åren (TMF 2017).



Figur 5 Bundet förnybart kol i byggnadsstocken, där det över tiden sker ett årligt nettotillskott genom nybyggnad och rivning (ljusgrönt), samt lagerförändring av träbaserade produkter inbyggda i byggnadsstocken orsakad av utbyte och ombyggnad (mörkgrönt).

Vi kan nu beräkna det årliga nettotillskottet genom att utgå ifrån att det trä som byggs in kommer finnas i stocken tills dess att byggnaden rivs och de delar av träbaserade produkter som byts antar vi förenklat byts ut till ursprunglig produkt. Vi behöver därför skilja på den delen av den inhemska konsumtionen av träprodukter som går till nybyggnad (ett nettotillskott), respektive den delen som bara antas ersätta redan befintliga inbyggda träprodukter. En rimlig bedömning är att denna förenkling är fullt acceptabel och ger ett betydligt mer korrekt resultat än de metoder som baseras på en halveringstid för att skatta nettotillskottet av inbyggt kol från träbaserade produkter.

Utöver det årliga nettotillskottet bidrar givetvis de produkter som finns lagrade i stocken med hänsyn till mindre förändringar (se Figur 5) till en klimatpositiv effekt. För att inkludera denna effekt och samtidigt nettoeffekten måste en dynamisk klimatberäkning göras, vilket inte ingår i denna utredning. Konceptuellt och metodmässigt motsvarar denna slags beräkning det som finns utförts i ett arbete av Erlandsson och Zetterberg (2017), se Figur 6.



Figur 6 Det klimatpositiva bidraget (givet i radiative forcing) beräknat för ett större skogsbestånd med likafördelad ålder och olika scenarion som inkluderar lagring av sågad vara i byggnadsstocken under 25, 50 eller 100 år, där ökad livslängd ger en positivt ökad effekt. Beräkningarna utgår ifrån 100 avverkningsytor på 1 ha vardera i olika steg med kontinuerlig produktion av 109 ton C/år som lagras 25, 50 eller 100 år och sedan förbränns och avges till atmosfären. Negativa värden motsvarar en klimatkylningseffekt eller med andra ord ett klimatpositivt bidrag från sågad vara som lagras i byggnadsstocken. (Erlandsson och Zetterberg 2017)

I de beräkningar som används i modellen används generellt en analysperiod på 100 år och bara sådana klimatpositiva biogena utsläpp från förnybara källor som är längre än 100 år inkluderas därför. Bara nettotillskottet inkluderas vilket gör att det är ett konservativt resultat, då bidraget från den befintliga byggnadsstocken försummas. För träbaserade produkter som byts ut under sin livslängd, med denna metodansats, så räknas således den inbyggda mängden som en sänka oavsett hur många gånger den byts ut under 100 år, förutsatt att det är samma mängd som hela tiden finns inbyggd. På så sätt uppstår ingen dubbelbokföring.

2.3 Uppskalning till årlig konsumtion

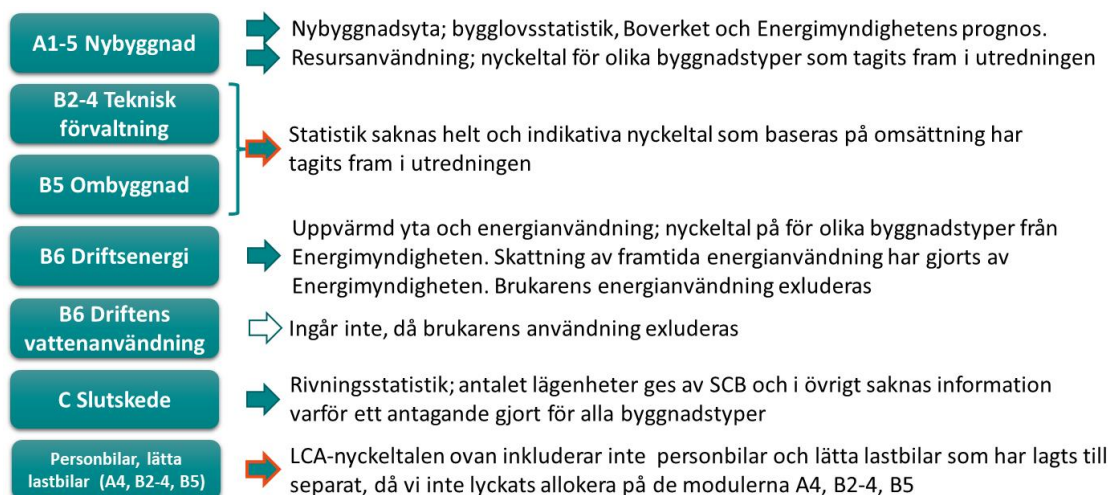
Ett behov som finns med den metod som eftersöks är att kunna relatera klimatpåverkan till en given process, eller i andra hand konsumtion av resurser (material, energi och tjänster). Ytterligare ett sätt att dela in miljöpåverkan är var den sker i byggnadens livscykel. I de LCA-metodanvisningar som införts i byggsektorn² så delas en byggnads livscykel in i; A) Byggskedet, B) Användningsskedet och C) Slutskedet. Dessa livscykelskedena delas i sin tur in i ett antal informationsmoduler enligt Tabell 1. Dessa informationsmoduler är det som vi kan betrakta som processer som grund för modellen.

Tabell 1 Översättning av livscykelskedena och informationsmoduler från CEN EN 15804 och EN 15978².

Livscykelskede och informationsmodul	Originalbenämning på engelska
A1-5 Byggskedet	A1-5 (termen saknas i EN 15804 och EN 15978)
A1-3 Produktskedet	A1-3 Product stage
A1) Råvaruförsörjning	A1, raw material supply
A2) Transport	A2, transport
A3) Tillverkning	A3, manufacturing,
A 4-5 Byggproduktionsskedet	A 4-5 Construction process stage
A4) Transport	A4, transport
A5) Bygg- och installationsprocessen	A5, construction, installation process
B1-7 Användningsskedet	B1-7 Use stage
B1) Användning	B1, use
B2) Underhåll	B2, maintenance
B3) Reparation	B3, repair
B4) Utbyte	B4, replacement
B5) Ombyggnad	B5, refurbishment
B6) Driftsenergi	B6, operational energy use
B7) Driftens vattenanvändning	B7, operational water use
C1-4 Slutskede	C1-4 End-of-life stage
C1) Demontering, rivning	C1, de-construction, demolition
C2) Transport	C2, transport
C3) Restproduktbehandling	C3, waste processing
C4) Bortskaffning	C4, disposal;

För att kunna skala upp modellen utifrån olika byggaktiviteter så behöver vi kunna skilja på nybyggnad och ombyggnad som innebär nytillskott av byggnadsarea, från ombyggnad, reparation, utbyte och andra underhållsåtgärder som inte innebär nytillskott av byggnadsarean. Även rivning som innebär att byggnadsarea försvinner måste särredovisas och motsvarar C) Slutskede enligt CEN-standarderna.

² <https://www.sis.se/en/standardutveckling/tksidor/tk200299/sistk209/>. Se rubriken: Översättning. Livscykelskedena och moduler i EN 15804 och EN 15978.



Figur 7 Bidraget till årlig klimatpåverkan i modellen uppdelad på olika övergripande processer med benämningar enligt CEN-standardernas informationsmoder, där teknisk förvaltning är en sammanslagning av B2) Underhåll, B3) Reparation och B4) Utbyte.

De processer som ingår i den första versionen av modellen beskrivs nedan i Figur 7. Dessa processer (eller underliggande informationsmoduler) har det gemensamt att de styrs av "mängden" nybyggnad, teknisk förvaltning, ombyggnad osv. Beroende på vald teknik kommer den resulterande klimatpåverkan att variera. Det är därför praktiskt, om möjligt, att det nyckeltal som beskriver klimatpåverkan för exempelvis nybyggnad i sin tur kan delas in i följande delprocesser/informationsmoduler (Erlandsson 2018a):

- A1-3 Produktskedet
- A4 Transporter
- A5.1 Spill, emballage och avfallshantering
- A5.2 Byggarbetsplatsens fordon, maskiner och apparater (energi till drivmedel m.m.)
- A5.3 Tillfälliga bodar, kontor, förråd och andra byggnader (energi till uppvärmning m.m.)
- 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.

Informationsmodul A5.1 till A5.5 är en utbyggnad av CEN-standardernas A5 Bygg- och installationsprocessen, som införts av Smart Built Environment som stöd för digitalisering av byggprocessen för att erhålla en ökad transparens (Erlandsson 2018a).

I nästa stycke redovisas datakällorna för de processer som beskrivs i Figur 7 och som ingår i modellens referensscenario.

3 Referensscenariot

3.1 Olika utsläppskällor

3.1.1 Nybyggnad

Nybyggnadens storlek kan analyseras utifrån ett antal byggnadstyper. Inledningsvis har olika byggnadstyper antagits utifrån den information som finns tillgänglig baserat på tillgänglig statistik. Den statistik som finns tillgänglig för nybyggnad gör det möjligt att skilja på följande byggnadstyper:

- Småhus
- Flerbostadshus
- Specialbostäder
- Fritidshus
- Kontor
- Affär
- Hotell, restaurang
- Skola, universitet
- Kultur, underhållning, sport
- Sjukvård, omsorg
- Industri, lager
- Trafik, kommunikation
- Annan byggnad

För varje byggnadstyp har ett LCA-klimatnyckeltal per kvadratmeter bruttoyta (kg CO_{2e}/m² BTA) tagits fram som beskriver klimatpåverkan (se bilaga 7.1). Dessa nyckeltal kombineras sedan med nybyggnadsstatistik. Dagens nybyggnadsstatistik omfattar inte jordbruksbyggnader vilket är en brist. Detta kan delvis förklaras med att i områden som inte omfattas av detaljplan får ekonomibygnader uppföras eller byggas till utan bygglov. Detta gör att modellen konsekvent underskattar nybyggnadens storlek. Ett annat problem är var gränsen går mellan byggnads- och anläggningssektorn. De nyckeltal som tagits fram ovan har en systemgräns som gör att allt ovanför terrassen det vill säga ovanför dränerande lager och uppåt betraktas som en del av byggnaden, medan resterande delar antas ingå i anläggningssektorn. Boverkets miljönyckeltal hanterar denna systemgräns genom en generell fördelningsnyckel som används för att allokera en viss del av den totala användningen av en byggresurs till anläggning respektive byggnader (se vidare under stycke 3.4).

Nyckeltalen per byggnadstyp omfattar ett antal informationsmoduler enligt följande: A1) Råvaruförsörjning, A2) Transport, A3) Tillverkning, A 4-5 Byggproduktionskedet, A4) Transport, A5) Bygg- och installationsprocessen. Informationsmodul A1-3 särredovisas normalt inte när LCA-miljödata används från miljödeklarationer (EPD, Environmental

Product Declaration) och benämns då produktskedet. Denna brist på transparens utgör normalt inget problem och bör inte leda till några betydande felskattningar.

Däremot saknas statistik på transportarbetet av byggmaterial till byggarbetsplatsen. Idag används schabloner för transporter vid LCA-beräkningar om uppgifter saknas, eller så bedöms det inte som signifikant för slutresultatet att justera till faktiska avstånd. De uppgifter gällande transportarbete som används vid beräkningarna överensstämmer med de som används i Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg (BM), se bilagan i Erlandsson (2018a). Detta transportarbete är enkelt att länka till ett visst material och en viss byggnadstyp. Mer problematiskt är det med det transportarbete som utförs av lätta lastbilar och personbilar. Lätta lastbilar och personbilar används för transport av personal, material, verktyg och byggmaterial och hanteras sammantaget för informationsmodul modulerna A4, B2-4, B5 i denna version av modellen, se vidare i nästa avsnitt.

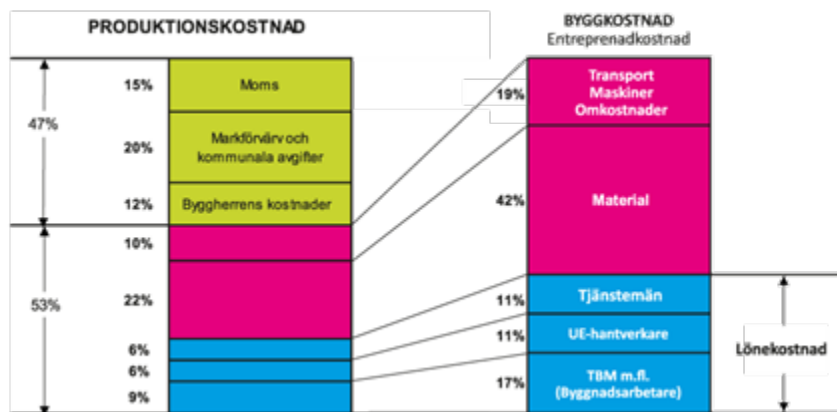
3.1.2 Teknisk förvaltning och ombyggnad

Teknisk förvaltning är en sammanslagning av B2) Underhåll, B3) Reparation, B4) Utbyte och innebär åtgärder som inte är standardhöjande, medan en ombyggnad förväntas leda till standardhöjande åtgärder. Idealt sett så skulle det finnas statistik som beskriver vilka resurser som används för teknisk förvaltning respektive ombyggnad samt uppdelad på olika byggnadstyper. Idag är problemet att det är svårt att hitta någonting alls som beskriver dessa processer och absolut inget som gör att det går att koppla till olika byggnadstyper. SCB redovisar statistik på nettotillskott av lägenheter vid ombyggnad. Det finns äldre statistik som beskriver ombyggnad på ett mer detaljerat sätt, men är begränsad till flerbostadshus.

Idag finns bara ekonomiska uppgifter som kan användas för ombyggnad och teknisk förvaltning. Sveriges byggindustrier redovisar på sin hemsida uppgifter om investeringar för bostäder respektive lokaler³ och baseras på Nationalräkenskaperna. Dessa uppgifter har använts som grund för att i modellen skapa nyckeltal för den sammanlagda processen teknisk förvaltning och ombyggnad. Byggindustrin baserar sina beräkningar på uppgifter som de bearbetat från SCB och innehåller en tidsserie. På grund av införandet av den nya europeiska standarden ENS 2010 vid beräkning av BNP så innehåller bostadsposten numera även fritidshus och kostnader för ägarbyte. I de bearbetningar av Byggindustrins uppgifter som används här har kostnader för ägarbyte räknats bort när dessa nyckeltal beräknats.

Vi utgår ifrån att de uppgifter som redovisas avser Byggindustriernas medlemmars omsättning, det vill säga entreprenadkostnaden, se Figur 8. Byggindustrin omfattas av "Byggentreprenörer" SNI 41 och övervägande delarna av "Specialiserade bygg- och anläggningsentreprenörer" (SNI 43) i statistiken och de delar av "Fastighetsbolag och fastighetsförvaltare" (SNI 68) som inkluderar ombyggnad, reparation och utbyte.

³ https://www.sverigesbyggindustrier.se/bygginvesteringar/bostadsinvesteringar_6908
https://www.sverigesbyggindustrier.se/bygginvesteringar/lokalinvesteringar_6909



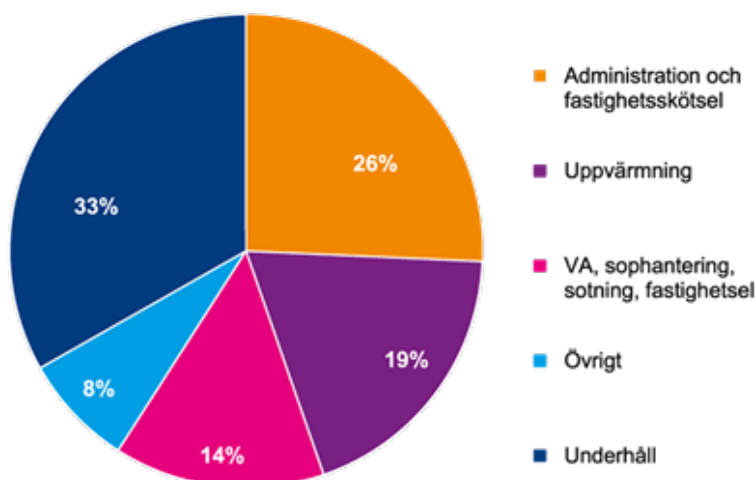
Figur 8 Byggekostnad innefattar kostnader förknippande med byggentreprenörens uppförande av byggnaden som byggverksamhet, el- och VVS- installation, ventilation, målning m.m.⁴

Anledningen till att vi inte tar med alla delar av fastighetssektorn i modellen är att vi då skulle få ett dubbelbokföringsproblem. Eftersom en betydande andel av fastighetsbolagens kostnader ligger utanför systemgränsen som tillämpas här, där kapitalkostnader och brukarens andel av bidrag till klimatpåverkan inte ska ingå. Vi vill i en LCA för byggnad därför inte få med klimatpåverkan kopplad till kapitalkostnader, administration, fastighetsskötsel, sophämtning, vatten och avlopp och liknade⁵. För ett flerbostadshus utgör förvaltningskostnaden 2/3 av drifts- och underhållskostnaderna (kapitalkostnaderna exkluderade), se Figur 9. Vi undviker på så sätt en dubbelbokföring av rena underhållskostnader som vi istället räknar in i den omsättning som byggindustrin levererar till fastighetssektorn. Vi antar då att underhåll omfattar såväl utbyte som reparationer, som normalt sett köps in som en tjänst och därför inte ingår i fastighetsskötseln, som till övervägande del avser fastighetsinterna kostnader.

Fastighetssektorn inklusive fastighetsskötsel ingår i Boverkets Miljöindikatorer. Fastighetsskötsel mm. är en del av tjänsterna som produceras i SNI68. D.v.s. de produkter som används för att utföra dessa tjänster ingår i miljöräkenskaperna. I vissa fall ingår inköp av tjänster om de inte utförs i egen regi. I detta arbete har det inte funnits tid att analysera och jämföra systemgränserna med Boverkets miljöindikatorer i detalj för den posten som benämns "Fastighetsförvaltning i övrigt" med den systemgräns som tillämpas i modellen och som benämns B2-4) Teknisk förvaltning.

⁴ https://www.sverigesbyggindustrier.se/statistik-byggmarknad/kostnader_6915

⁵ Notera att denna typ av aktivitet ingår i Boverkets miljöindikatorer. Se även stycke 3.4.



Figur 9 Förvaltningskostnader för flerbostadshus kan delas in i drift, kapital och underhåll. Uppgifter för kapitalkostnader saknas och kan därför inte återges i figuren. Underhållskostnaden är ungefär hälften så stor som driftskostnaden⁴

Byggindustrin anger följande analys av omsättningen av reparation och ombyggnad⁶:

”Andelen ombyggnadsinvesteringar i respektive huskategori har varierat ganska mycket genom åren. På flerbostadshussidan var andelen som högst i mitten av åttiotalet och toppade på 70 procent 1986. Sedan minskade andelen snabbt och 1991 stod ombyggnad för knappt 30 procent av investeringarna i flerbostadshus. Sedan steg andelen igen och låg i början av 2000-talet kring 50 procent av investeringarna i flerbostadshus. Därefter har ombyggnadsandelen åter sjunkit och genomsnittet för de fem senaste åren är drygt 30 procent. Volymmässigt toppade ombyggnadsinvesteringarna i flerbostadshus år 1987 på 58 miljarder kronor (räknat i 2016 års penningvärde) att jämföra med 27 miljarder för 2016.

På småhussidan har ombyggnadsandelen generellt sett både varit högre och något mindre volatil jämfört med flerbostadshusen. Utvecklingen har också skilt sig från den från flerbostadshusen. För småhusen var ombyggnadsandelen som lägst före 1975. Genomsnittet för perioden 1985-1992 är 33 procent. Sedan steg ombyggnadsandelen och för perioden 1993-2007 låg genomsnittet på 55 procent. Genom ROT-avdragets införande så började ombyggnadsandelen på småhussidan att stiga.”

Vår slutsats baserat på ovanstående historieskrivning är att i byggmarknaden med avseende på ombyggnad (inklusive reparationer och tillbyggnad) så följer denna del av investeringarna nybyggnadsinvesteringarna efter 1992. För att beräkna ett nyckeltal kan vi då utifrån Byggindustrins uppgifter för investeringar för ombyggnad respektive nybyggnad för småhus och flerbostadshus för 2016⁷, samt genom egna bedömningar och beräkning som resulterat i att vi antar att 61 procent av investeringar på lokalsidan utgör ombyggnad. Detta ska jämföras med 36 procent respektive 77 procent för flerbostadshus och småhus, se Tabell 2.

⁶ https://www.sverigesbyggindustrier.se/statistik-byggmarknad/bygginvesteringar_6907

⁷ https://www.sverigesbyggindustrier.se/bygginvesteringar/bostadsinvesteringar_6908

Tabell 2 Beräkning av nyckeltal för ombyggnaden samt teknisk förvaltning (inkl. reparation och utbyte)

	kr ombyggnad/ kr nybyggnad	miljöpåverkan per kr ombyggnad/ miljöpåverkan per kr nybyggnad	Nyckeltal
Flerbostadshus	0,36	0,90	0,32
Småhus	0,77	0,75	0,58
Fritidshus	0,61	0,90	0,55

Sedan gör vi en justering där vi bedömer andelen miljöpåverkande flöde av investeringen för nybyggnad i förhållande till omsättningen vid nybyggnad, där vi tänker att mycket av de material som byts ger upphov till en relativt sett större arbetskostnad för ombyggnad än för nybyggnad, där antagna justeringsvärden anges i kolumn två i Tabell 2. Det slutgiltiga nyckeltalet erhålls sedan genom att multiplicera dessa två faktorer. Resultatet blir då ett nyckeltal som ger andelen klimatpåverkan för ombyggnad per m² BTA nybyggnad. Indikatorn är med andra ord bara giltig så länge vi ser samma relationer som nu mellan nybyggnad och ombyggnad.

3.1.3 Driftsenergi

Klimatpåverkan från driftsenergin består av tre delar; energianvändning (giver per m²), total uppvärmd yta och klimatpåverkan för de energibärare som används. Med bygg- och fastighetssektorn enligt Boverkets systemgräns menas Byggentreprenörer SNI 41, övervägande delar av Specialiserade bygg- och anläggningsentreprenörer 43 och ombyggnad, utbyte och reparation som görs i fastighetssektorn SNI 68.

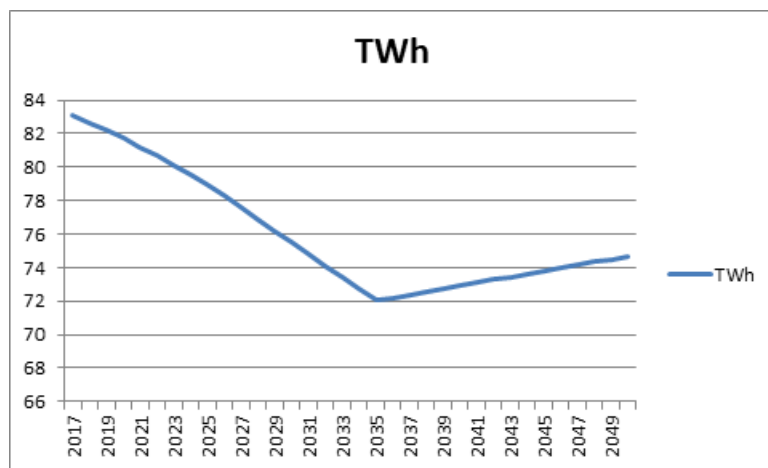
Energianvändningen för olika byggnadstyper ges av Energimyndigheten och publiceras årligen som en xls-fil⁷ och benämns "Energiläget i siffror" och innehåller en långtidsserie (se tabell 3.5). Dessa värden baseras på skattningar från urvalsundersökningar som har justerats över tid (t.ex. har mätobjekt ändrats från fastighet till byggnad), så det kan finnas förändringar mellan år. Uppgifterna från Energimyndigheten är givna i area för bostadsyta (BOA) och lokalyta (LOA). I area för småhus så ingår dock även uppvärmd annan area såsom källare.

Ett problem då högupplöst information på energianvändning för olika byggnadstyper efterfrågas så är det ett problem att energistatistiken bara följs upp uppdelad i följande övergripande byggnadstyper⁸; småhus, flerbostadshus och lokaler. Fritidshus ligger utanför statistiken, men står för en väldigt liten del av den totala energianvändningen. Eftersom det bara är uppvärmd bostads- eller lokalyta som inkluderats, så gör det att fastighetsenergi i industri och lager samt jordbruksfastigheter inte finns med i statistiken eller modellen. Detta kan anses korrekt om denna fastighetsel i nationell statistik istället ingår i dessa sektorer/näringsar det vill säga bokförs under industri respektive jordbruk. Då är det bara lager kvar som rimligtvis bör tillhöra bygg- och fastighetssektorn, men kan

⁸ <http://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/>. Se nedladdningsbar xls-fil.

antas vara en mindre del av energianvändningen då dessa bara har fastighetsel. För att öka upplösningen på energianvändningen på olika lokaltyper kan uppgifterna från "Energiläget i siffror" kompletteras med statistiken från "Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler" (Energimyndigheten 2017a, se tabell 2.2), där energianvändningen är uppdelad på ett stort antal olika lokaltyper. Dessa uppgifter kan då användas för att i framtidsscenarioet få en fördelning av energianvändningen fördelat på ett större antal lokaltyper.

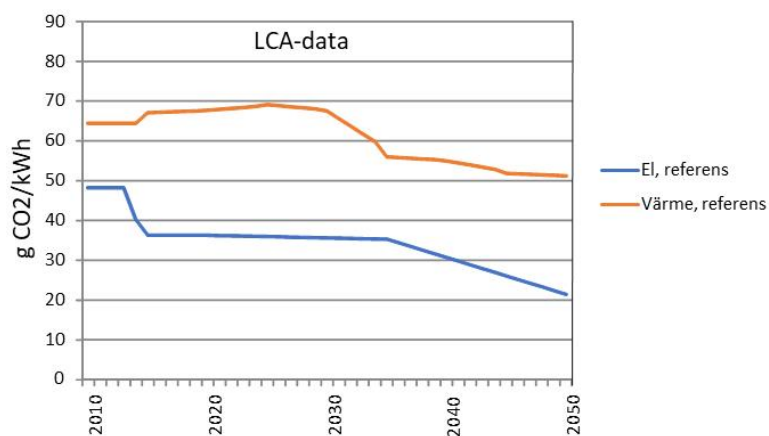
Modellens referensscenario för framtida klimatpåverkan från driftsenergin är beroende av förändringar av den befintliga byggnadsstocken samt nybyggnad. För nybyggnad har vi använt Energimyndighetens långtidsscenario till 2050 (Nilsson 2018). Inget tillägg till Energimyndighetens prognos har därmed gjorts för att bygga bort den brist på bostäder som Boverket bedömt finns. Denna bedömda bostadsbrist som finns nu motsvarar att det skulle behöva byggas 535 000 lägenheter mellan 2018 till 2025 (Boverket 2018c). Detta ska ställas i relation till de 365 000 lägenheter som ingår i Energimyndighetens referensscenario för samma period (Nilsson 2018) som används för i de beräkningar som redovisas här. Notera att Boverkets skattning avser byggbehov medan Energimyndigheten avser en långtidsprognos av bedömt faktiskt byggande som antas komma att genomföras i praktiken.



Figur 10 Byggsektorns framtida energianvändning enligt tillämpat referensscenario som baseras på nybyggnad enligt Energimyndighetens referensscenario (Nilsson 2018) samt förbättringar i byggnadsstocken med antagande i enighet med Energimyndighetens långtidsprognos (Energimyndigheten 2017b).

I Energimyndighetens rapport "Långtidsprognos" (2017b) görs en bedömning av en rimlig minskad energianvändning från byggnadsstocken till och med 2050. I det referensscenario som tagits fram i modellen här för driftsenergin så baseras detta på det referensscenario som finns i Energimyndighetens rapport och benämns där "EU referens" (se figur 2.2 i Energimyndigheten 2017b). Enligt detta scenario genomförs besparande åtgärder motsvarande 30 TWh, där dessa till en tredjedel består av energieffektivisering och resten utgörs av installationer av värmepumpar. De antaganden som gjorts här i referensscenarioet är att fjärrvärmda byggnader gör en energibesparing på 20 procent till 2035 (se figur 20 nedan) samt motsvarande för elvärme, och därefter görs inga förbättringar.

Tillkommande energianvändning för nybyggnad av bostäder antar vi sedan främst sker genom ökad elanvändning (vilket resulterar i en ökning på ca 10 procent av elanvändning till 2050 pga. nybyggnad). Det sammantagna resultatet av förbättringar i byggnadsstocken och ökad energianvändningen på grund av nybyggnad enligt referensscenariot syns i Figur 10 och visar på en tydlig dipp i energianvändning runt 2035 och därefter ökar energianvändningen. Anledningen till detta är att det inte sker någon energieffektivisering efter 2035 i Energimyndighetens scenarier, då alla lönsamma åtgärder är gjorda tills dess och att värmepumparnas konkurrenskraft försämras något mot fjärrvärme efter 2035 i Energimyndighetens scenarier.



Figur 11 Referensscenariots klimatpåverkan per kWh tillförd el respektive fjärrvärme.

Klimatpåverkan från svensk elmix inklusive import baseras på statistik från Entso-E, se vidare i bilaga 7.2. Uppgifter för framtida klimatpåverkan från el baseras på Energimyndighetens långtidsprognos (2017) kompletterat med antagande baserade på Energistyrelsen (2018) och Svensk Vindenergi (2018), och värme baseras på förenklade uppgifter från Naturvårdsverket (Morell 2018), se Figur 11. Klimatpåverkan för el- och fjärrvärme är kompatibel med den LCA-metodik som tillämpas i övrigt i modellen. Värdena ska inte ses som några nationella riktvärden för klimatpåverkan från el eller fjärrvärme.

3.1.4 Driftens vattenanvändning

Brukarnas konsumtion ingår inte i Boverkets definition av bygg- och fastighetssektorns, varför vattenanvändning inte ingår i modellen.

3.1.5 Slutskede

SCB har statistik på rivning av flerbostadshus⁹ men inte för andra byggnadstyper. Ett antagande som gjort här är att 0,01 procent av totala byggnadsstocken antas gå till rivning. Klimatpåverkan för rivning beräknas per byggnadstyp baserat på ett antal parametrar som utvecklats i en LCA-utredning till Boverket och Energimyndigheten (Erlandsson och Peterson 2016, se tabell 10).

3.1.6 Personbilar och lätta lastbilar

¹⁰Lätta lastbilar och personbilar används för transport av personal, material, verktyg och byggmaterial. På grund av informationsbrist hanteras lätta lastbilar och personbilar som en egen informationsmodul, men skulle egentligen allokerats på modulerna A4, B2-4, B5. Detta har emellertid inte bedömts möjligt med hjälp av tillgänglig information i denna version av modellen. Vi har i projektet lagt till klimatpåverkan från dessa fordon genom att söka i fordonsregistret och ägare som är verksamma i bygg- och fastighetssektorn (d.v.s. SNI kod 41-43). De körsträckor som finns från dessa fordon i SNI 41 Byggtreprenörer och SNI 43 Specialiserade bygg- och anläggningsentreprenörer har allokerats till byggsektorn enligt Boverkets definition av byggsektorn i miljöindikatorn. Den årliga genomsnittliga körsträckan per år är ca 10 000 km per fordon¹¹. Vägmissionsmodell HBEFA 3.3 har använts för att beräkna utsläpp mm från vägsektorn (se www.hbefa.net).

Det krävs ett utvecklingsarbete att koppla detta fordonsarbete till de processer som är basen i den modellen (se Figur 7). Syftet med en sådan fördjupad studie skulle vara att bedöma hur dessa transporter kan fördelas på modellens transporter för att sedan kunna lägga till dem som nyckeltal till modulerna A4, B2-4, B5, eller åstadkomma denna information på något annat lämpligt sätt för att kunna skala personbilar och lätta lastbilar mot framtida byggaktiviteter. Tills vidare hanteras därför detta transportarbete som en egen post "Lätta lastbilar och personbilar" i modellen. Andelen av dessa transporter för år 2015 används sedan för att tills vidare skala mot framtida bidrag.

⁹ <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/boende-byggande-och-bebyggelse/bostadsbyggande-och-ombyggnad/ombyggnad-och-rivning-av-flerbostadshus/pong/tabell-och-diagram/antal-rivna-lagenheter-i-flerbostadshus/>

¹⁰ Underlaget för lätta lastbilar och personbilar i SNI 41-43 har tagits fram av Martin Jerksjö och Mohammad-Reza Yahya i december 2018.

¹¹ De årliga körsträckorna som SCB använt sig av är lägre än de som används i vägmissionsmodellen HBEFA. Vi har valt att använda den sistnämnda referensen då vi har bättre kännedom om hur dessa är beräknade, men kan inte utgå ifrån vilket alternativ som ger bäst approximation av verkliga sträckor.

3.2 Klimatpositiva aspekter – negativa utsläpp

3.2.1 Karbonatisering

De europeiska cement- och bindemedelstillverkarna, fabriksbetongproducenter och tillverkare av betongelement har tagit fram metodanvisningar på robusta metoder för hur karbonatisering kan beräknas oavsett bindemedel eller produkt. Metoden tar också hänsyn till hur betongen byggs in och exponeras. Dessa metodanvisningar finns publicerat som "Bilaga BB" i europastandarden EN 16 757:2017 som utvecklats kopplat till miljödeklarationer för byggprodukter EN 15804, som så kallade produktspecifika regler för en given produktgrupp.

Karbonatiseringen beror på vilket bindemedel som används och beräkningarna som gjorts här utgår ifrån historisk produktion av cementklinker från Cementa som tagit hänsyn till import/export från 1893 till 2010 (Andersson m.fl. 2013). Uppgifterna redovisar andelen som används för byggnader respektive anläggning baserat på försäljningsuppgifter med hänsyn tagen till import/export mellan 1950 till 2010, samt, en bedömning att 60 procent av cementklinkeranvändningen före 1950 gick till husbyggnad. Från 2015 till 2017 användes 75 procent av cementklinkern för husbyggnad baserat på uppgifter från Svensk Betong (2018).

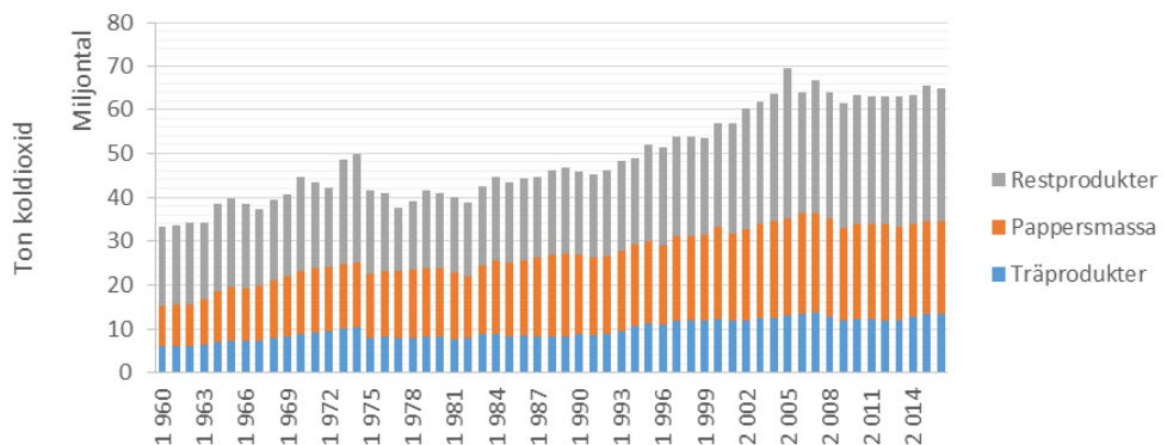
Den teoretiska andelen av den koldioxid som släpps ut från kalkstenen vid tillverkningen av cementklinker med 5 procent tillsatser (främst gips), så kallat CEM I, är 0,49 kg CO₂/kg bindemedel (CEN 2017). Denna mängd minskar när andelen alternativa bindemedel som aska och masugnsslagg används. Karbonatiseringen beror på hur varje byggdel exponeras för luft och fukt, vilket gör att en skattning av en medelbyggnad måste göras. I denna rapport används uppgifter från ett hus som har betong i både fasad och stomme och där 10 procent av ytan antas exponeras utifrån och resten invändig exponering (Erlandsson 2017). Vidare antas att samtliga invändiga väggytor är antingen målade eller tapetserade. I metodanvisningarna anges att karbonatieringen vid plastmatta, klinker, parkett eller laminatgolv är minimal och ska sättas till noll (CEN 2017). Karbonatiseringen minskar med en rot-funktion, som innebär att karbonatieringen går snabbt i början men avstannar sedan och mellan 80 till 100 år karbonatiserar bara 11 procent. Den resulterande karbonatiseringen under 100 år enligt de antagande som gjort här blir 0,054 kg CO₂ per kg bindemedel typ CEM I (dvs 10 procent av de ursprungliga utsläppen). Detta värde kan jämföras med det referenshus som finns i EN 16 757:2017 på 0,056 kg CO₂ per kg bindemedel typ CEM. Beräkningar utförda för den svenska byggnadsstocken av Anderson m.fl. (2013) ger ett betydligt högre värde vilket bland annat beror på målade och täckta ytor beräknas inte enligt den rotfunktion som standarden anger, samt att maximal karbonatiseringsgrad har ett högre värde än vad som anges i EN 16 757:2017. Vidare innehåller denna referens ett scenario där betongen i alla byggnader efter 100 års livslängd krossas till en finfraktion och som sedan exponeras för luft för en ökad karbonatiering, vilket inte är praxis idag och bedömningen är att det inte kommer ske i

framtiden heller. För 2015 är karbonatiseringen enligt standardens EN 16 757:2017 och de antagande som redovisas ovan 69 kton CO₂ per år, medan de beräkningar och ekvationer som används i Andersson m.fl. ger ett värde på 310 kton CO₂ per år. Det upptag av koldioxid på 69 kton som tas upp år 2015 motsvarar 72 procent av den cementklinker som används under detta år och dess framtida karbonatisera under 100 år. Med andra ord den cementklinker som producerades 1995 motsvarande upptag av 96 kton CO₂ till och med år 2115.

3.2.2 Lagring av biogent kol i byggnadsstocken

I den nationella klimatrapporeringen redovisas mängderna av olika sänkor/förråd av biogent kol som finns lagrade och dess förändringar. SLU har ett projekt om framtida utveckling av produktanvändningen som omfattar träbaserade produkter som byggs in i byggnadsstocken, men detta projekt har inte avslutats ännu.

I den statistik som finns tillgänglig nu och som används för internationell klimatrapporering av byggnadsstockens biogena sänkor/förråd saknas exakta uppgifter om hur mycket träprodukter som finns inbyggt. I rapporteringen används istället en modellberäkning av hur mycket biogent kol från produkter som är i användning baserat på en medellivslängd för tre olika produktkategorier som tillförs marknaden uttrycks som halveringstid. På så sätt beräknas hur länge en mängd biomassa binds in i produkten och därmed finns kvar i samhällets sänkor/förråd. Halveringstiderna som används är 35, 25 och 2 år för sågade varor, träbaserade skivor respektive pappersprodukter (Lagarblad m.fl. 2017). Kolförrådets förändring för innevarande år beräknas sedan genom att förrådet för innevarande år subtraheras från förrådet nästkommande år (se Figur 12). Diagrammet visar kolinnehållet (omräknat till CO₂) i den årliga produktionen med ursprung från svensk skog oavsett var konsumtionen sker där det mesta hamnar utomlands.



Figur 12 Industrins produktion av halvfabrikat omräknat till Mton CO₂, på så sätt som vi redovisar i internationell klimatrapporering utan hänsyn till var konsumtionen sker. Träprodukter inkluderar träbaserade skivor och sågade trävaror, restprodukter innefattar bark, returlutar, spån, flis, etc. som i huvudsak går till energiframställning (Lundblad m.fl. 2017).

Den metod som beskrivs ovan används inte i den modell som tagits fram här. En alternativ utgångspunkt och mer exakt metod är att utgå ifrån en inventering av den

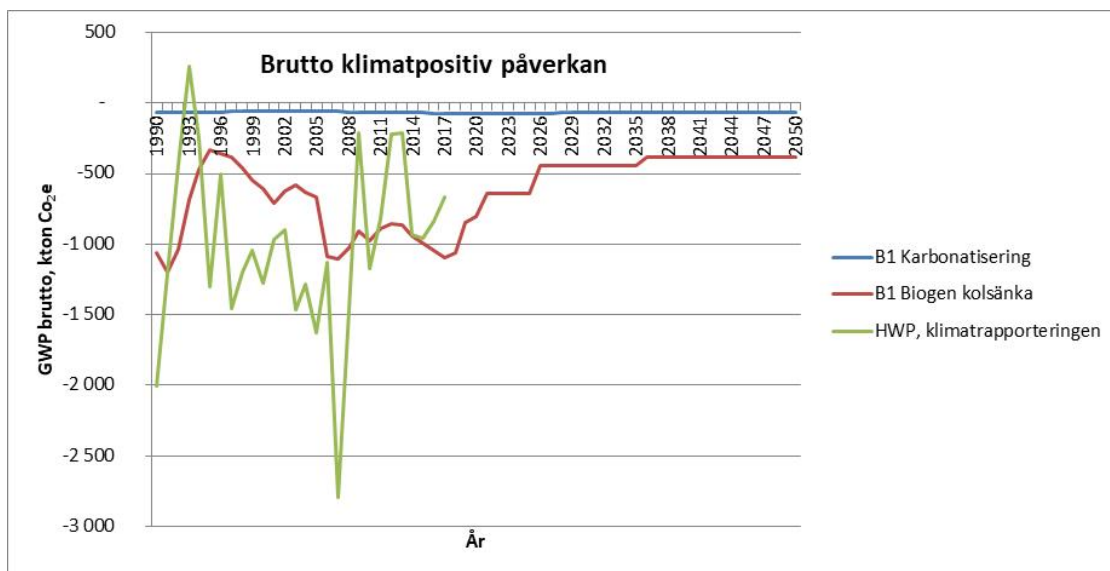
mängd träbaserade produkter som faktiskt finns inbyggt i den byggda miljön. En sådan inventering finns utförd på uppdrag av Naturvårdsverket och har beräknat att det år 1995 fanns 68 000 kton träprodukter i byggnadsstocken (Tolstoy m.fl. 1996), vilket motsvarar 99 700 kton CO₂ (vid ett antagande om 20 procent fuktkvot och 50 procent elementärt kol). Detta är således betydligt mer än det som redovisas i Figur 12 trots att dessa uppgifter inkluderar trä som antas bindas in utomlands. Baserat på detta underlag från Naturvårdsverket har beräkningar här gjorts med utgångsåret 1995 eftersom denna rapport ger byggnadsstockens innehåll för detta år. I denna uppgift ingår en total byggnadsyta på 580 miljoner m² (småhus, flerbostadshus och lokaler), samt 27 634 miljoner m² industribyggnader och 76 434 m² lager (jordbruksfastigheter saknas i statistiken). Detta betyder att det finns 77 kg CO₂ bundet per kvadratmeter bostadsyta i genomsnitt 1995. Detta värde kan ställas i relation till de uppgifter som beräknats i ett nyligen publicerat forskningsprojekt (Erlandsson m.fl. 2018), se Tabell 3. Det bundna biogena kolet i byggnadsstocken är för år 2015 med detta underlag beräknat till 139 500 kton CO₂. Det klimatpositiva bidraget från de redan inbyggda produkterna ingår för närvarande inte i modellen, varför det resultat som tas fram är konservativt.

Tabell 3 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. Värden ges för fem olika byggplattformar enligt Erlandsson m.fl. (2018).

	Andel trä kg TS trä/kg produkt	Volym- element i trä	Massivträ	Prefab- betong	Platsgjuten betong- lätta utfacknings- väggar	Platsgjuten betong- kvarsittande form
		kg byggprodukt/m ²				
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	
Fanérträbalk (LVL)	0,87					
Innerdörrar	0,97			0,9	0,9	
Ytbehandlade trävaror	0,93			0,6	0,6	
Summa vikt produkter, kg/m²	—	101	224	25	19	29
Summa bundet biogent kol, kg CO₂/m²	—	160	355	39	31	47

Den delen av positiv klimatpåverkan som vi enkelt kan beräkna och motivera är nettotillskottet (se stycke 2.2.2. Med denna metod ger ett utbyte av exempelvis en fasadpanel inte ett nettotillskott när den byts ut, men däremot när den byggdes första gången. För att underhålla en sådan modell som används vid beräkningarna så krävs kännedom om nytillskottets kolinnehåll minus det som finns i byggnader som permanent rivs eller byggs om. Uppgifter på inhemsk konsumtion av olika slags barrträvaror har erhållits från Svenskt trä med en tidsserie från 2006 till 2018 (Nicklasson 2019). Baserat på ett medelvärde av nettotillskottet 2015-2017 i förhållande till nybyggnadsarean, så har ett skalbart nyckeltal erhållits.

Detta nyckeltal på årligt nytillskott avspeglar hur konsumtionen ser ut nu och kan inte allokeras till någon specifik byggnadstyp. Konsekvensen av detta är att den inbyggda mängden inte avspeglar val och byggteknik i en framtid. Detta betyder att de siffror som beräknats på detta förenklade sättet tar hänsyn till att 2015 var andelen flerbostadshus med massivträkonstruktion cirka 13 procent, men träbranschen¹² har en vision att upp mot 50 procent av flerbostadshusen byggs med trästomme och bärande trä i ytterväggarna till 2025 (Brege mfl. 2017).



Figur 13 Bidraget till positiv klimatpåverkan från åldring av betong (dvs karbonatisering), årligt tillskott av träprodukter i byggnadstocken beräknad med metod som utvecklats här och enligt den metod som används för internationell klimatrapportering (Wikberg 2011, 2018).

Notera att den föreslagna metoden är konservativ, då den inte inkluderar det som redan finns inbyggt, eller att till nettotillskottet addera en halveringstid. I internationell klimatrapportering ingår en halveringstid som skulle om det tillämpas även här ge en ackumulerad ständigt ökande biogen kolsänka (istället för nu där bara årligt nettotillskott redovisas vilket innebär ett bidraget till klimatpåverkan är lägre 2025 än 2015). För att

¹² <http://trabyggnadskansliet.se/kunskap/2018/industriellt-byggande-i-tra-nula-ge-och-prognos-mot-2025/>

bedöma klimatnyttan av det som redan finns inbyggt och möjligheten att inkludera en halveringstid bör utredas vidare.

Mer exakta analyser och underlag behövs för att skatta mängden inbyggt trä behöver utvecklas i kombination med en metod för att beräkna dess positiva klimatpåverkan. Det årliga tillskottet innehåller inte alla träprodukter som byggs in, men de beräkningar som ges här ger en storleksordning och en fördjupad studie som utvärderar skillnaderna mot den metod som används i internationell klimatrapporering hade varit önskvärd. I modellen ingår inte jordbruksfastigheternas nettotillskott av träprodukter eller den totalt inbyggda mängden. Jordbrukets byggnader innehåller av tradition mycket trä men ingår inte i de beräkningar som gjort här.

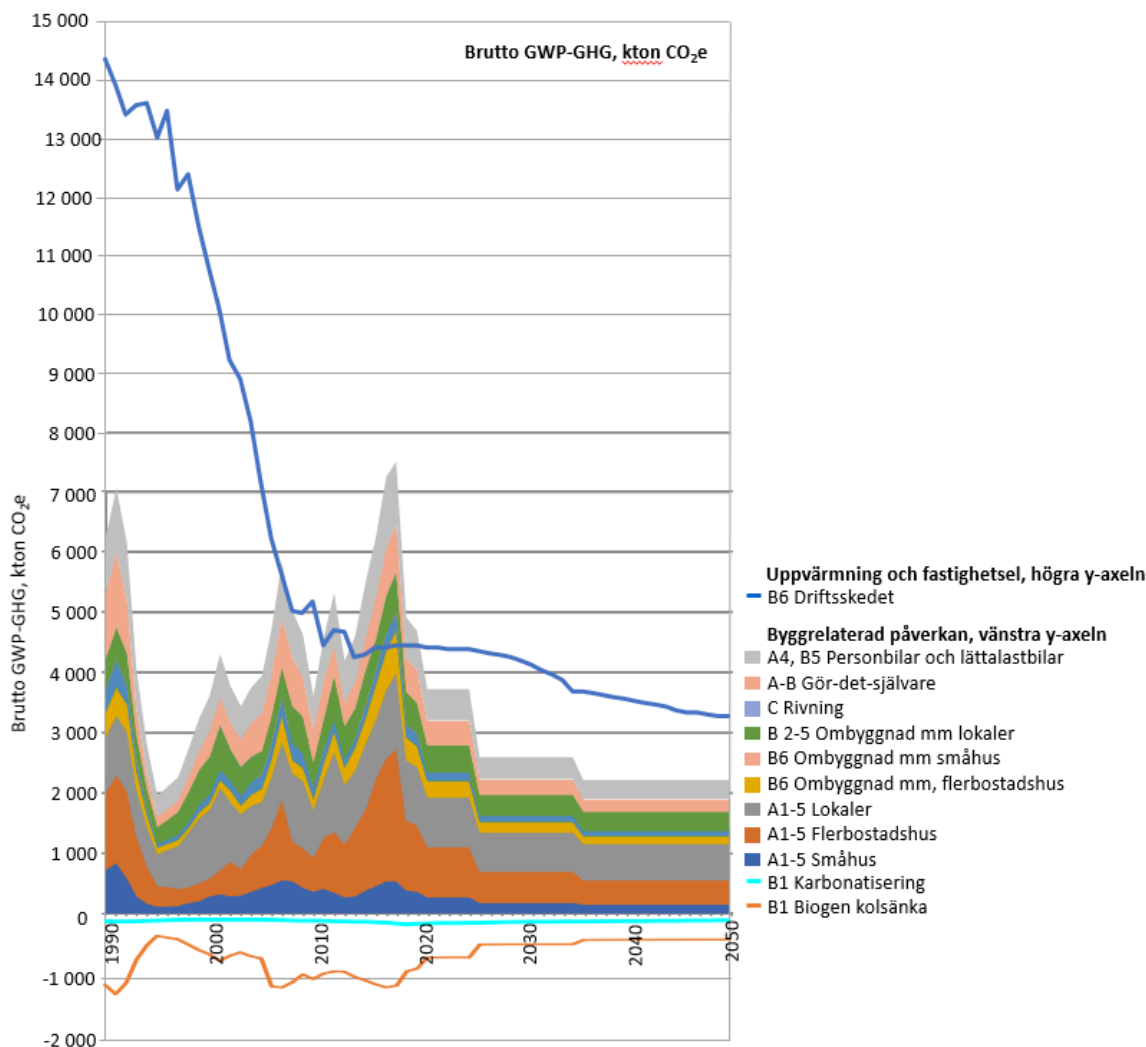
3.2.3 Koldioxidinfångning och lagring

I referensscenariot ingår inte koldioxidinfångning eller lagring (CCS). Referensscenariot tar bara hänsyn till sådana åtgärder som redan görs, eller bedöms att de genomförs baserat på incitament, lagkrav och en förväntas marknadsutveckling.

3.3 Referensscenario: Framtidens klimatpåverkan med befintliga styrmedel

Med modellen är det möjligt att ta fram scenarion och analysera skärpta styrmedel och andra åtgärder som krävs för att nå uppsatta nationella klimat- och luftföroreningsmål (2 °C måluppfyllelse). Sådana beräkningar behöver då jämföras med ett referensscenario. Detta referensscenario har utvecklats i projektet och beskriver en framtida utveckling med de befintliga styrmedel som finns.

Med hjälp av modellen har ett referensscenario räknats fram, se Figur 14. Klimatpåverkan från uppvärmning redovisas separat i figuren och går från ett värde på ca 14 400 kton CO_{2e} år 1990 till ca 3 300 kton CO_{2e} 2050. Bidraget från olika delar av byggprocessen har redovisats som bruttobidraget till klimatpåverkan, så att alla klimatpositiva delar framgår. Vid en redovisning av nettobidraget till klimatpåverkan skulle karbonatieringen dras av mot de utsläpp som betongframställningen orsakar i byggskedet. Referensscenariot visar att klimatpåverkan från bygg- och fastighetssektorn kommer gå ner kraftigt och detta beror främst på att byggtakten avtar starkt de närmaste åren.



Figur 14 Referensscenariots för svenska bygg- och fastighetssektorn (exklusive brukarrelaterade delar) bruttobidrag klimatpåverkan med till år 2050 [Brutto GWP_{GHG}, kton CO_{2e}]. Bidragen från de byggnadsrelaterade utsläppen är ackumulerade värden där bidraget från varje modul visas, medan uppvärmningens, karbonatisering och bidraget från den biogena kolsänkan redovisas separat. Figuren är uppdaterad år 2020 med hänsyn till marknadsbaserade bindemedelhalter i betong (se bilaga 7.1).

Som framgår av Figur 14 så fluktuerar utsläppet kraftigt för nybyggnad av flerbostadshus, men även byggandet av småhus varierar kraftigt över tiden. I förhållande till toppåret 2018 så minskar framtida klimatpåverkan från byggnadssektorns starkt. Detta beror i modellen enbart på en avmattad nybyggnadstakt, eftersom inga klimatbesparande materialval eller mixen av byggmaterial har bedömts ske i referensscenariot. Utöver en analys för sektorns totala klimatpåverkan finns det därför ett behov att även analysera hur klimatpåverkan kan minska per process eller med andra ord per levererad nytthet (såsom uppvärmd bostads eller lokalarea).

Referensscenariot visar på betydelsen av upptag av koldioxid från betong under driftsskedet, samt det årliga nettotillskottet av träbaserade produkter som byggs in i byggnadstocken. Det unika med denna beräkning av karbonatiseringen av betong som genomförts är att det är den första nationella analysen som gjort enligt den nya

koncensusmetod som utvecklats för denna typ av beräkningar inom den europeiska standardiseringen. Såväl brutto- som nettobidraget till positiv klimatpåverkan är signifikant, framförallt nettotillskottet av träbaserade produkter. Tillsammans med detaljinformation om processerna om sektorns klimatbelastning ger referensscenariot en ny högupplöst bild på storleksordningarna för de olika delarna och hur de bidrar till klimatpåverkan idag och i framtiden.

3.4 Validering av modell och resultat (tillägg 2020)

De LCA-baserade modellberäkningarna ger en klimatpåverkan för byggnadsbeståndet exklusive energianvändning under driften för år 2015 på 5 500 kton CO_{2e}, vilket kan jämföras med en bedömning av byggnadsbeståndets klimatpåverkan för år 2012, med likvärdiga investeringar, som gjordes av IVA (2014) på 4 800 kton CO_{2e}. De modellberäkningarna som gjorts här ligger således mycket nära tidigare beräkningar enligt IVA. IVA tillämpade generellt sett en metod med dels nyckeltal för olika byggverksamheter baserat på LCA-beräkningar och dels ekonomiska nyckeltal på hur mycket olika delbranscher inom sektorns omsatte. IVA kom då fram till ett årligt utsläpp för hela sektorn det vill säga för både byggnader och anläggning på ca 11 000 kton CO_{2e}.

Ett annat sätt att validera modellen är att jämföra med Boverkets miljöindikatorer. Modellen som utvecklats i detta projekt baseras på LCA-metodik. Enligt denna metodik tillämpas en fördelning (allokering) av miljöpåverkan från olika tillverkningsprocesser baserat på fysiska orsakssamband, fränsett för flöden med lågt värde (restprodukter och avfall) där en ekonomisk allokering används. Boverkets miljönyckeltal baseras på input-output (I/O)-metodik som fördelar miljöpåverkan baserat på ekonomiska transaktioner, det vill säga en renodlad ekonomisk allokeringsmodell.

Boverkets miljöindikator beräknas i två steg där man först fördelar de direkta utsläppen av växthusgaser som sker i Sverige baserat på värdet av de produkter och tjänster som används eller tillhandahålls i olika branscher eller sektorer. För att få ett fullt livscykelperspektiv i I/O-analysen har det inledande resultatet expanderats så att även indirekta utsläpp som sker utomlands kommer med, se vidare på Boverkets hemsida för metodförklaring¹³. I en LCA får man direkt en systemgräns som omfattar en hel livscykel. På så sätt kan man säga att en LCA och den expanderade I/O-modellen ger likvärdiga resultat med avseende på ett livscykelperspektiv genom att de har samma omfattning, dvs samma systemgränser.

Enligt den systemgräns som tillämpats i båda modellerna så ingår uppvärmning, nybyggnad och fastighetsförvaltning. Fastighetsförvaltning i sin tur omfattar ombyggnad, utbyte och reparationer det vill säga materialanvändning till den tekniska förvaltningen. I/O-modellen omfattar fastighetsförvaltning även brukarrelaterade aspekter såsom

¹³ <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/om-miljoindikatorerna/>

vattenanvändning, verksamhets-/hushållsel, kapitalkostnader, administration, fastighetsskötsel, sophämtning, vatten och avlopp och liknade. I I/O-modellens skattas detta i den delen som kallas "övrig fastighetsförvaltning", som syftar på andra branschers inköp av byggtjänster, dvs. som inte klassas som investeringar utan som antas användas till ombyggnad, drift, underhåll och reparationer av befintliga byggnader. Man kan anta att bidraget från ombyggnad är det som har störst bidrag till klimatpåverkan inom denna grupp.

I Tabell 4 kan man jämföra resultaten från LCA-modellen utvecklad i detta projekt med I/O-modellens resultatenligt Boverkets miljöindikatorer. Vi kan då konstatera att det finns en större skillnad i resultatet med ett högre värde för I/O-modellen, där det är värdet inklusive import som ska jämföras med LCA-modellens resultat.

Tabell 4 Jämförelse av klimatpåverkan, kton CO_{2e}, för alla byggnader (exklusive energianvändningen) år 2015 mellan den utvecklade LCA-modellens referensscenario och Boverkets miljöindikatorer¹⁴, med hänsyn till den fördelningsnyckeln som Boverket idag tillämpar mellan anläggning och byggsektorn.

	LCA-modellen	I/O-modellen (Boverket/SCB)	
	(IVL)	Inhemsk del	inkl. import
Nybyggnad	3 530*	2 285	7 790
Ombyggnad, utbyte, reparation, utbyte	1 959*	4 287	3 859
<i>delsumma</i>	5 489	6 573	11 648

* 50 procent av gör-det-självo och lätta personbilar samt lastbilar har allokerats till nybyggnad och resten på ombyggnad.

Både LCA-modellen som beskrivs här och Boverkets miljöindikator har samma övergripande systemgränser när det gäller "livscykelperspektivet". Det finns dock en betydande skillnad i omfattningen med avseende på de processer som analyseras i I/O-modellen och den LCA-modell som beskrivs här. Till skillnad mot LCA-modellen så inkluderar I/O-modellen hela byggsektorns ekonomi, dvs. alla aktiviteter som sker i sektorn, och då ingår givetvis även tjänster och dess klimatpåverkan från exempelvis arkitekter och konsulter. För att göra LCA-modellen jämförbar med I/O-modellen, så måste denna delmängd av I/O-modellen resultat räknas bort från och kräver att denna delmängd särredovisas. Denna uppgift ingår inte i det underlag som publiceras till Boverkets miljöindikator, men har erhållits direkt av SCB och uppgår till ca 1 400 kton CO_{2e}/år¹⁵ och ingår i I/O-modellens totala resultat (dvs 11 648 kton CO_{2e}).

En ytterligare förklaring till skillnaderna i modellen och indikatorn skulle kunna vara betydelsen av importen. I en rapport till Naturvårdsverket beskriver SCB på vilket sätt som hänsyn tas till import enligt nedan (Steinbach m.fl. 2018, sid 67):

"Utsläpp från importländer uppskattas genom att beräkna skillnader i utsläpp hos handelspartners jämfört med utsläppen i Sverige. Kvoten mellan de utländska utsläppen per dollar och utsläppen i Sverige per dollar, används som en vikt för att skala om de svenska emissionsfaktorerna.

¹⁴ <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/oppna-data/miljoindikatorer/>

¹⁵ Personlig kommunikation april 2020 med Mårten Berglund, SCB.

Dataunderlaget för utsläpp per dollar finns i Edgardatabasen (Emissions Database for Global Atmospheric Research). Nackdelen med denna ansats är bland annat att den inte fångar skillnader mellan olika branscher i importländerna och ger en begränsad bild av de internationella försörjningskedjorna.”

Detta koncept att i en I/O-modell ta hänsyn till importen bör inte leda till några större osäkerheter om produktgruppen är homogen, det vill säga att spridningen mellan olika slags produkters miljöpåverkan som inkluderas i produktgruppen är liten. För vissa produktgrupper såsom metaller, så har andelen återvunnet material en mycket stor betydelse för klimatpåverkan. I Sverige tillverkas främst primärt stål medan vi för byggsektorns del importerar mycket armering som till 100 % består av skrot. Skillnaden i miljöpåverkan är då en faktor 5. Så när miljöpåverkan för svenskt primärt stål används för att bedöma miljöpåverkan för den skrotbaserade importerade armering som används i byggsektorns, så kommer I/O-modellen att ge en överskattning av klimatpåverkan. Det krävs fördjupade analyser för att kunna bestämma om detta är ett signifikant problem som borde föranleda till förbättring av I/O-modellen.

Ett sätt att validera I/O-modellen är att bedöma hur känslig fördelningsnyckel är som för Boverkets miljöindikatorer klyver byggsektorn i;

- 1) Byggsektorn (SNI 41/43)
- 2) Transportinfrastruktur (SNI 42.1) och
- 3) Övrig anläggningssektor (SNI 42.2-9).

Fördelningsnyckeln finns inte publikt tillgänglig, men har gjorts tillgänglig inom ramen för detta projekt för att möjliggöra en jämförelse. Som ett exempel på hur denna fördelningsnyckel delar upp ett material mellan bygg- och anläggningssektorn används betong, eftersom betong står för en stor del av byggsektorns klimatpåverkan och det finns bra statistik. Det publiceras årligen statistik på hur mycket betong som används för bygg- respektive anläggningsprojekt av branschföreningen Svensk Betong, vilket har en mycket god precision då det är olika betongkvaliteter som används för olika ändamål.

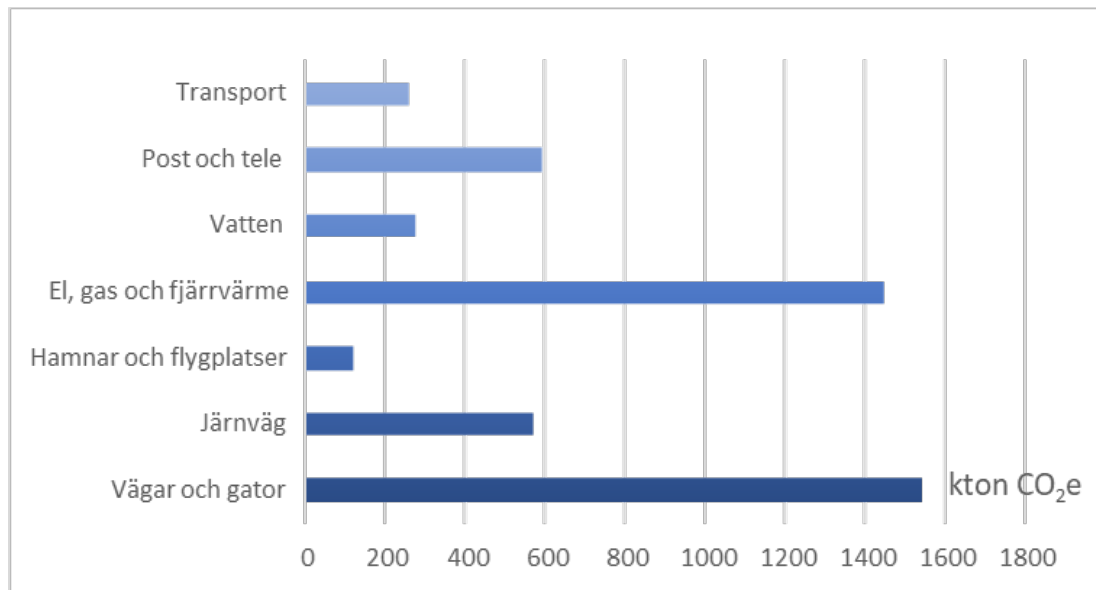
Enligt den årliga statistiken från Svensk betong så står anläggningssektorn för ca 20 till 25% av betonganvändningen. Motsvarande siffra i fördelningsnyckeln i Boverkets modell är 1%. Denna fördelningsnyckel används av SCB för en relativt stor produktgrupp (SPIN 23), som utöver för betong också används för produkter såsom; 23.1 Glas- och glasprodukter, 23.2 Eldfasta produkter, 23.3 Byggmaterial av lergods, 23.4 Andra porslinsprodukter och keramiska produkter, 23.5 Cement, kalk och gips, 23.61 Betongvaror för byggändamål, 23.62 Gipsvaror för byggändamål, 23.64 Murbruk, 23.65 Fibercement, 23.66 Andra varor av betong, gips och cement, 23.7 Huggen, formad och slutbearbetad sten och 23.9 Slipmedel och övriga icke-metalliska mineraliska produkter. Helt klart är att användningen av cement och betong är den som klimatomåttligt dominerar denna produktgrupp och det som hade behövs är att SPIN 23 skulle behöva skilja på användningen av husbyggnads- respektive anläggningsbetong för att ge den information som behövs för att förbättra I/O-modellens resultat. Värt är att notera att användningen av andra produktgrupper såsom trä, metaller, metallvaror, eller mindre betydande

produktgrupper som livsmedel, kött, papper och trycksaker allokeras till 100% till byggsektorn, men har inte samma påverkan på slutresultatet som just betong.

Med tanke på att konsumtionen av många av de miljömässigt betydande byggmaterialen allokeras till byggnader, så är det troligt att fördelningsnyckeln överskattar byggsektorns klimatpåverkan i förhållande till anläggning. Precis som man i Tabell 4 kan konstatera att I/O-modellen ger en relativt hög klimatpåverkan för byggsektorn, så ger I/O-modellen låg klimatpåverkan för transportinfrastrukturen med ett totalt årligt bidrag på endast 1 254 kton CO_{2e} för 2015. Trafikverkets LCA-modell för Transportinfrastruktur (Liljenström m.fl 2019) indikerar att den årliga klimatpåverkan för transportinfrastruktur är mycket högre nämligen 2 222 kton CO_{2e}/år respektive 2 763 kton CO_{2e}/år, inklusive drift och underhållsåtgärder.

Ett alternativt sätt att validera I/O- och LCA-modellen skulle således vara att ta bort betydelsen av fördelningsnyckeln som beskrivs ovan, genom att istället analysera hela bygg- och anläggningssektorn (SNI 41-43), exklusive driftens energianvändningen. Vi begränsas då av att det saknas LCA-beräkningar för övrig anläggningssektor (SNI 42.2-9), vilket inte har ingått i detta projekt eller det arbete som utförts på uppdrag av Trafikverket.

För att ta fram ett värde för övrig anläggningssektor återanvänds därför det LCA-resultat som finns för transportinfrastruktur (Liljenström m.fl. 2019). Detta LCA-resultat ställs i relation till den ekonomiska investeringar som görs inom anläggningssektorns delsektorer, se figur 15 nedan (Trafikanalys 2015). Baserat på nyckeltal för transportinfrastrukturen har på så sätt ett medelvärde på klimatpåverkan per kr för; vägar och gator, järnväg, hamnar och flygplatser beräknats och som sedan skattas för att erhålla klimatpåverkan på övrig anläggningssektor. På så sätt erhålls ett jämförelsevärde på övrig anläggningssektorns årliga klimatpåverkan (se Figur 15).

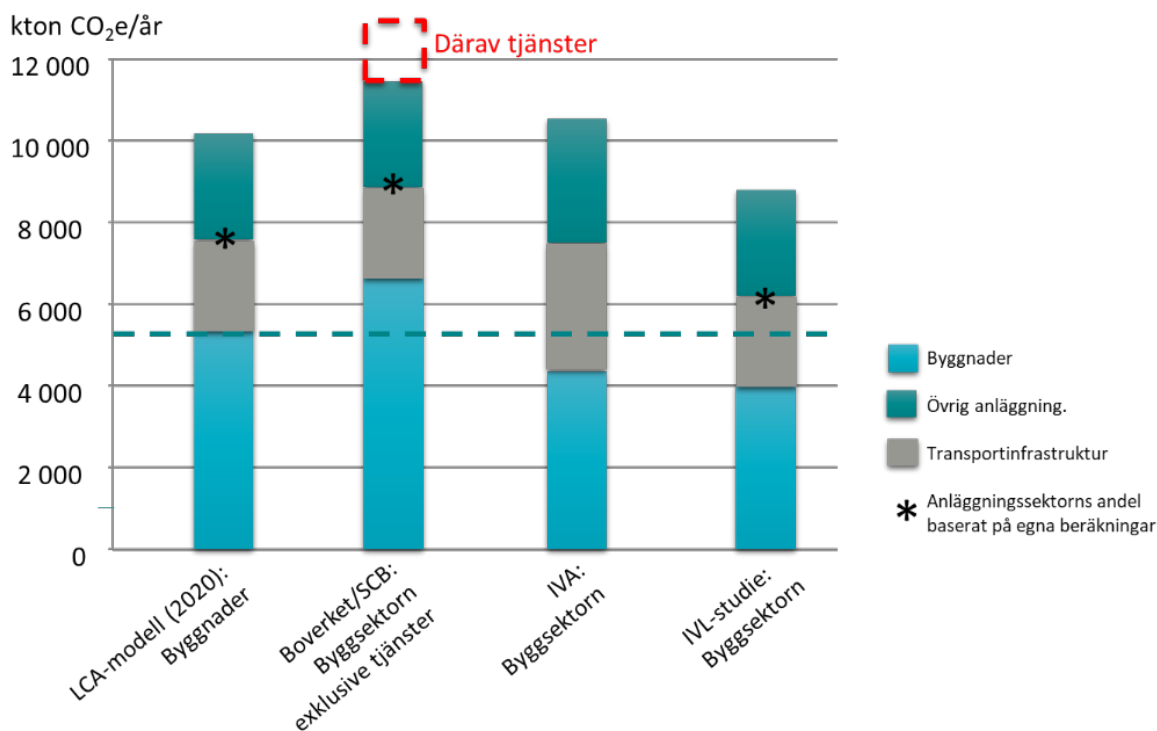


Figur 15 Skattning av årlig klimatpåverkan 2010-2015 från olika delar av anläggningssektorns totala skattade bidrag på 4 786 kton CO₂e/år.

Genom att lägga till anläggningssektorns klimatpåverkan enligt Figur 15 till LCA-modellen som bara inkluderar byggnader, så går det nu att jämföra med det värde som I/O-modellen ger för hela bygg- och anläggningssektorn, det vill säga utan användning av fördelningsnyckeln enligt Boverkets miljöindikator. Vi kan då notera att skillnaden mellan LCA-modellen och I/O-modellen är mindre än 25 % och bara 15% om man räknar bort tjänsternas bidrag vilket inte ingår i en LCA, se Figur 15. Denna skillnad är helt naturlig eftersom de två modellerna baseras på olika allokeringmetoder där LCA-modellen främst använder en fysisk orsak-verkan-fördelning, medan I/O-modellen uteslutande fördelar miljöpåverkan baserat på ekonomiska transaktioner och deras ekonomiska värde.

I jämförelsen nedan har vi lagt till ytterligare en studie av IVL som omfattade bygg- och anläggningssektorns klimatpåverkan (Erlandsson 2017), baserat på uppgifter från olika materialleverantörer för år 2015 kombinerat med SCB:s varustatistik. Analysen omfattade de mest betydande materielgrupperna (27 st) exklusive järnvägsspecifikt material¹⁶ och förenklade inventeringsdata för byggprocessen. Denna analys med relativt sett få material och ligger lägst i jämförelse med de andra modellerna, se Figur 16, vilket kan indikera att antalet material var för lågt i kombination med de uppgifter som erhöles från näringslivet var bristfälliga (ofullständiga).

¹⁶ Vilket baserat på Liljenström m.fl. (2019) kan skattas till ca 250 kton CO₂e/år.



Figur 16 Skattning av årlig klimatpåverkan för år mellan 2010 och 2015 från olika delar av bygg- och anläggningssektorn. *Notera att bidraget från anläggningssektorns lagts till (se Figur 15) med 4 786 kton CO₂e/år för LCA-modellen, Boverket/SCB och IVL-studien. Streckade linjen visar värdet på byggnaders bidrag till klimatpåverkan enligt den framtagna LCA-modell som presenteras här.

Notera att i Figur 16 så är det I/O-modellens totala klimatpåverkan för byggverksamhet för hela bygg- och anläggningssektorn (dvs utan allokering med hjälp av fördelningsnyckeln) som redovisas, exklusive den delen av som omfattar tjänster (tjänsternas bidrag markeras med röd-streckad stapel). På så sätt blir systemgränsen mer likvärdig mellan modellerna och överensstämmelsen mellan resultaten ökar. I/O-modellens totala (inte delsektorsuppdelade) klimatpåverkan för byggnader och anläggning exklusive tjänster är på totalt 11 454 kton CO₂e. Till denna total har den gemensamt skattade bidraget från anläggning lagts till för; LCA-modellen, I/O-modellen samt IVLs tidigare studie, för att kunna jämföras med IVA studien. Anläggningssektorn klimatpåverkan baseras på resultatet enligt Figur 15.

Med den justerade I/O-modellens resultat som visas i Figur 16 ges en relativt sett samstämmig bild av bygg- och anläggningssektorns klimatpåverkan för alla de olika studier som redovisas för bygg- och anläggningssektorns totala klimatpåverkan. Den justerade I/O-modellens resultat ligger på omkring 11 500 kton CO₂e och LCA-modellen på lite drygt 10 000 kton CO₂e. I dessa jämförande uppgifter ingår då inte klimatpåverkan från tjänster, samt sektorns energianvändning för uppvärmning.

Notera att dessa metoder baseras på två grundläggande olika sätt att fördela miljöpåverkan, det vill säga I/O-modellens ekonomiska allokering respektive LCA:ns fysisk-orsak-verkans allokeringmodell. En fullt samstämmigt resultat mellan modellerna är därför inte möjligt. Med de justeringar som gjorts för att jämföra I/O-modellens resultat

med LCA-modellen, så kan man anta att modellerna sinsemellan är validerade och påvisar en överensstämmelse. Baserat på detta resultat ges nedan förslag på fortsatt arbete.

4 Förslag på fortsatt arbete

Rapporten beskriver en modell som gör det möjligt att ta fram och analysera ett nationellt klimatscenario för bygg- och fastighetssektorn som påverkas av hur mycket vi bygger och vad. Modellen baseras på ett antal processer (se Figur 7 och Figur 14) som påverkar byggandet, brukandet samt hur mycket som byggs och vad, det vill säga i form av typbyggnader. Detta gör att modellen kan analysera förändringar, såsom hur vi i framtiden väljer att bygga i form av byggnader för olika ändamål, val av byggnadstyper byggplattformar, klimatförbättrade miljöprestanda för byggmaterial osv.

Resultatet i modellen visar ett framtidsscenario och dess klimatpåverkan till och med 2050. Sådana scenarier kan användas för att visa möjliga effekter på utsläpp av klimatgaser utifrån aktiviteter i bygg- och fastighetssektorn med en bred systemansats.

I arbetet som gjorts nu ingår inte att bygga ett användaranpassat gränssnitt och flexibla parameterstyrda processer, utan begränsas till referensscenariot. Den modell som beskrivs och exemplifierats med ett referensscenario kan betraktas som en kravspecifikation för en framtida IT-verktygsutveckling, som då skulle kunna ge användaren en flexibilitet att göra olika framtida konsekvensbedömningar baserat på parameterstyrda processer. Med en parameterstyrd flexibel process¹⁷ menas att en användare kan "beställa" en förändring, som gör att flera olika underliggande faktorer i modellen ställs om och direkt kan visa ett nytt scenario. För närvarande krävs ett manuellt arbete att bygga och ta fram ett nytt scenario. Under 2020 kommer exempel på sådana scenarion tas fram i ett projekt finansierat av Stiftelsen IVL.

Det går att ta fram vilka material som används i de typbyggnader som används i beräkningen samt parameterstyra detta och på sätt erhålls ett inventeringsdjup ner på minsta byggmaterial. På så sätt skulle modellen kunna vidareutvecklas för att beskriva materialomsättningen för nyproduktion och tillbyggnad.

För ombyggnad, reparation, utbyte och annat underhåll har däremot förenklade nyckeltal tagits fram baserat på uppgifter från Nationalräkenskaperna, vilket gör att det inte går att bestämma vilka material dessa aktiviteter ger upphov till. För att bestämma vilka material som används för ombyggnad, reparation, utbyte och annat underhåll krävs ett utvecklingsarbete. En ansats för att göra detta är att¹⁸;

1. utgå ifrån varustatistiken och först bestämma den inhemska konsumtionen. Dessa uppgifter ges både i vikt och kronor.

¹⁷ Ett exempel är att om andelen träbyggande ökar så ökar den klimatpositiva aspekten av en ökad upplagring. För att detta ska beaktas i modellen krävs idag en beräkning vid sidan av modellen.

¹⁸ SCB har inte fått något sådant uppdrag eller ingått i detta projekt.

2. fördela denna inhemska konsumtion inom sektorn och dess underliggande delsektorer (SNI 41-43) med hjälp av input/output analys.
3. införa en ny fördelningsnyckel som per delsektor anger hur konsumtion fördelar sig på ombyggnad, reparation, utbyte och annat underhåll.
4. för varje delprocess tas sedan klimatpåverkan fram med LCA-data för de resurser som används i denna process. Detta görs på ett sätt så att klimatpåverkan blir skalbar för dessa processer, baserat på ett materiellinnehåll för dessa processer.

På samma sätt saknas uppgifter om vilka exakta material som används inom gör-det-självt-sektorn, där denna post idag är skattad utifrån bedömningar av byggvaruhandels omsättning. Även detta borde gå att hantera med den input/output analys som föreslås ovan. En annan del av en sådan utveckling av modellen är att koppla vilka exakta processer som använder de personbilar och mindre lastbilar som finns i statistiken och som finns redovisade i modellen som en gemensam process.

Det kompletterande arbete som genomförts under 2020 för att validera LCA- och I/O-modellerna visar att I/O-modellen kan förbättras enligt följande:

- Se över den fördelningsnyckel som används för att dela in byggsektorns olika delar i "Byggsektor", "Transportinfrastruktur" och "Övrig anläggning"
- Att denna fördelningsnyckel görs transparent och publik tillgänglig. Vidare bör nyckeln göras på minst grupp-nivå i SNI (dvs med tre siffror) för att erhålla tillräckligt hög kvalitet
- Se över om alla de varor och tjänster som I/O-modellen allokerar till byggsektorn, är det Boverket vill att de ska inkluderas i Miljöindikatorn, eller med andra ord; vad som ska inkluderas i sektorsbegreppet. Om Boverket anser att indikatorn har rätt omfattning så bör klimatpåverkan från dessa delar som normalt inte inkluderas i en LCA särredovisas, så att en jämförelse kan göras med LCA-resultatet. En LCA tar typiskt inte med klimatpåverkan från varor och tjänster från försäkringsbolag, banker, konsulter, arkitekter, livsmedel osv. Det hade varit intressant att analysera dessa tjänsters klimatpåverkan med LCA-metodik.
- För vissa material, såsom metaller, bör en fördjupad analys göras för I/O-modellen och vid behov ta fram anpassade "LCA-svansar"¹⁹ som kan hantera att mycket av det stål som vi exporterar har högre klimatpåverkan eftersom det är baserat på jungfrulig råvara, medan mycket av det stål såsom armering som vi importerar till byggsektorn består av skrotbaserat råvara med 1/5 i klimatpåverkan.

Genom en framtida vidareutveckling av både I/O- och LCA-modellen så kan de komplettera varandra genom att I/O-modellen kan användas för att följa upp byggsektorns klimatpåverkan och se trender bakåt i tiden, och LCA-modellen kan användas för att göra framtidsanalyser och studera konsekvenser av olika förändringar eller konsekvenser av nya policys eller lagstiftning.

¹⁹ Med LCA-svansar menas de miljödata för import som läggs på för att i en I/O-modellen få ett helt livscykelperspektiv.



5 Erkännande av stöd

Föreliggande utredning har gjorts på uppdrag av Naturvårdsverket och Boverket. Uppdaterade LCA data för svensk elmix samt hantering av biogena kolsänkor och definition av klimatpositiva påverkan baseras på forskningsresultat från FoU-projektet "Klimatpåverkan av nyproducerade flerbostadshus med jämförande LCA-analyser för ett flerbostadshus som typhus", som finansierats av SBUF projektnummer 13355, Stiftelsen IVL projekt nr 4A:01/17, samt deluppdrag från Regeringskansliet, dnr N2017/04218/PBB.

6 Referenser

- Andersson R, Fridh K, Stripple H, Häglund M (2013): Calculating CO₂ Uptake for Existing Concrete Structures during and after Service Life. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47(20), pp11625-11633. DOI: 10.1021/es401775w. Publication Date (Web): September 5, including supporting information, 2013.
- Brege S, Nord T, Stehn L (2017): Industriellt byggande i trä – nuläge och prognos mot 2025. Linköpingsuniversitet, forskningsrapport LIU-IEI-RR-17/00263-SE, 2017-05-16.
- Boverket (2018a): Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan. rapport 2018:5, Boverket.
- Boverket (2018b): Behov av nya bostäder 2018-2025. Boverket, rapport 2018:24, ISBN pdf: 978-91-7563-573-6, juni, 2018.
- Byman K red. (2014): Klimatpåverkan från byggprocessen. En rapport från IVA och Sveriges Byggindustrier, Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2014.
- 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.
- Carlson P-O, Lilliehorn P, Erlandsson M, Kindemblem B (2008): Uppdatering av Byggsektorns Miljöutredning 2000. Kretsloppsrådet 2008-05-07.
- CE, European Committee for Standardization (2012): Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.
- CE, European Committee for Standardization 2013: Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products (includes Amendment A1:2013).
- CE, European Committee for Standardization (2017): Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Product Category Rules for concrete and concrete elements. EN 16757:2017.
- Energistyrelsen (2018): Denmark's Energy and Climate Outlook 2018. Baseline Scenario Projection Towards 2030 With Existing Measures (Frozen Policy). Danish Energy Agency, ISBN: 978-87-93180-34-5, Denmark, March 2018.
- Energimyndigheten (2017a): Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler. Statens energimyndighet, rapport ES 2017:06, Eskilstuna 2017.

- Energimyndigheten (2017b): Scenarier över Sveriges energisystem 2016. Statens energimyndighet ER 2017:6, Eskilstuna 2017.
- Erlandsson M (2008): Beräkning av bygg- och fastighetssektorns klimatpåverkan från byggmaterial och energianvändning. Underlagsrapport till Kretsloppsrådets uppdaterade miljöutredning. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport nr U2458, 2007-08-16, revidering 08-05-06.
- Erlandsson M (2017): Byggmaterialindustriernas klimatpåverkan inom bygg och anläggning. PM till Byggmaterialindustrierna, IVL Svenska Miljöinstitutet, 2017-02-21.
- Erlandsson M (2017): Blå Jungfrun version 2017 med nya cement. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C250, juni 2017.
- Erlandsson M (2018a): Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg BM1.0. Ett branschgemensamt verktyg. Energimyndigheten, E2B2, IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport C300, februari 2018.
- Erlandsson M, Ekvall T, Lindfors L-G, Jelse K: Robust LCA (2014): Typologi över LCA-metodik – två kompletterande systemsyner. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B 2122, januari 2014.
- Erlandsson M, Peterson D (2015): Klimatpåverkan för byggnader med olika energiprestanda. Underlagsrapport till kontrollstation 2015. För Energimyndigheten och Boverket. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport nr U5176, 27 maj 2015, första version daterad 10 maj 2015.
- Erlandsson M, Malmqvist T, Francart N, Kellner J (2018a). Minskad klimatpåverkan från flerbostadshus – LCA av fem byggsystem. Underlagsrapport. Stockholm: Sveriges Byggindustrier, IVL Svenska miljöinstitutet rapport C350, oktober 2018.
- Erlandsson, M och Malmqvist, T., (2018b): Olika byggsystem av betong och trä där mix av material inklusive stål ger klimatfördelar. Bygg & teknik 7/18, 2018 (även publicerad som IVL rapport C355).
- Fossilfritt Sverige (2018): Färdplan för fossilfri konkurrens kraft. Bygg- och anläggningssektorn. Fossilfritt Sverige, mars 2018.
- Larsson M, Erlandsson M, Malmqvist T, Kellner J (2016): Byggandets klimatpåverkan: Livscykelberäkning av klimatpåverkan för ett nyproducerat flerbostadshus med massiv stomme av trä. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapportnummer B 2260, Juni 2016.
- Liljenström C, Malmqvist T, Erlandsson M, Fredén J, Adolfsson I, Larsson G, Brogren M. Byggandets klimatpåverkan. Livscykelberäkning av klimatpåverkan och

energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapportnummer B2217, 2015.

Liljenström C, Toller S, Åkerman J, Björklund Å (2019): Annual climate impact and primary energy use of Swedish transport infrastructure. EJTIR 19(2), 2019, pp.77-116.

Lundblad M, Karlton E, Petersson H, Wikberg P-E, Bolinder M 2017: Sammanfattning av de metoder som används i Sveriges klimatrapportering av LULUCF-sektorn. SLU 2017. Rapporten tillgänglig via:
<https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/mom/ma/klimatrapportering/lulu cf.pdf>

Morel J (2018): Personlig kommunikation; Julien Morel, Naturvårdsverket 2018.

Nilsson L (2018): Personlig kommunikation; Lars Nilsson, Energimyndigheten 2018.

Niklasson M (2019), Personlig kommunikation Magnus Niklasson; Skogsindustrierna 2019.

Regeringskansliet (2016): Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige. Delbetänkande av Miljömålsberedningen. Statens offentliga utredningar, Regeringskansliet, ISBN 978-91-38-24422-7, SOU 2016:21, Stockholm 2016.

IVA 2014: Klimatpåverkan från byggprocessen. En rapport från Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) och Sveriges Byggingustrier, ISBN: 978-91-7082-883-6, 2014.

Moro A, Lonza L (2018): Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. Transportation Research Part D, Volume 64, October 2018, Pages 5-14.

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.

Steinbach N, Palm V, Cederberg C, Finnveden G, Persson L, Persson L, Berglund M, Björk I, Fauré E, Trimmer C (2018): Miljöpåverkan från svensk konsumtion - nya indikatorer för uppföljning. Slutrapport för forskningsprojektet PRINCE. Naturvårdsverket rapport 6842

Stripple H, Ljungkrantz C, Gustafsson T, Andersson R (2018): CO2 uptake in cement containing products. Background and calculation models for IPCC implementation. IVL Swedish Environmental Research Institute commissioned by: Cementa AB, report number B 2309.



- Svensk Betong (2018): Betongindikatorn 2017 – helår jan-dec. Svensk betong 2018.
Rapporten tillgänglig via: <https://www.svenskbetong.se/svensk-betong/branschen/betongindikatorn>
- Svensk Vindenergi (2018): 100 procent förnybart 2040Vindkraft för klimatnytta och konkurrenskraft. Svensk Vindenergi, oktober 2018.
- Sundqvist J-O, Finnveden G, Sundberg J (2002): Syntes av systemanalyser av avfallshantering. Rapport för Energimyndigheten, IVL Svenska Miljöinstitutet, rapport B 1491, Stockholm, september 2002.
- TMF, Trä och möbelföretagen (2017): TMF i siffror, statistik om den svenska trä- och möbelindustrin. TMF januari 2017.
- Trafikanalys (2015): Anläggningsbranschen – aktörer, finansiärer och personal. Trafikanalys, PM 2015:1, 2015-02-13.
- Tolstoy N, Björklund C, Sahlman L, Ankerberg S-E, Aspgren M, Carlsson P.O, Sigfrid L, Jönåker (1996): Kartläggning av materialflöden – inom bygg- och anläggningssektorn. Jacobson och Widmark på uppdrag av Naturvårdsverket, rapport 46 59, september 1996.
- IPCC, The Intergovernmental Panel on Climate Change 2014: Climate Change. The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- Wikberg, P-E (2011): Nationell metod för beräkning av koldioxidutsläpp från träprodukter. Arbetsrapport 346, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU.
- Wikberg, P-E (2018): Vidareutveckling av nationell metod för beräkning av koldioxidutsläpp från träprodukter. Arbetsrapport 383, institutionen för skoglig resurshushållning, SLU.

7 Bilagor

7.1 Klimatpåverkan för olika byggnadstyper

Följande nyckeltal har använts vid beräkningarna av nybyggnad och tillbyggnad (uppdaterade 2020 med representativa bindemedelshalter i betongen):

Byggnadstyp	kg CO ₂ e/m ² BTA	Anmärkning*
Småhus	186	Ny beräkning
Flerbostadshus exkl. specialbostäder	424	Erlandsson och Peterson 2015
Specialbostäder	445	Antagande: räknat som 2/3 kontor och 1/3 kontor
Fritidshus	170	Antagande: 90 % av ett småhus
Kontor	455	Ny beräkning
Affär	287	Ny beräkning
Hotell, restaurang	373	Ny beräkning
Skola, universitet	294	Ny beräkning
Kultur, underhållning, sport	438	Antagande: lagerbyggnad med 30 % påslag för inredning mm
Sjukvård, omsorg	499	Ny beräkning 218, ansatt
Industri, lager	333	Ny beräkning
Trafik, kommunikation	349	Antagande: Samma som "annan byggnad"
Annan byggnad	349	Antagande: beräknat som medelvärde av övriga nyckeltal

* Med ny beräkning av ser en LCA som utförts i detta projekt

Nyckeltalen som benämns "Ny beräkning" ovan har beräknats i detta projektet och används som representativa byggnader för respektive byggnadskategori och omfattar byggskedets klimatpåverkan exklusive bidraget från mindre fordon som hanteras separat. Dessa beräkningar följer samma metodik och antagande samt inkluderar en fullständig resurssammanställning som i tidigare rapporter med beräkningar från IVL;

- Blå Jungfrun (Liljenström m.fl 2015), Erlandson 2017),
- Boverkets typhus (Erlandsson och Petertson 2015)
- Strandparken (Larsson m fl 2016)
- Olika byggplattformar baserat på Blå Jungfruns arkitekturritningar (Erlandsson m.fl. 2018a), (Erlandsson och Malmqvist 2018b).

För den som är intresserad av modellantagande och hur beräkningen utförts hänvisas till beskrivning i främst Erlandsson m.fl. (2018).

7.2 Klimatpåverkan för elmix

Elmixens klimatpåverkan har beräknats med den metodik som använd i bränslekvalitetsdirektivet 98/70/EC och med hänsyn till förtydligande i ett kompletterande direktiv (EC) 2015/652 som hanterar om fastställande av beräkningsmetoder och rapporteringskrav för bränslen, samt förnybartdirektivet 2009/28/EC och också är på det sett som Energimyndigheten anser att man ska redovisa miljöpåverkan från elproduktion och användning av olika bränslen och energibäare²⁰. JRC på uppdrag av Europeiska kommissionen beräkna nationella värden för olika länders elmix enligt denna metoden som är representativa för. Metodiken redovisar den nationella produktionen inklusive exporterar och importerar och uppströms klimatpåverkan från olika energikällor LCA (Moro och Lonza 2018).

Beräkningarna för historiska utsläpp baseras på den årliga statistiken som publiceras av Entso-E²¹. Beräkningarna är utförda i Gabi och uppströms LCA-data för el baserat på processer representativa för de anläggningar som finns här. Beräkningarna inkluderar import och klimatpåverkan beräknas som årlig produktion samt import, vilket gör att utsläppen skiljer sig mellan åren, varför det är vanligt att rekommendera ett flytande tre års medelvärde för denna typ av processer. Resultatet av beräkningarna visas i tabellen nedan.

Tabell 7.1 Historiska, nuvarande och framtida utsläpp av växthusgaser från Svenska elmix, kg CO₂e/kWh, baserat på ett långtidsscenario från Energimyndigheten (2018) och historiska data från Entso-E²² samt LCA data från Gabi²³.

År	2013	2014	2015	2016	2017	2035	2050
Entos-E	0.049	0.041	0.035	0.042	0.035	0.036	0.022
medelvärde			0.037				
Gabi*	0.040						
EcoInvent*	0.047						

Det värde som anges som i Gabi och som inte tar hänsyn till import och använder inte Entso-E som referens.

** Det värde som Energimyndigheten använder för 2013 års elmix baserat på bränslekvalitetsdirektivet²⁴.

Beräkningarna för framtida el baserat på scenarion för framtida skattningar från Energimyndighetens långtidsprognos (2018), kompletterat med antagande baserade på Energistyrelsen (2018) och Svensk Vindenergi (2018), och värme baseras på förenklade uppgifter från Naturvårdsverket (Morell 2018), se Figur 11. Klimatpåverkan för el- och fjärrvärme är kompatibelt med den LCA-metodik som tillämpas i övrigt i modellen.

²⁰ <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/vaxthusgasberakning/>

²¹ <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data/#statistical-yearbooks>

²² <https://www.entsoe.eu/publications/statistics-and-data/#statistical-yearbooks>

²³ <http://www.gabi-software.com/databases/gabi-databases-2019-edition/>

²⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920916307933>





IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // Fax 010-788 65 90 // www.ivl.se