



Rapport nr. 2130
KTH/Byggvetenskap
Avd. Hållbara Byggnader
September 2021

Livscykelanalys av olika fasadmaterier

Miljöpåverkan och livscykelkostnader för 6 olika fasadbeklädnader

TORUN WIDSTRÖM

NICOLAS FRANCAERT



Livscykelanalys av olika fasadmateriäl

Miljöpåverkan och livscykelkostnader för 6 olika fasadbeklädnader

Torun Widström, KTH/Byggvetenskap, avd. Hållbara byggnader

Nicolas Francart, KTH/SEED, avd. Hållbarhet, utvärdering och styrning



KTH/Byggvetenskap
Skolan för Arkitektur och Samhällsbyggnad
Institutionen för Byggvetenskap
Avd. Hållbara Byggnader
SE-100 44 Stockholm

Copyright Torun Widström
ISBN 978-91-8040-024-4

Projektet finansierat av Föreningen för Murat och Putsat Byggande

Sammanfattning

Energianvändningen i byggsektorn – samlat, alltså energi till allt från utvinning av råvaror, till produktion av byggmaterial och inbyggnad av dem, till användning av byggnaderna och slutligen rivning och avfallshantering – utgör den största enskilda klimatbelastningen globalt. Det innebär att det är nödvändigt att göra så bra val som möjligt ur klimatsynpunkt. Man behöver då se till hela byggnadens livscykel, och inkludera både initiala klimatbelastningar och sådan som uppstår under byggnadens operativa tid – ett bra verktyg för att göra det är att göra en livscykelanalys, LCA.

Utvändiga material, såsom fasadmaterial som utsätts för väder och vind, kan ha ett betydande underhållsbehov och begränsad livslängd, vilket genererar klimatbelastningar. Om man gör en LCA för en kortare period än byggnadens livstid så kommer de initiala belastningarna få en oproportionerligt stor inverkan, och finns det risk för att man försummar alternativ som har fördelar på längre sikt. I denna studie har 6 olika fasadkonstruktioner undersökts i en LCA och en LCC för analysperioderna 50, 100 och 200 år, och resultaten visar att det för vissa material är speciellt viktigt att ta både påverkan från produktion och underhåll i beaktande. Av de studerade materialen var en fjällpanel av cederträ över tid mest gynnsam, pga av att den innehöll den allra minsta mängden material respektive att den inte hade någon ytbehandling. Den fasad som uppvisade minst klimatpåverkan i underhållsskedet var tegelfasaden – som dock genom sin stora mängd material och en tillverkningsprocess som kräver höga temperaturer vid tillverkning hade den överlägset högsta klimatbelastningen initialt. Därmed kunde transport och tillverkningsprocessen i det fallet identifieras som de mest givande processerna att reducera miljöpåverkan av.

Ekonomiskt sett dyrast i alla tidsperspektiven var den målade granpanelen, och initialt var fibercementskivfasaden billigast. Men efter 100 år var tegelfasaden nästan lika prisvärd, och i ett 200-årigt perspektiv så var teglet det mest ekonomiska alternativet. I livscykelkostnads-analysen var det underhållsfasen som stod för de väsentliga skillnaderna mellan alternativen, och ytskiktets underhållsbehov var avgörande framför allt för de långsiktigare analys-perioderna.

Studien visar att olika tidshorisonter ger olika bilder av både klimatpåverkan och kostnader, och att samtidig analys av flera analysperioder, varav minst ett som någorlunda motsvarar en potentiellt förväntad livstid för byggnaden, kan ge ett bättre beslutsunderlag genom att belysa både klimatbelastning över tid, inverkan av alternativens underhållsbehov och potentiella förbättringsmöjligheter.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Inledning	8
1 Syfte	9
2 Mål	10
3 Begränsningar	11
3.1 Avgränsning av studien.....	11
3.2 Osäkerheter	11
3.2.1 Underhåll.....	11
3.2.2 Materialdata	12
3.2.3 Karbonatisering.....	13
3.2.4 Framtiden och utveckling av byggandet.....	13
4 Bakgrund	13
Metod	14
5 Life cycle assessment, LCA	14
5.1.1 Val av miljöpåverkande faktor	15
5.1.2 Funktionell enhet.....	15
5.1.3 Systemgräns.....	16
5.1.4 Alternativ att undersöka	18
5.1.5 Analysperioder.....	19
6 Principiellt om livslängd och underhåll.....	21
7 Metodik.....	21
8 Life Cycle Costing, LCC	22
9 Beskrivning av fasadalternativen.....	24
9.1 Tegel.....	24
9.1.1 Materialegenskaper.....	24
9.1.2 Livslängd och underhåll	24
9.1.3 Uppbyggnad.....	26
9.2 Oventilerad puts.....	27
9.2.1 Materialegenskaper.....	27
9.2.2 Livslängd och underhållsbehov	28
9.2.3 Uppbyggnad.....	28
9.3 Ventilerat putssystem	29
9.3.1 Materialegenskaper.....	29
9.3.2 Livslängd och underhållsbehov	30
9.3.3 Uppbyggnad.....	30
9.4 Fibercementskiva	31
9.4.1 Materialegenskaper.....	31
9.4.2 Livslängd och underhållsbehov	32

9.4.3	<i>Uppbyggnad</i>	32
9.5	Cederträ, omålad fjällpanel	33
9.5.1	<i>Materialegenskaper</i>	33
9.5.2	<i>Livslängd och underhållsbehov</i>	33
9.5.3	<i>Uppbyggnad</i>	34
9.6	Målad granpanel	34
9.6.1	<i>Materialegenskaper</i>	34
9.6.2	<i>Livslängd och underhållsbehov</i>	35
9.6.3	<i>Uppbyggnad</i>	35
10	Användning och sammanvägning av resultaten.....	36
10.1	Rankning	36
10.2	Förbättningspotential	37
10.3	Sammanvägning av LCA och LCC	38
	Resultat	38
11	LCA.....	38
11.1	Livscykelns skeden i en analysperiod på 50 år	38
11.2	Livscykelns skeden i en analysperiod på 100 år	40
11.3	Livscykelns skeden i en analysperiod på 200 år	40
11.4	Nettoresultat.....	41
11.5	Variationer beroende på uppskattning av underhållsintensitet.....	43
12	LCC	51
13	Sammanställning av resultaten	53
13.1	Parallella jämförelser	53
13.2	Rankning av klimatpåverkan.....	55
13.3	Rankning av kumulativ kostnad.....	58
13.4	Rankning av en sammanvägning av klimatpåverkan och kostnad	60
13.5	Användning för att identifiera möjligheter att åtgärda klimatbelastning av olika alternativ.....	62
	Diskussion	64
	Finansiering	66
	Framtida arbete	67
	Referenser	67

Inledning

Byggsektorn stod enligt den nationella statistiken för 2018 för en inhemsk energianvändning i Sverige på 105 TWh, till vilket tillkommer 5 TWh energianvändning för produktion av varor som importeras (Boverket, 2021). Jämfört med en total faktisk energianvändning – efter förluster räknats bort – på 373 TWh under samma år (Energimyndigheten, 2020) betyder det att byggsektorn står för knappt 30 % av den energi som används i Sverige. 79 TWh (Energimyndigheten, 2020), alltså 72 % av energianvändningen i den svenska byggsektorn, utgörs av uppvärmning av byggnader och varmvatten, resten härrör från byggproduktion, underhåll och rivning. Internationellt sett ligger byggsektorns CO₂-emissioner på knappt 40 % av de totala globalt (United Nations Environment Program, 2020). Emissionerna från byggsektorn har också stigit de senaste åren, efter att ha legat relativt stilla under perioden 2013 – 2016, resulterande i högre utsläpp än någonsin.

Byggsektorn står därför för den största globala klimatbelastningen (Pomponi & Moncaster, 2016) vilket innebär en reduktion av CO₂-emissionerna inom detta område både är akut att uppnå och har en potential att påverka den mänskliga klimatpåverkan på ett signifikant sätt.

I kampen för att reducera utsläpp inom byggandet har livscykelanalysen (LCA) vunnit terräng och blivit ett viktigt verktyg för att utvärdera olika alternativ från ett hållbarhetsperspektiv (Hauschild, Rosenbaum & Olsen, 2017). Livscykelanalysen innebär en utvärdering av en produkts miljöbelastning över tid, från råvaruutvinning till avslutad användning. Det gör det möjligt att identifiera vilka processer som är särskilt viktiga att åtgärda för minskad miljöpåverkan. Den kvantifiering av konsekvenser av olika alternativ som LCA-analysen ger, gör det möjligt att fatta väl motiverade beslut ur hållbarhetssynpunkt i design- och investeringsprocesser. Resultaten kan också användas för certifiering, premierande val som gynnar en så hållbar utveckling som möjligt. Livscykelanalysens från-vaggan-till-graven-perspektiv innebär också att användaren inte riskerar att missa någon del av en produkts miljöpåverkan, så att miljöbelastning inte bara förskjuts mellan olika faser eller komponenter, utan beslut om åtgärder istället faktiskt resulterar i en reell reduktion av klimatpåverkande utsläpp.

En LCA gör störst nytta om den tas fram tidigt i projekteringen och successivt utvecklas, parallellt med projektet, så att den kan fungera rådgivande vid de beslut som fattas under projekteringsprocessen. Den kan med fördel tas fram samordnat med den ekonomiska kalkylen för projektet, och en livscykelkostnadsanalys, LCC, ger en användbar parallell bild av den ekonomiska sidan av hela byggnadens livstid.

Boverket har i uppdrag från regeringen att införa klimatdeklarationer för byggnader från och med 1 januari 2022 vid nybyggnad. Det som ska redovisas i dessa deklara-tioner är klimatpåverkan, mätt i koldioxidekvivalenter, för byggskedet, begränsat till vissa byggnadsdelar (Boverket, 2020 b). Ett gränsvärde för maximalt utsläpp av växthusgaser avses inte att införas förrän 2027, då reglerna också ändras så att fler delar av byggnaden ska inkluderas och alla skeden i byggnadens livscykel ska ingå. Gränsvärdet skall dock endast gälla för utsläpp relaterade till byggskedet. Skärpningar av gränsvärdet föreslås införas år 2035 och 2043.

Processen för att utföra en livscykelanalys finns standardiserad i (SS-EN 15978:2011). Standarden innehåller riktlinjer för

- Val av syfte för livscykelanalysen
- Val av avgränsningar och systemgränser
- Insamling och analys av data för beräkningen
- Val av indikatorer som ska inkluderas och hur dessa beräknas
- Hur resultatet ska redovisas

En livscykelanalys görs ofta för en analysperiod på 50 – 60 år. 50 år är den tidsperiod som används i EU-ramverket Level(s), som syftar till ett gemensamt system för bedömning och redovisning av byggnaders hållbarhetsprestanda. Flera europeiska länder har regelverk för LCA som definierar 50 eller 60 år som analysperiod. Anledningarna kan vara flera, exempelvis att det är ett relativt överblickbart tidsintervall – ju längre intervall man använder sig av desto större blir ju osäkerheterna i och med att det blir svårare och svårare att förutsäga utvecklingen av material, färdmedel, energikällor, energipriser etc. Det faktum att vi har kort tid på oss att reducera vår klimatpåverkan i och med att de utsläpp vi åstadkommer kommer att bli kvar i atmosfären under lång tid kan också motivera ett relativt kort tidsintervall. Olika länder – och olika områden inom dessa länder – har också varierande medellivslängder för byggnader. I snabbt växande storstäder och/eller i områden med höga markpriser kan man förvänta sig en relativt kort livscykel, framdriven av investeringsmässiga skäl snarare än teknisk livslängd.

Byggnadens avskrivningstid har därför betydelse, och i resonemangen kring valet av analysperiod framhålls ofta att den livscykel man analyserar inte nödvändigtvis ska motsvara byggnadens tekniska livstid, men snarare perioden från start på en åtgärd – exempelvis uppförande och idrifttagande – till dess nästa åtgärd beräknas inträffa, såsom ombyggnad etc (Boverket, 2019). I praktiken kan det dock bli svårt att veta vad som i framtiden kommer att belasta miljön, och i så fall vid vilken tidpunkt. En 50-årig analysperiod innebär att man schablonmässigt utgår ifrån destruktion av alla material och komponenter i byggnaden redan efter 50 år, även de som förblir tekniskt funktionsdugliga i 100 år eller mer. När man räknar på det sättet så finns det en risk för att beslut som man fattar grundas på premissen att livslängden ska vara kort. Att planera för en livstid längre än 50 år framstår ju då som oväsentligt ur klimatsynpunkt. Det kan missgynna långsiktigt hållbara beslut och i själva verket öka klimatbelastningen sett till den sannolikt längre, faktiska livslängden för byggnaden, om det leder till onödig destruktion av byggnadsmaterial och förlust av inbyggd energi. Samtidigt ger en relativt kort tidshorisont en tydligare bild av klimatomfattigt problematiska processer i produktionsskedet.

Denna studie handlar om hur analysperioden inverkar på den bild som livscykelanalysen ger, och om hur underhållsintensitet för olika material påverkar den bilden, fokuserat på val av fasadmateriäl.

1 Syfte

Att undersöka ett antal olika fasadmateriäls miljöpåverkan, både på kortare och längre sikt, i kombination med en motsvarande kostnadsanalys. Undersökningen är avsedd att belysa flera olika aspekter:

1. Fasadalternativens miljöpåverkan enligt gängse metoder inklusive ett tidsintervall på 50 år

2. Fasadalternativens miljöpåverkan över längre tidsintervall, som kan vara mer rimliga i förhållande till byggnadernas fysiska livslängder
3. I vilken utsträckning valet av analysintervall påverkar resultaten av livscykelanalysen och därmed det beslutsunderlag som den utgör
4. Inverkan av uppskattning av underhållsintervall och -åtgärder
5. Analys av vilka processer i livscyklerna för fasadmaterialet tegel och puts som skulle göra störst nytta att arbeta med att minimera miljöpåverkan av
6. Förhållandet mellan miljöpåverkan och investerings- och underhållskostnad för de olika tidsintervallen

2 Mål

Målet är en utvärdering miljöpåverkan av 6 olika fasadalternativ, utvärderade i en livscykelanalys och en parallell livscykelkostnadsanalys, för analysperioderna 50, 100 och 200 år. Utvärderingen ska ge svar på frågorna:

1. Hur förhåller sig de olika fasadalternativen till varandra?
2. Hur påverkar analysperiodens längd bedömningen av alternativen, och innebär de längre analysperioderna att alternativens inbördes relation förändras?
3. Vilka är de mest belastande processerna, där åtgärder skulle kunna göra störst skillnad?

När det gäller analyser över längre tid, av både miljöbelastning och kostnader, så kommer uppskattningen av underhållsintervall och -åtgärder att påverka resultaten. Tidigare studier (Allacker et al., 2019; Cuéllar-Franca & Azapagic, 2012; Dixit, M. K., 2018; Gomes et al., 2018; Hoxha et al., 2016; Kofoworola & Gheewala, 2008, 2009; Lavagna et al., 2018; Peuportier, Thiers, & Guiavarch, 2013; Roh, Tae, & Kim, 2018) har visat divergerande svar på frågan, och detta kan relateras till flera olika faktorer: typ av objekt man studerat, antaganden kring framtida scenarier, hur man definierar underhåll, vilka åtgärder och vilka intervall man räknar med och även om man räknar med faktiska tidpunkter för underhållet eller om man annualiserar det. Men främst kan analysperiodens längd påverka – ju längre tid man analyserar desto större blir ju också antalet underhållsåtgärder som genomförs, och därmed tilltar ju den procentuella andelen av belastningen som härrör från underhållet.

När det gäller antaganden angående behovet av åtgärder och intervallen mellan dem så är det svårt att generalisera, eftersom kvalitet på material och utförande, både vid produktion och vid underhåll, nivå av exponering för vind, nederbörd och solstrålning, potentiell påverkan av saltpartiklar eller föroreningar i luften, i viss mån även nyttjande av själva byggnaderna samt ställningstaganden från förvaltarnas sida kan innebära stora variationer i faktiskt underhåll av enskilda byggnader. Den statistik som finns tillgänglig är också bristfällig, eftersom det inte finns någon organiserad insamling av sådana data. Därför har ett antal olika varianter inkluderats i studien, även om den huvudsakliga analysen baserats främst på information från tillverkare och i viss mån från praktiker.

Vad gäller inverkan av analysperiodens längd så är det alltså ett av målen med den här studien att kvantifiera den inverkan.

3 Begränsningar

3.1 Avgränsning av studien

Denna studie fokuserar sig på fyra vanligt förekommande fasadmateriäl: Tegel, puts, fibercement respektive trä. För dessa material finns många olika alternativ att välja på, såsom val av kvalitet, utförande och uppbyggnad etc. Några av dessa valdes för studien: en enda vardera för tegel och fibercement, och två olika varianter vardera för puts- och träpanelalternativen, med två undervarianter av det ventilerade putssystemet.

Valet av varianter baserar sig i första hand på vad som skulle kunna betraktas som allmänt förekommande i dagens byggande. De fasadalternativ som har undersökts har tillskrivits specificerade, på marknaden förekommande produkter, i flera fall från existerande leverantörer, och stor del av de indata som har använts kommer från dessa leverantörer. Detta har gjorts för att inte inkludera varierande kvaliteter för varje material, men det innebär samtidigt en begränsning eftersom de potentiella variationer som kan förekomma för varje ingående material inte inkluderas i studien.

Utöver avgränsningen gällande fasadalternativen så behövde också underhållsalternativ för de valda konstruktionerna väljas. I och med att studien involverar längre tidsintervall och underhållsåtgärderna och deras frekvens har en signifikant inverkan på miljöpåverkan, så undersöktes flera olika underhållsscenarier: Fyra olika underhållsscenarier inkluderats, ett grundfall baserar på uppgifter från leverantörer och praktiker, och tre generiska som bygger på tillgänglig litteratur (Erlandsson & Holm, 2015).

3.2 Osäkerheter

3.2.1 Underhåll

De tillgängliga underhållsscenarierna inkluderar tydliga osäkerheter. Variationerna mellan de tre generiska scenarierna relaterar till varierande lägen och betingelser för den studerade byggnadskomponenten, de innehåller alltså värden för livslängder på olika material och/eller produkter i utsatta, genomsnittliga respektive skyddade lägen. Problemet är det material dessa värden baserar sig på, eftersom det inte finns någon centralt registrerad och kvalitetssäkrad information att göra någon statistisk analys av. Det betyder att de i delar avviker väsentligt från de bedömningar som leverantörer och praktiker gör.

När det gäller leverantörerna och praktikerna så är de inte heller helt samstämmiga, och detta kan bero på att man delvis relaterar till olika saker när man anger ett materials livslängd. En leverantör kan referera till den tekniska livslängd som faktiskt är möjlig, under normala omständigheter, medan en annan kan referera till hur ofta man i praktiken byter ut materialet, vilket kan ha andra orsaker än att materialet inte längre är funktionsdugligt. Det kan handla om att materialet inte åldrats på ett sätt som anses estetiskt eller att materialet kan uppfattas som omodernt och/eller en ny ägare vill sätta sin egen prägel på byggnaden. Det kan också vara så att man uppfattar naturliga variationer i en yta som tecken på bristande funktion även om de inte är det, och därför beslutar om utbyte eller reparation eller att man uppfattar det som mer gynnsamt att byta till ett annat material. Därtill förekommer det ju byten av material av andra anledningar, såsom tilläggsisolering eller att andra material innanför ytterbeklädningen faller av pga konstruktions- eller byggfel. Så teknisk och praktisk livslängd kan divergera rätt kraftigt, och det kan göra att olika källor anger olika hållbarhet (Dixit, 2018; Grant et al., 2014).

Mest iögonfallande är detta i förhållande till teglet i förhållande till de källor som använts i denna studie. Leverantören anger en livstid på 200 år – vilket därför valdes som den längsta analysperioden i studien – medan det generiska underhållsscenarioet för genomsnittliga förhållanden anger den till 80 år, alltså bara 40 % av leverantörens uppskattning. Det generiska scenarioet för ett utsatt läge gör gällande att fasadtegel endast håller i 50 år. Detta kan ses som en anmärkningsvärt låg uppskattning, taget den mängd av äldre tegelbyggnader som faktiskt fortfarande har sitt originaltegel i fasaden. Till dels skulle detta kunna ha sin grund i varifrån de data som bedömningen i de generiska scenarierna bygger på kommer ifrån. Sannolikt har relativt få ägare/förvaltare av historiska byggnader, alltså byggnader som uppvisat dokumenterat lång livstid, rapporterat till någon hur ofta teglet i fasaden har bytts, eftersom det mycket sällan hänt. Men bland de källor som ligger till grund för uppskattningen ingår allmännyttiga bostadsbolag, där underhåll av i alla fall en hel del av byggnaderna som ingick i miljonprogrammet och liknande byggnader ingår. Byggnaderna från den tiden kan ha andra problem – energiförbrukning, eventuella byggfel, slitage eller önskan om förnyelse – som motiverat utbyte av fasadmateriäl snarare än att själva fasadteglet inte hållit. Så även om bedömningen som sådan i alla fall delvis bygger på data från verkliga fall, så kan det vara att de fallen inte alltid är representativa för tegelfasader i allmänhet.

3.2.2 Materialdata

En LCA-studies kvalitet kommer alltid att begränsas av kvaliteten på de indata som användes. Valet av specifika produkter i de olika fasadalternativen gjordes för att underlätta inventeringen av indata, men trots det är det inte givet att verifierade materialdata och beräkningar för klimatbelastning finns att tillgå. I denna studie har i första hand existerande miljödeklarationer, EPD'er, använts, men då det inte alltid funnits sådana för alla ingående material och komponenter, så har andra källor också varit nödvändiga att hitta. Förstahandsvalet när en giltig EPD inte funnits har varit att hitta en EPD för ett likvärdigt material, men det kräver att inte bara sammansättningen av materialet är likartat med också att produktionsmetod och distans mellan råvaruutvinningsort och tillverkningsställe är likvärdiga. Så för att kunna avgöra om ett material är likvärdigt med ett annat krävs en hel del kunskap om komposition, tillverkningsprocesser, råvarukälla etc, i stort sett det som krävs för att göra en EPD, och dessa upplysningar har inte alltid varit möjliga att tillgå. Andrahandsvalet har då varit att hitta data i existerande databaser. Valet av databas att använda har styrts av strävan att hitta indata som så nära som möjligt korrelerar till material på den inhemska marknaden. Alltså har svenska BM, Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, varit förstahandsval, och när data inte kunnat hittas där har databasen tillhörande tyska Ökobau nyttjats.

I vissa fall har dock flera olika källor kunnat hittas med markant avvikande värden för material av liknande typ och kvalitet, utan att det varit möjligt att utröna vad dessa skillnader baserar sig på. Vad gäller tegel så kan det relatera till användande av olika bränningstemperaturer, vilket ju varierar mellan olika tegeltyper men också mellan olika länder. Potentiellt också variationer i bränsle påverka miljöbelastningen. I andra fall kan transport av produkt och/eller råvara spela roll. Det skulle i alla fall i viss mån kunna vara orsaken till diskrepanserna mellan Ökobau, BM och EPD'erna för träprodukterna. Ökobau uppskattade utsläppen i förhållande till cederpanelen 23 % högre än dess EPD och utsläppen för granpanel 33 % lägre än motsvarande EPD. Gran och furu har i BM värden som bara är en bråkdel av de EPD'er som använts i denna studie. Eftersom ett metodval i denna studie är att i första hand hämta värden från

EPD'er så kommer värdena för träpanelerna därifrån och inte från någon av databaserna.

Sammantaget så innebär dock dessa variationer och viss brist på information om de specifika valda materialen att det finns en osäkerhetsmarginal i beräkningarna, vilken inte utförligt undersökts i den här studien, även om kalkyler med värden från olika källor har gjorts för att utvärdera deras inverkan på resultaten.

3.2.3 Karbonatisering

Vad beträffar karbonatiseringen så förekommer det i beräkningen av den en viss osäkerhet gällande hur mycket av den som redan tagits i beaktande i produktionskedet. I denna studie har valts att betrakta all karbonatisering som inträffande i bruksskedet, men i viss utsträckning så kan den inträffa innan byggtiden är över, och kan därför i vissa fall ha räknats in i produktionskedet i varans EPD. Det framgår dock inte av EPD'erna i de fall där osäkerhet har rått, så detta innebär ytterligare en källa till osäkerhet.

3.2.4 Framtiden och utveckling av byggandet

Framtida energipriser för olika energislag respektive olika energislags tillgänglighet och även tillgänglighet till nya material och/eller produktionsmetoder skulle kunna påverka miljöpåverkan på sikt i förhållande till underhållet. De beräkningar som utförts har inte tagit hänsyn till sådana framtida scenarier utan baserar sig på att de EPD'er respektive databasvärden som är giltiga för materialen idag också kommer att vara det under hela analysperioden, även om denna är 100 eller 200 år.

4 Bakgrund

I och med den höga miljöbelastning som byggsektorn innebär så är det väsentligt att varje val av material och utförande för ett projekt övervägs ur ett perspektiv som inte bara tar hänsyn till byggnadens förmåga att hantera nuvarande och framtida krav på funktionalitet, inklusive påverkan av klimatförändringen, utan även till hur dessa val påverkar klimatet och miljön i sig. För det krävs prognosverktyg, simuleringar och beräkningsmodeller. LCA är ett verktyg som ger en överblick över materialvalens påverkan på miljön – och ofta i första hand klimatet – över hela byggnadens livscykel, vilket kan ge en god grund för dessa val av material och konstruktion. Användningen av LCA är ökande och studier relaterade till den som presenteras här är t.ex. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstituts studie av miljöpåverkan av val av stomalternativ (Kurkinen et al., 2015), IVL Svenska Miljöinstitutets studie av byggandets klimatpåverkan i ett nyproducerat flerbostadshus i betong (Liljenström et al., 2015), KTH's, IVL's och Sveriges Byggindustriers rapport om klimatpåverkan av val av stomsystem i flerbostadshus (Erlandsson et al., 2018) och IVL's studie av effekten av användning av lättbalkar och cellulosaisolering i referensbyggnaden Blå Jungfrun (Erlandsson, Petersson & Jönsson, 2020).

Alla dessa studier behandlar hela byggnadens miljöbelastning, inklusive driftsenergi, och tre av dem har huvudsakligen fokuserat sig på stomsystem. I de sammanhangen ligger det, även om studierna behandlar hela livscykeln, inte så mycket fokus på underhåll och reparation eftersom stommen inte är direkt exponerad för vare sig utomhus- eller inomhusklimat. Men i förhållande till val av utvändiga material, som påverkas av väder och vind, så är underhållsåtgärder, underhållsintervall och behov av utbyte av material över tid mycket mer väsentliga. Denna effekt ökar ju längre

analysperiod man studerar. Men även om den relativa effekten av miljöbelastning i den operativa fasen av en byggnads livstid, där underhåll/utbyte av utvändiga material ingår, har poängterats som kritisk i LCA-analyser, så har underhåll och livslängd för de ingående materialen har uppskattats mycket olika i tidigare studier (Francart, Widström & Malmqvist, 2021).

I studien i denna rapport har en annan funktionell enhet valts, nämligen en kvadratmeter fasadyta, vilket alltså inte direkt relaterar till ett specifikt objekt. I förutsättningarna för studien så har utgångspunkten dock ändå varit att denna kvadratmeter ska vara representativ för en kvadratmeter fasad på ett referensobjektet motsvarande Blå Jungfrun, dock upp till sju våningar högt istället för Blå Jungfruns sex våningar.

Projektet har finansierats av branschföreningen Murat och Putsat Byggande, som noterade att förhållandevis få undersökningar av miljöpåverkan gjorts på tegel och puts. Av olika skäl fanns det anledning att tro att miljöpåverkan av tillverkningsprocessen skulle vara relativt hög – höga temperaturer vid framställningen, CO₂-emissioner vid bränning av kalk för tillverkning av cement mm – men frågan var hur en förhållandevis lång hållbarhet därefter påverkade miljöbelastningen över tid. Branschföreningen hade därför ett intresse av att ta fram fakta om miljöbelastningen av de egna produkterna, av två anledningar: Dels för att få en bild av hur dessa produkter står sig i förhållande till andra alternativ, i kortare och längre tidsperspektiv, dels identifiera kritiska områden inom vilka ett arbete med att förbättra miljöprestandan skulle kunna ge störst effekt.

Metod

5 Life cycle assessment, LCA

I en livscykelanalys delas miljöbelastningen upp i livscykelns skeden (SS-EN 15978:2011) och deras ingående processer, fig. 1, som beräknas separat för att sedan sammanfogas till en helhetsbild. Därigenom får man inte bara en kvantifiering att jämföra i förhållande till olika alternativ, men också en bild av var i byggnadens livscykel som de största miljöbelastningarna inträffar, så att man kan identifiera processer att åtgärda för en förbättrad miljöprestanda.

Livscykelinformation för byggnaden														Övrig information		
Byggprocessen					B 1 – 7					C 1 – 4				D Övrig miljöinformation		
A 1 – 3 Produktskede			A 4 – 5 Byggskede		Driftskede					Slutskede						
A1 - Råmaterial	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 - Byggproduktion	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 - Renovering	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 - Rivning	C2 - Transport	C3 - Avfallshantering	C4 - Sluthantering	Potential för återanvändning och material- och energiåtervinning

Fig. 1: Livscykelanalysens skeden

Beroende på mål för analysen respektive tillgång på data så kan det vara praktiskt att slå samman eller utesluta några av dessa processer till summerade skeden. Exempelvis är data för klimatpåverkan för en produkt ibland summerade i den tillgängliga EPD'n för materialet, så att det kan vara svårt att urskilja till exempel de olika processerna A1 - 3 i produktskedet. Det måste därför ingå i de metod- och målval som görs för studien att ta ställning till vilka faser som ska inkluderas, alltså studiens systemgränser.

En livscykelanalys sker i ett antal steg (SS-EN ISO 14044:2006):

1. Definition av vad studien ska leverera, inklusive bestämning och kvantifiering av vad som ska undersökas, alltså val av funktionell enhet att jämföra och alternativa kvaliteter/utföranden av den funktionella enheten
2. Inventering, LCI, av miljöpåverkan av utnyttjandet av de ingående resurserna
3. Beräkning av miljöpåverkan baserat på inventeringen i kombination med komponenterna i vald funktionell enhet
4. Tolkning av resultaten

I denna studie har definitionen av vad studien ska leverera inneburit 5 olika val:

1. Val av miljöpåverkande faktor att undersöka
2. Val av funktionell enhet
3. Val av systemgräns
4. Val av alternativa uppbyggnader att jämföra
5. Val av analysperiodens längd

5.1.1 Val av miljöpåverkande faktor

I denna studie har Global Warming Potential, GWP (IPCC, 1996), valts som mått för jämförelserna. GWP är ett förenklat sätt att översätta utsläpp av gaser i atmosfären till koldioxidekvivalenter, vare sig utsläppet faktiskt består av koldioxid eller någon annan växthus-gas. Denna omvandling är alltså en metod för att mäta klimatpåverkan, och den är inte nödvändigtvis representativ för andra miljöföroreningar, utnyttjande av ändliga resurser eller andra faktorer som berör hållbarhetsbegreppet. Givet det nödvändiga fokuset på den pågående klimatförändringen respektive studiens övriga komplicerande faktorer, respektive skillnader i tillgång till data för olika material, så ansågs GWP vara ett acceptabelt val av enhet för undersökningen.

5.1.2 Funktionell enhet

Den funktionella enheten för studien är en kvadratmeter fasadarea, ej inkluderande komplicerande faktorer såsom fönster eller balkonginfattningar. Dock har ett visst påslag gjorts för antal löpmeter regler/profiler för att kompensera för behov av ökat antal vid utsatta kanter, hörn etc.

Det har utgått ifrån att den kvadratmeter som räknas på befinner sig på ett flerfamiljs-hus på sju våningar, och att detta i princip befinner sig i ett relativt skyddat läge, utan någon extrem klimatpåverkan, men dock påverkat av bl.a. den vindpåverkan som den höjden på byggnad innebär.

Alla alternativen har givits samma bärande stomme och inre skikt, och även samma U-värde, för att bli jämförbara. Det betyder att transmissionsförlusterna genom fasad-

ytan inte behöver inkluderas i beräkningen, eftersom de kommer att vara samma för alla alternativen.

Det innebär också att beräkningen kan begränsa sig till det yttre skiktet av fasaden, då allt innanför luftspalten i princip är lika i alla fallen. Dock komplicerades genomförandet av denna princip av att ett av alternativen är oventilerat – den oventilerade putsfasaden – och att uppbyggnaden av det alternativet inkluderade en putsbärande isoleringsskiva. Därmed minskade U-värdet för den konstruktionen jämfört med de andra och var alltså inte likvärdig. Om detta inte kompenserades för så skulle det vara nödvändigt att inkludera energiflödet genom konstruktionen också i beräkningen. För att undvika det lades mera isolering till i de övriga alternativen, en 30 mm fasadskiva av mineralull, vilket alltså ökar deras miljöbelastning något, men det åstadkommer en i princip likvärdig funktionell enhet med ett enhetligt energiflöde som därmed inte behöver inkluderas. Valet av denna metod kan motiveras med att en projektering av en byggnad med den oventilerade putsfasaden, applicerad på en extra isoleringsskiva skulle kunna innebära att man valde en något tunnare isolering innanför, och därmed sparade in på innanförliggande material. Genom tillägget av den extra isoleringsskivan i alla de övriga alternativen så åstadkommes alltså helt likvärdiga konstruktioner.

I typbeskrivningarna nedan framgår begränsningen i djupled, utöver den areamässiga begränsningen för den funktionella enheten.

Ytterligare en komplikation utgörs av kraven på brandsäkerhet. Ett sjuvåningshus med en fasadbeklädnad av trä innebär krav på automatiskt släcksystem (Boverket, 2020 a), vilket då medför extra kostnader och tillkommande miljöbelastning. I det sammanhanget har ett pragmatiskt tillvägagångssätt applicerats: Miljöbelastningen av en invändig sprinkleranläggning har inte räknats in av praktiska, inventeringsmässiga skäl, medan en schablonkostnad lagts på i den ekonomiska kalkylen i LCC-analysen, motsvarande en omräkning från kostnaden för sprinkling av en antagbar invändig golvaarea, utslagen på en antagbar omgivande fasadarea, för att fördela kostnaden per kvadratmeter fasad, alltså studiens funktionella enhet.

Det bör dock noteras att produktionsskedets klimatpåverkan för träpanelsalternativen alltså är underskattad i och med det att sprinkleranläggningens tillverkningsutsläpp inte tagits med.

5.1.3 Systemgräns

I denna studie har några av de processerna som ingår slagits samman, och några av faserna har utelämnats pga bristande relevans i förhållande till den valda funktionella enheten. Produktionsskedets alla processer, A 1 – 3, lades samman eftersom de tillgängliga data som användes endast specificerade miljöpåverkan för hela produktionsskedet, inte uppdelat på de enskilda processerna. Det får en del konsekvenser när material används som transporteras långväga som råmaterial, och sedan bearbetas till produkt mer regionalt. Exempelvis så fraktas träråvaran till cederträpanelen från Canada till Danmark där den sågas till panelbräddor, men den transporten syns inte någonstans eftersom den ingår i ett samlat GWP-värde för hela produktionsskedet. Den transport som syns är endast den från sågverket i Danmark till en plats i Sverige.

Byggskedets båda processer var möjliga att särskilja, så det har gjorts. När det gäller val av transportsträcka så har generisk data från BM använts för livscykelanalysen. I driftskedet har ett antal olika val gjorts. Först och främst har processen B₁, Användning, utnyttjats till att inkludera den karbonatisering som sker under byggnadens driftstid. Inga andra miljöbelastningar uppstår under användningen, medan ett visst

negativt koldioxidflöde sker då karbonatisering av betong respektive cementprodukter såsom cementhaltig puts binder koldioxid från atmosfären. Den totala mängden kommer aldrig att komma upp i samma storleksordning som den koldioxidemission som inträffade under tillverkningsprocessen, främst pga materialets täthet, vilket gör det svårt för luften – med sin koldioxid – att komma i kontakt med hela materialmassan. Det innebär att porösare puts kommer att genomgå en mer fullständig karbonatisering än betong, respektive att tunna skikt också blir mer genomgående karbonatiserade än tjocka.

Vidare i driftskedet så har processerna B2 – B4, Underhåll, Reparation och Utbyte, slagits samman till en för jämförbarhetens skull. Olika materials underhåll kräver olika typer av åtgärder, som ibland kan klassas som rent underhåll, ibland som reparation, ibland som utbyte, men det studien avser att belysa är underhållets sammanlagda påverkan, inte hur de olika åtgärderna kan klassificeras. Så B1 – B4 bildar en gemensam process i driftskedet.

Däremot så har övriga processer i driftskedet inte inkluderats. B5, Renovering, ansågs inte direkt gå att relatera till en enskild kvadratmeter fasad, men de åtgärder i en renovering som skulle beröra fasadens ytterskikt bör kunna hänvisas till B3, Reparation, och/eller B4, Utbyte. Processen B6, Energianvändning, gjordes överflödigt i och med valet att hålla fasadutsnittets U-värde konstant. Det innebär att energianvändningen är lika i alla alternativen och kan uteslutas ur studien.

Slutligen har även B7, Vattenanvändning, uteslutits eftersom ingen vattenanvändning förekommer i den funktionella enheten.

I slutskedet C så har alla processerna slagits samman till en enda, även i detta fall pga svårigheten att hitta separerade indata. Skede D har inte inkluderats.

De resulterande sex ingående processerna är alltså:

- A 1 – 3 Råmaterial, transport av råmaterialet och tillverkning/bearbetning
- A 4 Transport av färdig produkt till byggplatsen,
- A5 Byggproduktion,
- B1 Användning (karbonatisering),
- B 2 – 4 Underhåll, reparation och utbyte, och
- C 1 – 4 Rivning, transport från rivningsplatsen, avfallshantering och sluthantering.

I den schematiska sammanställningen av livscykelns skeden och processer kan de resulterande processerna framställas som i fig. 2.

Livscykelinformation för byggnaden											Övrig information					
Byggprocessen					B 1 – 7 Driftskede			C 1 – 4 Slutskede			D Övrig miljöinformation					
A 1 – 3 Produktskede			A 4 – 5 Byggskede													
A1 - Råmaterial	A2 - Transport	A3 - Tillverkning	A4 - Transport	A5 - Byggproduktion	B1 - Användning	B2 - Underhåll	B3 - Reparation	B4 - Utbyte	B5 - Renovering	B6 - Energianvändning	B7 - Vattenanvändning	C1 - Rivning	C2 - Transport	C3 - Avfallshantering	C4 - Sluthantering	Potential för återanvändning och material- och energiåtervinning

Fig. 2: Livscykelanalysens skeden med de valda systemgränserna

5.1.4 Alternativ att undersöka

7 olika fasadalternativ har beräknats, ett av dem är dock en variant som inte är vanligt förekommande i Sverige och som därför endast har tagits med för att poängtera effekten av ett enskilt materialbyte, i det fallet materialet i profilerna för det ventilerade putssystemet. Det som angivits som gängse på den svenska marknaden är stålreglar, perforerade hattprofiler med relativt liten materialmängd, medan samma system på andra marknader, exempelvis i USA, monteras på aluminiumprofiler, vilket ger en väsentligt mycket högre klimatpåverkan. Alternativet med aluminiumprofilerna avviker därför ifrån utgångspunkten att de alternativ som ingår i studien ska vara vanligt förekommande på den inhemska byggmarknaden, och är endast inkluderat för att kvantifiera potentiell inverkan av byte till ett GWP-intensivt material som aluminium.

Den i studien ingående fibercementskivan kan för övrigt också monteras på olika typer av bärverk: träreglar, stålprofiler och aluminiumprofiler. I denna studie har stålprofilalternativet valts.

Utgångspunkten för val av fasadalternativ var tre vanligt förekommande materialtyper: tegel, puts och träpanel, plus att något ytterligare, jämförbart alternativ skulle inkluderas. Valet av ytterligare material föll på fibercement. Tegel och fibercement har relativt få komplikationer av signifikant betydelse när det gäller val av utförande av fasaden, medan det för putsens och träpanelens del finns ett större utbud av varianter, såväl när det gäller materialegenskaper som tjocklekar och uppbyggnad av de yttre fasadskikten. Dessa skillnader påverkar utfallet, vilket gjorde att de inte kunde ignoreras. För att få med de skillnaderna togs därför två varianter av samma materialtyp med för alternativen puts och träpanel: Oventilerad traditionell puts respektive ett ventilerat putssystem med tunnputs på putsbärande skivor av glasgranulat för putsens del, och en obehandlad fjällpanel av cederträ respektive en målad lockpanel av gran som representanter för träpanelalternativet. Därtill kommer alltså varianten med aluminiumprofiler istället för stålprofiler i en ventilerade putssystemet, men uppbyggnaden av de alternativen är i övrigt identiska, endast profilmaterialet skiljer.

Sammanlagt har alltså 6 olika alternativ undersökts, fig. 3, med ett sjunde som en undervariant av alternativ III, det ventilerade putssystemet:

- I Tegel
- II Oventilerat, traditionellt putssystem
- III Ventilerat putssystem, med a) stålprofil och b) alternativt aluminiumprofil
- IV Fibercementskivor
- V Fjällpanel av obehandlat cederträ
- VI Målad lockpanel av granträ

Den bärande och inre delen av ytterväggen, en träregelvägg med invändig gips, är identisk i alla alternativen och har inte inkluderats i beräkningen, men för alla fallen har alltså en fasadskiva av mineralull inkluderats, eftersom en sådan skiva ingår i det oventilerade putsalternativets uppbyggnad. För att inte behöva inkludera en beräkning av transmissionsförluster genom fasadutsnittet också, så hölls alltså U-värdet konstant i alla alternativen genom att inkludera ett motsvarande skikt isolering i de övriga fallen.

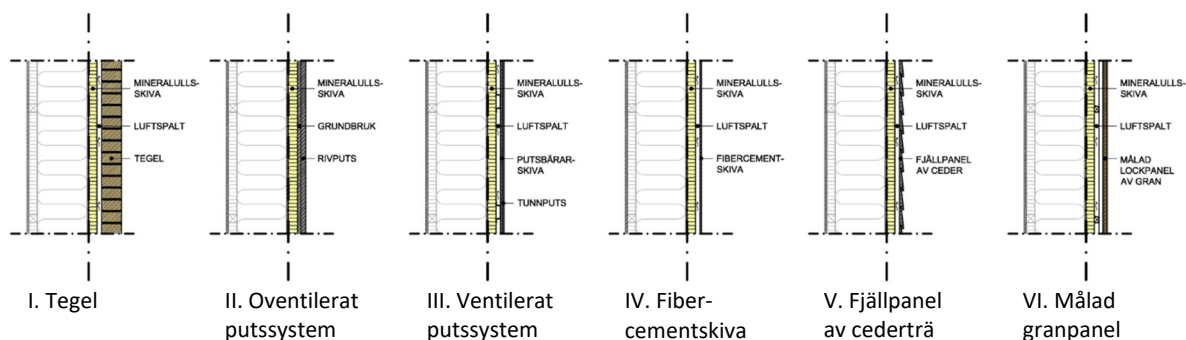


Fig. 3: De ingående fasadkonstruktionerna med systemgränsen i fasadväggen inkluderad.

För alla alternativen valdes existerande, faktiska material att utgå ifrån, hellre än generiska typmaterial. Detta för att kunna använda så realistiska materialegenskaper som möjligt, med faktiska material data. I praktiken har det dock inte varit möjligt att hitta produktspecifika data för alla material i studien, i de fallen har data för likvärdiga material använts i första hand och data från databaser i andra hand.

5.1.5 Analysperioder

En normal analysperiod ligger på 50 – 60 år (Boverket, 2019). Samma källa anger också att byggnader visserligen vanligtvis bör antas vara mer långlivade än så, men att det är realistiskt att räkna med en ombyggnad efter så pass lång tid, och att det ofta innebär standardhöjande åtgärder som motiverar att en ny cykel påbörjas efter den tiden. Det rimmar dock inte helt med LCA-analysens från-vaggan-till-graven-perspektiv, eftersom huset alltså enligt det resonemanget inte antas rivas efter dessa 50 – 60 åren, endast renoveras, medan en LCA på 50 år inkluderar rivning av alla materialen efter den tiden. Argumentet för att det är acceptabelt att räkna in en rivning även av material som inte rivs efter 50 år, såsom exempelvis stomme eller mer långlivade fasadmateriäl, är att de förr eller senare kommer att rivas i alla fall. Men det har två konsekvenser: Dels att rivning av material som kanske i själva verket först

kommer att tas ur bruk ytterligare 50 eller 100 år senare belastar en livscykel som den inte tillhör, och den inbyggda energin som strukturerna i byggnaden utgör därmed anses förbrukad redan efter 50 år, dels att potentiell begränsning av framtida utsläpp genom investering i material med längre hållbarhet än 50 år eller med låg underhållsintensitet inte kommer att kunna tas med i beräkningen under dessa förutsättningar.

Så även om argumentationen är att det är en ny livscykel som påbörjas efter 50 år och att det faktum att man räknar in en rivning av samtliga byggnadskomponenter inte innebär att man antar en faktisk rivning efter så kort tid, så kvarstår konsekvenserna av att man räknar med en total rivning. Byggnaders livslängd varierar ju, pga tekniska förutsättningar som konstruktion, material och utförande, pga ekonomiska förutsättningar såsom markpriser och efterfrågan och även pga kulturella variationer, där man i vissa länder förväntar sig en kortare livslängd och i andra länder längre. Men med de byggnadssätt vi normalt använder oss av i Sverige samt i genomsnitt relativt modesta markpriser internationellt sett, respektive relativt höga förväntningar på byggnaders livslängd, så finns det förhållandevis liten anledning att anta att alla material i en genomsnittlig ny byggnad kommer att vara förbrukade inom 50 år.

Det finns alltså en risk för att den analysperiod som idag betraktas som normal inte motsvarar normala byggnaders faktiska tekniska livslängd, vilket kan resultera i en missvisande LCA-bedömning av olika alternativt miljöpåverkan. Det kan också tilläggas att det inte finns några generellt tvingande föreskrifter för att använda en analysperiod på just 50 år, men i flera specifika sammanhang, inklusive EUs ramverk Level(s), så föreskrivs den analysperioden, och därför används den ofta även i andra sammanhang. Det förekommer dock ett några ytterligare argument för att använda sig av en så pass kort analysperiod, trots den potentiella bristen på korrelation till byggnadens rent fysiska livstid.

Ett sådant argument är att den ekonomiska livstiden ofta är kortare än den tekniska, vilket innebär att det skulle vara rimligt att riva en byggnad redan efter 50 år, även om det inte är tekniskt nödvändigt. Mot det argumentet står det faktum att det innebär en förtidig destruktion av byggnadens inbyggda energi. Den byggnad som inte behöver byggas för att man kan återanvända en redan befintlig byggnad är ur miljöperspektiv bättre än en som kostar både destruktion av befintlig, fungerande substans och därtill nyproduktion av material och produkter till en nybyggnation, ofta i stort sett oavsett hur resursbevarande den nya byggnaden sedan är i drift. Avsikten med verktyget LCA är ju att främja hållbarheten i byggandet, och då står det valet av analysperiod i kontrast mot den ambitionen.

Ett annat argument är att det är ont om tid för mänskligheten att minska sin klimatpåverkan om det ska finnas en chans att begränsa de framtida, långsiktiga konsekvenserna. Det val som kan göras för en 50 år period vore därför det relevanta enligt det resonemanget, det som händer därefter har mindre potential att bidra till en minskad klimatpåverkan. Det kan också ha sin relevans i sig, och man skulle kanske kunna applicera en form av klimatomfattig nuvärdesmetod, motsvarande den ekonomiska versionen, för att ta den tidsmässiga effekten i beaktning. En sådan metod är Dynamic Life Cycle Assessment, DLCA, som syftar att tillgodose det tidsmässiga perspektivet (Collinge et al., 2013).

Men om man i andra sammanhang inom LCA har ambitionen att se till att klimatpåverkan inte bara förflyttas till andra skeden och processer så borde den logiken rimligen även att undvika att skjuta eventuell klimatpåverkan på framtiden, framför allt inte om man som argument framför att man månar om kommande generationer.

Det sista argumentet för att använda sig av en kortare analysperiod är att osäkerheten ökar ju lägre fram i tiden man räknar. Det är förvisso sant. Som Niels Bohr ska ha sagt: Att förutsäga är mycket svårt, framför allt om det gäller framtiden. Det behöver dock inte betyda att man bör avstå ifrån att försöka ge en prognos för framtida konsekvenser baserat på det som är känt om dagens förhållanden, även om det kan innebära att prognoserna kan slå fel.

Syftet med denna studie är att undersöka vad som händer om man analyserar livscykelpåverkan för en tidsperiod som motsvarar en byggnads potentiella tekniska livslängd, samtidigt som en period på 50 år också inkluderats. Anledningarna till att den kortare perioden tagits med är två, dels är det för möjligheten att jämföra med resultat från andra liknande studier som gjorts för en 50-årig period, dels för att den kortare tidsperioden gör miljöbelastningen i de första två skedena, produkttillverkning och byggande, tydligare, så att det lättare går att urskilja vilka processer i produktionen som kan vara speciellt belastande och därmed speciellt intressanta att fokusera åtgärder på. De längre analysperioderna lägger istället fokus på konsekvenserna av val av material.

6 Principiellt om livslängd och underhåll

Information om teknisk livslängd och underhållsbehov har varit notorisk svår att få tag på, eftersom det inte finns någon central insamling av den typen av data. De informationskällor som använts i detta projekt har varit leverantörer och praktiker samt data från IVL Svenska Miljöinstitutet (Erlandsson & Holm, 2015). I första hand inhämtats från leverantörer och praktiker, för att vara relevant och specifik för de valda materialen. Dessa data har sedan jämförts med IVL's värden. I vissa fall har det varit mycket stora avvikelser mellan dessa källor, vilket kan ha med bristen på centrala, samordnade källor att göra, men också med det faktum att livslängd och underhållsbehov kan påverkas kraftigt av den lokala situationen för den enskilda byggnaden. IVL's tabell anger därför livslängd och underhållsbehov för olika situationer – lågt underhållsbehov och lång livslängd för byggnader under gynnsamma förhållanden, medelvärden för normalfall och högt underhållsbehov respektive kort livslängd för byggnader i utsatta situationer. Alla fasadalternativen har alltså jämförts under 4 olika förutsättningar:

- a) Livslängd/underhållsbehov enligt leverantörer/praktiker
- b) Livslängd/underhållsbehov enligt IVL, "Utsatt läge"
- c) Livslängd/underhållsbehov enligt IVL, "Normal exponering"
- d) Livslängd/underhållsbehov enligt IVL, "Skyddat läge"

7 Metodik

En grundprincip för arbetet är att studien ska vara relevant för svenska förhållanden. Valet av fasadalternativ är därför styrt av kriteriet att alla alternativen ska vara normalt förekommande, och de material som används ska vara sådana som kan förväntas användas på ett svenskt bygge idag. Det innebär att exempelvis teglet i tegelalternativet är importerat från Danmark, liksom även cederträpanelen, därför att det är vad som kan antas vara ett normalfall.

Indata för de ingående produkterna är hämtade från i första hand EPD'er för de specifika materialen från tillverkarna. I andra hand har EPD'er för material av motsvarande

typ, kvalitet och förmodad tillverkningsprocess använts. När EPD'er saknats har i tredje hand data från nordiska databaser, använts, främst det svenska verktyget Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg, BM, (IVL, 2018). I sista hand, om inga mer lokalt förankrade data kunnat hittas, så har data från databaser från andra länder nyttjats, såsom den från tyska Ökobau (German Federal Ministry of the Interior Building and Community, 2017). Detta eftersom det kan förekomma skillnader i kvalitet och tillverkningsmetoder mellan olika länder. Så för material tillverkade i andra länder har värden reflekterande den tillverkningsprocess de faktiskt genomgår i de länderna eftersträvat, för mer lokalt producerade produkter har motsvarande lokala data sökts.

För vissa komponenter har enbart materialdata använts, såsom för exempelvis skruvar. Punktköldbryggor, såsom kramlor och andra infästningar, har inte inkluderats.

Inventeringen av indata har utgjort den största utmaningen i projektet. I vissa fall har det inte funnit giltiga EPD'er och det har varit svårt att få veta exakt material-sammansättning för att kunna hitta motsvarande material att ta värden ifrån istället. Ibland har det gått att få fram data från flera olika källor för samma produkt, men då istället förekommit ganska markanta avvikelser mellan dessa olika källors uppgifter om GWP. Prioritet har i det sammanhanget alltså lagts på att fokusera på indata med så stor allmängiltighet som möjligt, alltså på vad som kan anses vara vanligt förekommande på den inhemska marknaden idag.

Det innebär dock en källa till osäkerhet, och det kan inte anses givet att de värden som bedömts vara giltiga för dagens byggande också kommer att vara det om några år – både metoder och material bör förmodas utvecklas med tiden. Dock är ambitionen i denna studie att använda data som är adekvata för dagens situation, med förhoppningen att de också har relevans för framtiden.

Beräkningarna är utförda manuellt, i form av excelark, för största möjliga kontroll över beräkningsdetaljerna.

8 Life Cycle Costing, LCC

LCC följer samma logik som LCA, genom att utvärdera belastning av en produkt över hela produktens livscykel (även om den kan begränsas i sin omfattning), men istället för miljöbelastning mäts finansiell belastning. Det är ett sätt att inkludera långsiktiga effekter vid val av produkter och/eller investeringar (Upphandlingsmyndigheten, 2021). I denna studie kombineras livscykelanalysen med en LCC-kalkyl för att parallellt med undersökningen av klimatpåverkan visa på ekonomiska drivkrafter och undersöka de olika alternativens ekonomiska konkurrenskraft. Ett alternativ med synnerligen låg miljöbelastning som kostar dubbelt så mycket som andra alternativ kommer ju sannolikt inte att bli valt i samma utsträckning som övriga, trots att det må vara det bästa valet ur miljösynpunkt, respektive måste sannolikt säljas med större marknadsföringsmässig insats för att kunna konkurrera. Det är därför av värde att kunna bedöma den finansiella belastningen tillsammans med den miljömässiga. Detta korresponderar till begreppet hållbar utveckling såsom det identifierades vid 2005 års toppmöte i FN (United Nations, 2005), där finansiell hållbarhet ingår.

Standarden SS-EN 16627 (SS-EN 16627:2015) skiljer på LCC, Life Cycle Costing, som enbart inkluderar kostnader över en produkts livstid, och Life cycle economic balance, som utöver kostnader också inkluderar eventuella intäkter. I den här studien har enbart kostnader inkluderats.

Samma standard utgår generellt från att beräkningen utförs för en hel byggnad – i detta fall är den enhet som beräknas den samma som i LCA-analysen, alltså en kvadratmeter av fasad, begränsad i djupled till fasadens ytterskikt. Vidare har liksom för LCA-analysen inga kostnader för byggnadens energianvändning, alltså energiförlust genom fasadarean, räknats in, eftersom dessa förluster hållits lika i alla alternativen. Standardens krav på att eventuella skatter och avgifter för exempelvis bygglov etc ska räknas in faller också bort ut kalkylen givet den valda funktionella enheten.

Vidare föreskriver samma standard att nuvärdesberäkning ska utföras. Detta fungerar för en analysperiod på 50 år, men vid analysperioder på 100 respektive 200 år så innebär det att kostnader längre bort i tiden blir så låga att de i princip försvinner, så att det längre perspektivet förloras. Det kan förvisso vara korrekt att behov av investeringar i underhåll om 100 till 200 år inte väger tungt i överväganden om val av alternativ vid en projektering i nutid, men ett av huvudsyftena med denna studie var att undersöka prestanda över längre tid, jämfört med analysen av den sedvanliga 50 årsperioden. Därför genomfördes visserligen nuvärdesberäkningen, men valdes bort i analysen av resultaten. Det som redovisas i resultaten är alltså nominella kostnader, utan hänsyn till nuvärde.

Livscykelkostnadsanalysen är endast utförd för grundfallet, det som baserar sig på underhållsdata från leverantörer och praktiker.

Källa till kostnadsinformationen är huvudsakligen Wikells Sektionsfakta (Wikells, 2019), utom i de fall då leverantörsinformation kunnat användas för specifika material.

Värt att notera är att målningen av granpanelen var svår att få ett pris på från måleri-branschen, både för medverkande i denna studie och för Wikells. De data som använts där är därför hämtade från information från Riksbyggen, baserade på deras kalkyler för underhåll av det byggnadsbestånd de förvaltar.

Byggnadsställningar, eventuella damm- och/eller klimatskydd är inte inkluderade i de samlade materialkostnaderna per kvadratmeter i Wikells Sektionsfakta, utan hämtas separat från samma källa, vilket har skett.

Materialkostnaderna i Wikells Sektionsfakta inkluderar inköp av material, transport och arbetskostnad för montage/bearbetning på byggplats, vilket innebär att alla skedena A1 – A5 inkluderas. Det blev därför opraktiskt att dela på dessa skeden i livscykelkostnadsberäkningen. Därför består denna endast av tre delar:

- Bygge, innehållande skedena A1 – A5,
- Underhåll, innehållande skedena B2 – B4, och
- Rivning, innehållande kostnader för rivning/demontering samt transport och omhändertagande av avfall

Skede B1, bruksskedet, som inkluderats i livscykelanalysen utgår, då den i livscykelanalysen endast inkluderar karbonatiseringen, som ju inte är förbunden med några kostnader.

Arbetskostnaden i Wikells utgår ifrån uppskattad arbetstid per arbetsmoment multiplicerat med timlön plus ett omkostnadspåslag på ytterligare 172 %.

9 Beskrivning av fasadalternativen

9.1 Tegel

9.1.1 *Materiallegenskaper*

För teglets del valdes ett slaget danskt gult tegel, Strøyer B115 gul, som representant för ett enkelt, vanligt förekommande tegelalternativ på den svenska marknaden. Det danska teglet är tunnare än traditionellt svenskt tegel, 108 mm istället för 125 mm, och kräver därför en något mindre materialmängd – men eftersom danskt tegel är vanligt förekommande i svenska byggprojekt så ansågs det rimligt.

Vid inventeringen framkom att EPD'n från leverantören inte längre var giltig vilket orsakade vissa bekymmer. GWP-värdet i den utgångna EPD'n var väsentligt lägre, 0,195 kgCO₂e/kg, än motsvarande värde för gult tegel i Ökobaus databas, 0,290 kgCO₂e/kg. Därtill framkom att denna ogiltiga EPD inte specifikt rörde just Strøyer B115 Gul till att börja med, utan var en generisk EPD för vanligt danskt tegel i allmänhet. Det högre värdet från Ökobaus databas ansågs inte heller användbart, eftersom man enligt uppgift från Tegelmäster (Wallmark, 2020) inte använder sig av samma temperaturer för bränning i Tyskland som i Danmark. Som kompromiss valdes istället ett värde från Byggsektorns Miljöberäkningsverktyg för normalt gult tegel, 0,215 kgCO₂e/kg. Det specifikt valda materialet har alltså i detta fallet endast varit vägledande, och GWP-data har fått inhämtas från en produkt som kan antas vara likvärdig och som producerats under likartade förhållanden. Det kan dock inte fastställas om det förekommer skillnader i t.ex. utvinning och transport av råvara el. dyl., så en viss tillkommande osäkerhet är här inkluderad.

Kostnadsberäkningen baserar sig emellertid på priset för just Strøyer B115 Gul.

Vid val av murbruk uppstod en del diskussioner, men valet landade på kalkcementbruket Weber Färgat Murbruk M2,5.

Ytterligare en komplikation rörde användningen av bistål. Efter konsultation med ett antal experter (Molnar, 2020; Gustavsson, 2020) konstaterades att bistål antagligen inte är nödvändigt i denna konstruktion, och att man ofta använder bistål i onödan, för säkerhets skull. Enligt uppgift (Molnar, 2020) kan bistål under vissa omständigheter rent av minska stabiliteten i tegelfasaden. Därtill kommer att användningen av stålet innebär en klimatbelastning, även om den i detta fall var mycket begränsad, endast 70 g/m², som i så fall är onödig och förhoppningsvis alltså inte kommer att användas i normalfall framöver. Inverkan av biståler är emellertid mycket liten, så pga att det är vanligt förekommande så beslöts att låta det ingå trots argumenten emot användning.

9.1.2 *Livslängd och underhåll*

När det gäller tegelalternativet förekommer det markant motstridiga uppgifter om livslängd och underhåll i de olika källor som använts. Leverantörerna framhåller att tegelfasaden har en teknisk livstid på 200 år, i IVL's rapport (Erlandsson & Holm, 2015) varierar den mellan 80 år i normalfall, >100 år i det mest gynnsamma alternativet, och 50 år i det minst gynnsamma. När det gäller ett material med stor massa och hög klimatpåverkan under produktionskedan så innebär ett antagande om utbyte efter 50 år istället för 200 år givetvis en mycket stor skillnad, vilket också framgår av resultaten.

Rimligheten i den kortare livslängden i IVL's rapport kan dock ifrågasättas. I rapporten anges fyra källor som de framtagna tabellvärdena ska vila på. En av dem, holländska Levensduur van bouwproducten, SBRCURnet, 2011, anger värdet >100 år, vilket är maxvärdet som den rapporten använder sig av. En annan, tyska Nutzungsdauern von

Bauteilen, Federala ministeriet för transport, byggande och stadsplanering, 2011, anger livslängden till >50 år, vilket också är ett maxvärde för den källan. Den tredje källan, tyska Nutzungsangaben von ausgewählten Bauteilen und Bauteilschichten des Hochbaus für den Leitfaden "Nachhaltiges Bauen", Technische Universität Berlin, 2008, anger tre livslängder, minimum 80 år, maximum 100 år och medel, 90 år, men då ska man hålla i åtanke att denna källa enbart relaterar till höghus. Då de fasadalternativ som jämförs i denna studie förmodas sitta på ett sjuvåningshus så kvalificerar sig dessa i höghuskategorin, men kategorin höghus kan också innefatta betydligt högre byggnader och därmed än mer exponering för vindpåverkan. Så alla dessa tre källor antyder en lång livstid eller en som i alla fall är längre än deras egen horisont stäcker sig. Ändå drar IVL (Erlandsson & Holm) slutsatsen att en tegelfasad i ett utsatt läge inte håller längre än 50 år.

Anledningarna till det kan vara två. Dels att >50 år är det längsta värdet som någon av de tre källorna ovan anger, vilket då enligt försiktighetsprincipen skulle kunna räknas som antagbart minimum. Men i och med att den källan inte anger någon hållbarhet längre än 50 år så betyder ">50 år" egentligen bara att man inte har tagit ställning till livslängder längre än 50 år. Den andra anledningen är sannolikt den fjärde källan, Per Gunnar Burströms "Livslängdsbedömningar av byggnadsmaterial", Lunds Universitet, 1999 (Burström, 1999). Denna källa sätter i bjärt kontrast mot de övriga minimum-livslängden till 30 – 60 år, och normal livslängd till 50 – 100 år. I Burströms beskrivning av materialet framkommer inget som förklarar den här avvikelser. Han skriver om god beständighet mot kemiska angrepp, konstaterar att saltutfällningar oftast är harmlösa och att enstaka stenar kan frysa sönder men att risken för det kan motverkas genom en höjd bränningstemperatur, inget om vad som skulle kunna orsaka ett utbyte av teglet redan efter 30 år. Återstår då hans källor. Utöver ett kompendium i fastighetsförvaltning från Lunds Universitet från 1995, en muntlig konversation med Kenneth Sandin och rapporten "Reparationsbehov i bostäder och lokaler" från Statens Institut för Byggnadsforskning, 1984, så består hans källor av Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretags underhållsnorm från 1992.

Allmännyttiga bostadsbolag kanske inte har tillgång till ett genomgående representativt byggnadsbestånd att rapportera ifrån ifall de förvaltar ett byggnadsbestånd som i alla fall till stor del inkluderar byggnader från miljonprogrammets byggboom. I de byggnaderna användes understundom en del mer experimentella eller i alla fall för den tiden nyskapande och inte allt igenom lyckade konstruktioner, och även byggfusk respektive ibland undermåliga material förekom när så stora volymer bostäder skulle byggas snabbt och helst även billigt.

De problem som gjort att man kanske har bytt tegelfasad efter relativt kort tid kan därför tänkas ha andra orsaker än teglets hållbarhet. Det kan alltså vara att IVL's siffror i det här sammanhanget är sannolika för bostadsbyggnader inom allmännyttan, men kanske inte för byggnader med tegelfasader i allmänhet.

Dock må tilläggas att även om tegelfasaden som sådan kan ha en livslängd på 200 år, så är det inte fullt lika säkert att bakomliggande material har det. I det här fallet är det dock möjligt att bortse ifrån det eftersom den bärande stommen och övriga skikt innanför tas med i beräkningen.

Vad gäller omfogning av fogbruket i tegelfasaden så gick åsikterna isär, även där. Några leverantörer hävdade att man aldrig skulle foga om endast en del av fogarna, det blev opraktiskt, man behövde ändå byggnadsställningar för att komma åt att inspektera alla fogarna, då kunde man ju lika gärna göra något åt dem oavsett det behövdes eller ej, och slutligen så skulle det vara omöjligt att anpassa färgen på murbruket så väl till de

befintliga fogarna att man inte skulle se skillnad. Därmed behövde man foga om alla fogarna av estetiska skäl, även om bara få egentligen skulle behöva det av tekniska skäl. Denna studie har dock inte tagit hänsyn till det estetiska argumentet utan förhållit sig till tekniskt nödvändiga åtgärder, och har därför använt information från Lunds Tekniska Högskola (Molnár, 2020) om att omfogning ofta sker i onödan, och att en omfogning av 15 % av fogarna 3 gånger under 200 års-period (varav den tredje faller bort om man räknar med en rivning efter den tiden) bör vara ett antagbart värde för normalfall.

Underhållsplanerna innehåller två åtgärder:

1. Omfogning av 15 % av fasaden
2. Utbyte av allt tegel

Tabell 1: Underhållsplaner för tegelfasaden i underhållsalternativen a, b, c och d

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
15% av fogarna omfogas efter 67 respektive 133 år	15% av fogarna omfogas 20 respektive 40 år efter nybygge/utbyte, och utbyte av hela fasadbeklädnaden efter 50 år	15% av fogarna omfogas 25, 50 respektive 75 år efter nybygge/utbyte, och utbyte av hela fasadbeklädnaden efter 80 år	15% av fogarna omfogas 50 respektive 100 år efter nybygge/utbyte, och utbyte av hela fasadbeklädnaden efter 150 år

9.1.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av tegelfasaden kan ses i fig.4. De ingående skikten är, inifrån från systemgränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 30 mm Fasadskiva av mineralull, Isover Fasadskiva 30
- ♦ 30 mm Luftspalt, med kramlor mellan tegel och stomme
- ♦ 108 mm Murat tegel, Strøyer B115 Gul med Weber Färgat Murbruk +M2,5

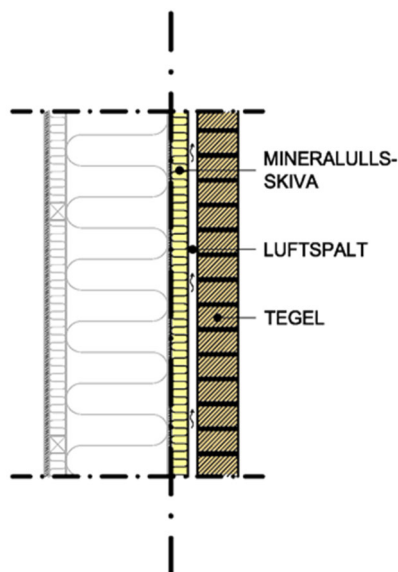


Fig. 4: Alternativ tegel, inkl. den U-värdeskompenserande mineralullsskivan

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 2):

Tabell 2: Materialmängder i tegelfasaden

Material	Beskrivning	Mängd/m ²
Mineralull	30 mm tjock mineralull	1,00 m ²
Kramlor, stål	4 st/m ²	0,12 kg
Murbruk	Kalkcementbruk, 108 mm djupt skikt täckande 22 % av fasadarean	70,00 kg
Tegel	Slaget gult tegel, 108 mm	138,10 kg

9.2 Oventilerad puts

9.2.1 Materialegenskaper

Till den oventilerade fasaden med traditionell puts valdes Weber Serporoc fasadsystem med spritputs applicerat på en 50 mm mineralullsskiva. Systemet är ett vanligt förekommande putssystem som kan anses representativt för fasadtypen.

Fasadsystemet består av mineralullsskivan, Webertherm 321, 20 mm grovputs Webertherm 343 Basbruk, och ett yttersta skikt av 8 mm Webermin 207 Rivputs. Webertherm 343 är ett kalkcementbruk med dolomit och natursand som ballast, och putsas på mineralullsskivan som är armerad med ett svetsat putsnät av ståltråd med zinkbeläggning. Rivputsen är en ädelputs med dolomit som ballast, och är också ett bruk med släckt kalk och portlandcement. Rivputsytan antas ha en relativt god hållbarhet med mindre risk för skador vid rengöring än t.ex spritputs.

Systemet kan användas med olika typer av mineralullsskivor. I denna beräkning har GWP för en generisk mineralullsskiva använts, med en klimatpåverkan i motsvarande en glasullsskivas.

9.2.2 Livslängd och underhållsbehov

Underhållsplanerna innehåller tre åtgärder:

1. Byte/omputsning av 10 % av ytputsen, inkluderande högtryckstvätt, borstning, blästring och omputsning
1. Byte/omputsning av 100 % av ytputsen, inkluderande högtryckstvätt, borstning, blästring och omputsning
3. Utbyte hela putssystemet

Tabell 3: Underhållsplaner för den oventilerade traditionella putsfasaden i underhållsalternativen a, b, c och d

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
10% av ytputsen bytes efter 30, 60, 110, 140 respektive 190 år	10% av ytputsen bytes efter 15, 45, 75, 105, 135, 165 respektive 195 år	10% av ytputsen bytes efter 22,5, 67,5, 112,5 respektive 157,5 år	10% av ytputsen bytes efter 30, 90, respektive 150 år
All ytputs bytes efter 80 år	All ytputs bytes efter 30, 90 respektive 150 år	All ytputs bytes efter 45 respektive 135 år	All ytputs bytes efter 60 respektive 180 år
Hela putssystemet bytes efter 160 år	Hela putssystemet bytes efter 60, 120 respektive 180 år	Hela putssystemet bytes efter 90 respektive 180 år	Hela putssystemet bytes efter 120 år

9.2.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av den oventilerade putsfasaden kan ses i fig.5. De ingående skikten är, inifrån från systemgränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 50 mm Fasadskiva av mineralull, Webertherm 321
- ♦ 12 mm Grovputs, Webertherm 343 Basbruk
- ♦ 8 mm Finputs, Webermin 207 Rivputs

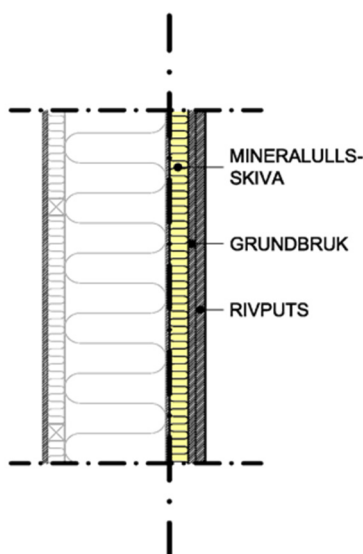


Fig. 5: Alternativ oventilerad, traditionell putsfasad, inkl. den mineralullsskiva som ingår i putssystemet.

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 4):

Tabell 4: Materialmängder i den oventilerade putsfasaden

Material	Beskrivning	Mängd/m²
Mineralull	Webertherm 321, 50 mm tjock fasadskiva av mineralull	2,75 kg
Skruvar	Infästning	0,02 kg
Putsnät, stål	Weber 323 nät, svetsat armeringsnät för putsning, tråddiameter 1,1 mm	1,55 kg
Grovputs	Webertherm 343 Basbruk, kalkcementputs	27,00 kg
Finputs	Webermin 207 Rivputs, kalkcementputs	25,00 kg

9.3 Ventilerat putssystem

9.3.1 Materialegenskaper

Som exempel på ventilerat putssystem valdes StoVentec R. Systemet utgörs av en bakom-liggande luftspalt med ett bärverk som kan bestå av träreglar, stålprofiler eller aluminium-profiler, på vilka putsbärande skivor monteras. Putsbärande skivan består av glasgranulat av återvunnet glasmaterial, vilket ger ett form- och väderbeständigt underlag för putsen, med låg vikt. På putsbärande skivan påföres en silikathaltig, organisk grundputs, StoArmat Classic Plus, och en hydrofobisk ytputs, StoLotusan. StoLotusan som uppges ha hög väderbeständighet och självrengörande effekt vid regn. Den självrengörande effekten beräknas kunna innebära ett jämförelsevis litet slitage relaterat till rengöring och därmed en något längre hållbarhet än vad som varit fallet om det inte funnits en självrengörande effekt.

I förhållande till det här alternativet uppstod två frågor att beakta: Val av bärverk och problem med att bedöma miljöbelastningen när kompositionen av putsprodukterna inte är direkt tillgänglig. Valet av bärverk föll på en hattprofil av stål, för en god beständighet. Aluminiumprofiler är inte ett gängse alternativ i Sverige, men förekommer oftare i andra länder. Aluminium har en hög miljöbelastning vid produktion, och därför inkluderades även ett alternativ med aluminiumprofiler som jämförelse.

När det gäller bedömningen av underhållsbelastningen av framförallt den hydrofobiska ytputsen så fanns det inte någon sådan att jämföra med i IVL-rapporten. Informationen från tillverkaren var att putsen p.g.a. sin smutsavvisande egenskap har en förhållandevis låg underhållsintensitet och lång hållbarhet, samlat för putskonstruktionen uppgavs livslängden ligga på mellan 25 till 50 år. I grundscenariot, alltså det som bygger på branschföreträdarnas uppgifter, så antogs livslängden vara 50 år med ett partiellt utbyte efter 25 år. För jämförelse med IVL-rapportens olika kategorier ”utsatt läge”, ”normalt” och ”skyddat läge” så användes värden baserade på den

rapportens data för cementputs respektive silikatputs. Det antogs också att profilerna bakom de putsbärande skivorna kan återanvändas.

9.3.2 Livslängd och underhållsbehov

Underhållsplanerna innehåller tre åtgärder:

1. Byte/omputsning av 10 % av ytputsen, inkluderande högtryckstvätt, borstning, blästring och omputsning
1. Byte/omputsning av 100 % av ytputsen, inkluderande högtryckstvätt, borstning, blästring och omputsning
2. Utbyte hela putssystemet, exklusive reglarna

Tabell 5: Underhållsplaner för det ventilerade putssystemet i underhållsalternativen a, b, c och d

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
10% av ytputsen bytes efter 25, 75, 125 respektive 175 år	10% av ytputsen bytes efter 13, 38, 63, 88, 113, 138, 163 respektive 188 år	10% av ytputsen bytes efter 19, 57, 94, 132 respektive 169 år	10% av ytputsen bytes efter 30, 90, respektive 150 år
All ytputs bytes efter 50 respektive 150 år	All ytputs bytes efter 25, 75, 125 respektive 175 år	All ytputs bytes efter 38, 114 respektive 190 år	All ytputs bytes efter 60 respektive 180 år
Hela putssystemet bytes efter 100 år	Hela putssystemet bytes efter 50, 100 respektive 150 år	Hela putssystemet bytes efter 75 respektive 150 år	Hela putssystemet bytes efter 120 år

9.3.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av den ventilerade putsfasaden kan ses i fig.6. De ingående skikten är, inifrån från systemgränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 30 mm Fasadskiva av mineralull, Isover Fasadskiva 30
- ♦ 25 mm Luftspalt med perforerad hattprofil av stål
- ♦ 8 mm Putsbärarskiva av återanvänt granulerat glas
- ♦ 3 mm Grundputs
- ♦ 4 mm Hydrofob ytputs

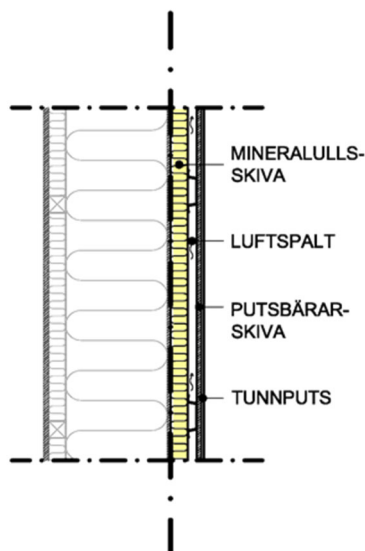


Fig. 6: Alternativ ventilerat putssystem, inkl. den U-värdeskompenserande mineralullsskivan

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 6):

Tabell 6: Materialmängder i den ventilerade putsfasaden

Material	Beskrivning	Mängd/m ²
Mineralull	30 mm tjock mineralull	1,00 m ²
Bärprofil, stål	Perforerad hattprofil av stål*	2,00 kg
Skruvar	Infästning, stål	0,06 kg
Putsbärarskiva	12 mm skiva av glasgranulat	6,30 kg
Putsnät	Armeringsnät av glasfiber	0,16 kg
Grundputs	StoArmat Classic Plus, organisk cementfri grundputs	4,50 kg
Ytputs	StoLotusan, hydrofobisk ytputs	2,40 kg

*) Ersatt i alternativ III b av 3,1 kg aluminiumprofil och 0,61 kg stålinfästningar

9.4 Fibercementskiva

9.4.1 Materialegenskaper

Som alternativ till tegel- och putsfasaderna inkluderades ett alternativ med fibercementskivor, Cembrit Patina, en genomfärgad fibercementskiva med slipad yta. Fibercementskivan är ett prisvärt alternativ, som innehåller cement med en relativt hög initial koldioxidbelastning men relativt lite material och pga den tunna skivan och kontakt med utomhusluft på båda sidorna relativt effektiv karbonatisering. Armeringen av skivorna består av träfiber. Även i detta alternativ valdes en stålprofil som bärverk.

9.4.2 Livslängd och underhållsbehov

Underhållsplanerna innehåller en åtgärd:

1. Utbyte av alla skivorna

Tabell 7: Underhållsplaner för fibercementfasaden i underhållsalternativen a, b, c och da

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
Alla skivorna bytes efter 50, 100 respektive 150 år	Alla skivorna bytes efter 25, 50, 75, 100, 125, 150 respektive 175 år	Alla skivorna bytes efter 40, 80, 120 respektive 160 år	Alla skivorna bytes efter 50, 100 respektive 150 år

9.4.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av den fibercementfasaden kan ses i fig.7. De ingående skikten är, inifrån från systemgränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 30 mm Fasadskiva av mineralull, Isover Fasadskiva 30
- ♦ 25 mm Luftspalt med perforerad VFL-profil av stål
- ♦ 8 mm Fibercementskiva

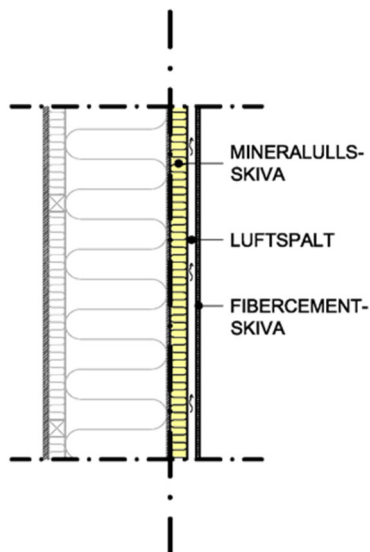


Fig. 7: Alternativ fibercement, inkl. den U-värdeskompenserande mineralullsskivan

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 8):

Tabell 8: Materialmängder i fibercementfasaden

Material	Beskrivning	Mängd/m²
Mineralull	30 mm tjock mineralull	1,00 m ²
Bärprofil, stål	Perforerad VFL-profil	2,90 kg
Skruvar	Infästning	0,03 kg
EPDM	Distansremsa av gummi	0,30 kg
Fibercement-skiva	Genomfärgad fibercement, Cembrit Patina	11,6 kg

9.5 Cederträ, omålad fjällpanel

9.5.1 Materialegenskaper

Fasadalternativet består av profilerade panelbrädor i cederträ, i snitt 16 mm tjocka. En fals ger en överlappning mellan brädorna trots att de monteras vertikalt på den bakomliggande läkten av vanligt konstruktionsvirke. Cederträ har en god formstabilitet, vilket tillåter den tunna tjockleken, något som i sin tur ger en liten materialåtgång. Det har också en naturlig motståndskraft mot röta och svampangrepp, pga sitt innehåll av thujapliciner, som dock kan variera med naturliga fluktuationer. Det innebär att cederträet i allmänhet inte behöver skyddas med färg- eller oljebehandling som de flesta andra träslag. Det grånar dock liksom andra träslag när det blir utsatt för väder och vind, så om man vill behålla den naturliga brun-rödaktiga färgen på träet så bör man olja panelen. I den här studien där objektet för projektet antas vara en 7-våningsbyggnad så har det antagits att ett så underhållsfritt alternativ som möjligt bör vara det mest naturliga valet, vilket har inneburit att cederträpanelen lämnas obehandlad.

9.5.2 Livslängd och underhållsbehov

Underhållsplanerna innehåller två åtgärder:

1. Utbyte av 10 % av panelen
2. Utbyte av 100 % av panelen

Tabell 9: Underhållsplaner för cederträfasaden i underhållsalternativen a, b, c och d

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
10% av panelen bytes efter 30, 90 respektive 150 år	10% av panelen bytes efter 20, 60, 100, 140 respektive 180 år	10% av panelen bytes efter 30, 90 respektive 150 år	10% av panelen bytes efter 35, 105 respektive 175 år
Hela panelen bytes efter 60, 120 respektive 180 år	Hela panelen bytes efter 40, 80, 120 respektive 160 år	Hela panelen bytes efter 60, 120 respektive 180 år	Hela panelen bytes efter 70 respektive 140 år

9.5.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av cederträfasaden kan ses i fig.8. De ingående skikten är, inifrån från system-gränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 30 mm Fasadskiva av mineralull, Isover Fasadskiva 30
- ♦ 25 mm Läkt
- ♦ 16 mm Fjällpanel av cederträ – de 16 mm är ett genomsnitt för den fasade panelbrädan

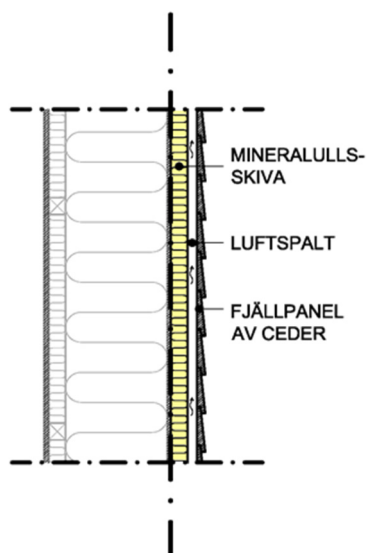


Fig. 8: Alternativ cederträpanel, inkl. den U-värdeskompenserande mineralullsskivan

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 10):

Tabell 10: Materialmängder i cederträfasaden

Material	Beskrivning	Mängd/m ²
Mineralull	30 mm tjock mineralull	1,00 m ²
Läkt	Spikläkt	1,80 kg
Spik/skruv	Infästning	0,06 kg
Cederpanel	Fjällpanel	5,70 kg

9.6 Målad granpanel

9.6.1 Materialegenskaper

Som sista alternativ har en traditionell lockpanelfasad av gran valts, den vanligaste typen av träpanel i Sverige idag. Bottenbrädorna och lockbrädorna har dimensionen 22 x 120 mm och en överlappning på 20 mm. Tjockleken och överlappningen som valts är de minsta möjliga för att hålla nere materialåtgången. Granpanelen måste målas för att inte ta skada av exponeringen mot utomhusklimatet, här har 2 strykningar med akrylatfärg räknats in.

Trots att lockpanelen är ett mycket vanligt förekommande fasadalternativ i Sverige kan det ifrågasättas hur lämpligt det är på ett 7-våningshus med tanke på svårigheterna att

komma åt för underhåll och ommålning. Denna fasad förekommer dock i praktiken i dessa tillämpningar och är därför ett alternativ som förtjänar att undersökas, också för att se om ett behov av frekvent underhåll har någon betydelse.

Ett krav ur brandskyddssynpunkt är också sprinkling i huset, vilket innebär en extra installation som följd av fasadvalet. Denna installation sker visserligen inomhus och inte i de yttre fasadskikten som ingår i studien, men innebär ändå en tillkommande miljö- och kostnadsbelastning. Miljöbelastningen har inte inkluderats i denna studie, men när det gäller den ekonomiska belastningen så har en omräkning av belastning per m² golvarea för sprinkling översatts till belastning per m² fasad genom att utgå ifrån planmått för byggnaden på 28 x 12 m, i enlighet med (Sandberg et al., 2015).

9.6.2 Livslängd och underhållsbehov

Underhållsplanerna innehåller två åtgärder:

1. Ommålning av hela ytan, inkl. högtryckstvätt, underbehandling och 2 strykningar
2. Utbyte av 10 % av panelen
3. Utbyte av 100 % av panelen

Tabell 11: Underhållsplaner för den målade lockpanelfasaden i gran i underhållsalternativen a, b, c och d

a) Enl. leverantörer	b) IVL, utsatt läge	c) IVL, normalt läge	d) IVL, skyddat läge
Hela panelen målas efter 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 90, 100, 110, 130, 140, 150, 160, 170 respektive 190 år	Hela panelen målas efter 5, 10, 15, 20, 25, 35, 40, 45, 50, 55, 65, 70, 75, 80, 85, 95, 100, 105, 110, 115, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 185, 190 respektive 195 år	Hela panelen målas efter 10, 25, 35, 50, 60, 75, 85, 100, 110, 125, 135, 160, 175 respektive 185 år	Hela panelen målas efter 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 respektive 195 år
10% av panelen bytes efter 30, 90 respektive 150 år	10% av panelen bytes efter 15, 45, 75, 105, 135, 165 respektive 195 år	10% av panelen bytes efter 25, 75, 125 respektive 175 år	10% av panelen bytes efter 30, 90 respektive 150 år
Hela panelen bytes efter 60, 120 respektive 180 år	Hela panelen bytes efter 30, 60, 90, 120, 150 respektive 180 år	Hela panelen bytes efter 50, 100 respektive 150 år	Hela panelen bytes efter 60, 120 respektive 180 år

9.6.3 Uppbyggnad

Uppbyggnaden av den målade granpanelen kan ses i fig.9. De ingående skikten är, inifrån från systemgränsen vid utsidan av den bärande stommen:

- ♦ 30 mm Fasadskiva av mineralull, Isover Fasadskiva 30
- ♦ 25 mm Läkt
- ♦ 44 mm Lockpanel av gran – två lager partiellt överlappande brädor med tjocklek 22 mm

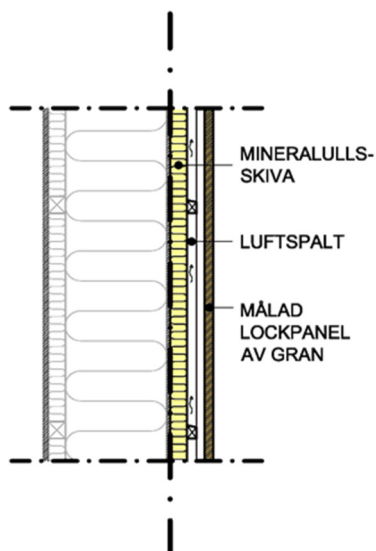


Fig. 9: Alternativ målad granpanel, inkl. den U-värdeskompenserande mineralullsskivan

Uppbyggnaden resulterar i följande mängder material per kvadratmeter vid nybyggnad (tab. 12):

Tabell 12: Materialmängder i den målade granpanelen

Material	Beskrivning	Mängd/m ²
Mineralull	30 mm tjock mineralull	1,00 m ²
Läkt	Spikläkt	1,80 kg
Skruv	Infästning	0,18 kg
Granpanel	Lockpanel, 2 skikt á 22 x 120 mm, värmebehandlad	13,6 kg
Målarfärg	Akrylatfärg	0,21 kg

10 Användning och sammanvägning av resultaten

Utöver sin funktion som analys av inverkan underhållsintensitet och uppskattning av denna i ett livscykelperspektiv, så kan studiens resultat användas och sammanfattas på flera olika sätt.

10.1 Rankning

Ett användningsområde för livscykelanalysen är att ge svar på frågan vilket av de undersökta materialen som är mest fördelaktigt att välja från ett emissionsperspektiv. De olika materialalternativen kan rankas, från mest till minst fördelaktigt. För att ta

åskådliggöra skillnaderna kan den rankningen ske i en graf för normaliserade nettoutsläpp, där en intern normalisering använts (Prado et al, 2012) med maximalt GWP för analysperioden som referensvärde, som syns i formel 10.1. Därmed kan hänsyn tas till hur mycket de olika materialen divergerar från varandra.

$$N_i = \frac{S_i}{S_{max}}$$

10.1

10.2 Förbättningspotential

Ett annat användningsområde är att belysa förbättringspotentialen för de olika materialen. Det bör i det sammanhanget påpekas att denna studie inte inkluderar beräkningar för potentiella åtgärder i produktionsmetoder och eller andra emissionskällor under livscykeln. Däremot kan det utläsas av resultaten var åtgärder skulle kunna ge större eller mindre effekt. Om ett material t.ex. befinner sig ha en hög emission av CO₂-ekvivalenter i produktionsskedet, så kan man sluta sig till att det är ett skede där insatser skulle kunna få stor effekt, vilket innebär att det vore mest givande ur klimatsynpunkt att fokusera på det skedet. För att illustrera det har ett enkelt beräkningsexempel givits för materialet tegel.

Att teglet har valts beror enbart på två faktorer. Dels att materialet uppvisar ett mycket tydligt exempel på skeden med stor förbättringspotential, produktions- och transportskedena i det fallet, och att det är lätt att uttolka vad det är som gör att utsläppen är höga i de skedena, så vilka åtgärder som skulle vara effektiva är enkelt att avgöra. Dels att teglet krävde en hel del extra undersökningar under studiens gång, pga variationerna i miljöbelastning enligt de olika källorna. Det innebär att det fanns extra information tillgänglig för just det alternativet, vilket gjorde det enkelt att göra en ytterligare, kortfattad beräkning, trots att studien egentligen inte inkluderade resurser för en sådan. Så det är ett tydligt exempel, som kunde beräknas överslagsmässigt utan större åthävor. Övriga material kan naturligtvis bearbetas på samma sätt, men skulle kräva mer undersökningar och data, som alltså inte ingick i den här studien.

Denna beräkning går ut på att produktions- och transportskedena reducerats, medan alla övriga utsläpp har hållits konstanta, alltså redogörande för vad som skulle ske om studiens resultat användes för att identifiera skeden att åtgärda, och åtgärder utfördes i endast de skedena. När det gäller produktionsskedet så stod det klart att det är bränningen av teglet som står för en stor del av produktionsutsläppen. Tegel kräver en hög bränningstemperatur, vilket skulle kunna åstadkommas med mer klimatneutrala metoder, t.ex. så skulle den nödvändiga värmen kunna uppnås med hjälp av biobränsle istället för fossila bränslesorter. Det skulle dock fortfarande innebära en förbränning – om man vill undvika det så skulle man kunna övergå till eluppvärmning istället, och då använda sig av vindgenererad el för att se till att hålla den klimatneutral. I båda fallen skulle man alltså kunna göra bränningen mer eller mindre klimatneutral. Enligt uppgift från Strøjer så uppgår energin till bränning i nuläget till ca hälften av den totala energianvändningen vid produktionen. De utsläpp som genererades vid produktionen skulle alltså i princip kunna halveras vid ett byte till förnyelsebar värmekälla till bränningen. Inga andra potentiella åtgärder i produktionen har beaktats.

När det gäller transporten så är den mer överslagsmässigt behandlad. Teoretiskt så skulle man kunna anta att all transport skulle kunna ske med fordon med klimatneutralt drivmedel – biobränsle, vind- eller vattenkraftsbaserad el etc. – men utgående

ifrån att detta kan vara svårt att genomföra i alla led så har hälften av utsläppen från transport räknats bort.

Så de enda skillnaderna i GWP-beräkningen mellan exemplet och studiens grundfall är alltså att produktions- och transportskedenas utsläpp har halverats, vilket alltså kan antas vara möjligt att åstadkomma genom dessa två byten till förnyelsebara energikällor.

10.3 Sammanvägning av LCA och LCC

Till sist så återstår frågan hur resultaten från LCA och LCC i denna studie kan utvärderas tillsammans. LCSA, Life Cycle Sustainability Assessment, siktar på denna typ av sammanvägning av de olika delarna av hållbarhetsbegreppet – den miljömässiga, den ekonomiska och den sociala, och kan huvudsakligen hanteras på två olika metodologiska sätt: parallell presentation av resultat för de olika delarna, eller en sammanvägning. Båda har sina för- och nackdelar (Hauschild et al., 2018). I denna rapport har inga undersökningar av sociala aspekter inkluderats, men resultaten för LCA och LCC presenteras både var för sig och sammanvägda i en enkel MCDA, Multi Criteria Decision Analysis.

När MCDA och övriga potentiella sammavägningsmetodiker används i LCA-sammanhang så sker det oftast för att ge en samlad bild av en livscykelanalys som innehåller flera olika typer av miljöpåverkan, såsom utsläpp av växthusgaser, förorening av mark eller vatten, resursutnyttjande etc. I denna studie där livscykelanalysen begränsats till en faktor, GWP, så finns det alltså inte något behov av en sådan sammanvägning av klimatpåverkande faktorer. Däremot så har alltså en sammanvägning gjorts av den miljömässiga och den ekonomiska aspekten. Det bör dock påpekas att en sådan sammanvägning inte ska uttolkas som det egentliga resultatet av studien – resultaten av studien är mångfacetterade, och redovisningsmetoderna behöver därför också vara det, och den MCDA som inkluderats är alltså bara ett perspektiv, att betraktas tillsammans med de enskilda resultaten från LCA och LCC.

En MCDA kräver att påverkan för respektive ingående aspekt normaliseras för att ge jämförbarhet, och sedan sker en viktning med viktningfaktorer som den som utför analysen måste välja. Valet av viktningfaktorer bör reflektera syftet med studien och målgruppens prioriteringar. Den MCDA som ingår är internt normaliserad enligt ovan, med användande av det maximala värdet för vardera analysperiod som referensvärde, och viktningen lägger samma vikt till LCA och LCC. Andra viktningfaktorer skulle ha kunnat användas.

Resultat

11 LCA

Grundfallets resultat kan sammanfattas på olika sätt. De olika skedena kan ses i figurerna 10, 11 och 12, uppdelade på respektive analysperiod.

11.1 Livscykelns skeden i en analysperiod på 50 år

I resultatet för analysperioden 50 år, figur 10, framgår det att det ventilerade puts-systemet monteras på aluminiumreglar har den största klimatpåverkan. Det är inte överraskande, eftersom det alternativet endast togs med pga aluminiumets höga klimatpåverkan – att det nästan tredubblade värdet jämfört med samma ventilerade putsfasad monterad på stålreglar kanske är mer anmärkningsvärt.

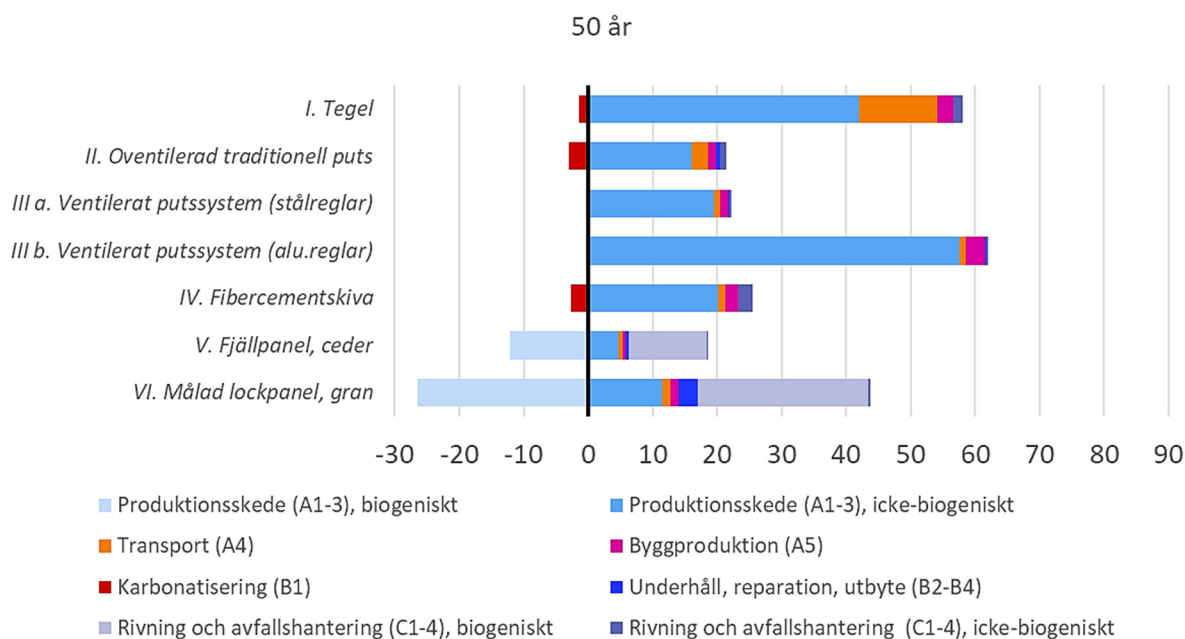


Fig. 10: Jämförelse för klimatpåverkan av de olika fasadalternativen för en analysperiod på 50 år, grundfall

Men aluminiumfallet har alltså bara inkluderats som ett specialfall, av de ordinarie fasadalternativen så är det teglet som står för den överlägset högsta klimatpåverkan, där både produktion och transport är särskilt iögonfallande. I produktionen är det alltså bränningen som har stor påverkan, och i både produktion och transport så är mängden material av stor betydelse. För en kvadratmeter fasad krävs det ca 0,10 m³ tegel (oaktat fogarna) av den valda tjockleken, medan det krävs bara något mer än en tiondel av det av fjällpanelen av cederträ, som är det alternativ som har den minsta klimatpåverkan. Pga densitetsskillnaderna blir skillnaden ännu större viktmässigt. Det går åt ca 138 kg tegel – plus murbruk etc – jämfört med ca 8 kg cederträ. Det gör naturligtvis en avsevärd skillnad.

Oventilerad puts, ventilerat putssystem på stålreglar och fibercementskivor är relativt likartade, både i samlad klimatpåverkan och i fördelningen mellan de olika faserna, med en något högre belastning i transportskedet för det oventilerade putssystemet pga något högre materialmängd, och något högre belastning på produktionskedet för fibercementskivorna. Synligt i denna graf är också karbonatiseringen, där det oventilerade putssystemet och fibercementskivorna har en relativt hög karbonatisering, medan det ventilerade putssystemet, inte har antagits ha något motsvarande koldioxidupptag under brukstiden. Detta eftersom de enda uppgifterna om karbonatiseringspotential som fanns att tillgå antydde att karbonatiseringen redan räknats in i tillverkningsfasen.

Det bör påpekas att det är okänt om karbonatiseringen av fibercementskivorna faktiskt sker i bruksskedet, eller om produktionen, potentiella lagring innan försäljning och den tunna tjockleken på skivorna gör att de hinner karbonatiseras redan innan monteringen, och om den karbonatiseringen i så fall redan räknats bort i EPD'n för materialet. Eftersom någon sådan borträkning dock inte omnämnts i EPD'n så har det här utgått ifrån att karbonatiseringen bör tas med i brukskedet.

Träets biogena koldioxidupptag, alltså den koldioxid som det kunna absorbera och lagra under sin livstid, har här redovisats, i enlighet med standarden EN 15804, som ett negativt GWP i produktionsskedet för träfasaderna, medan samma mängd biogen

koldioxid sedan avges i destruktionsskedet. Netto för den biogent bundna koldioxiden är alltså noll, sett till hela livscykeln.

Granpanelen utmärker sig genom att den höga underhållsintensiteten redan i detta tidsperspektiv har en tydlig inverkan.

11.2 Livscykelns skeden i en analysperiod på 100 år

I ett 100-årigt tidsperspektiv, figur 11, blir skedena B2 – B4, underhåll, reparation och utbyte, mer uttalade, och här framträder underhållsintensiteten tydligt. Granpanelen utmärker sig igen pga av utbyte och framför allt ommålning med relativt korta intervaller. Fibercementskivalternativet också uppvisar en relativt stor klimatbelastning i samma skeden. Fibercementskivorna är i sig relativt underhållsfria så länge de håller, men när de påverkats tillräckligt av väder och vind så byts de helt istället för underhålls, repareras eller målas om som de övriga materialen. B2 – B4 är dock inte fullt lika belastande so A1 – A5 samlat, eftersom det endast är skivorna som byts i det fallet, underbyggnaden bibehålles.

Teglet har en påtagligt låg underhållsintensitet, vilket för B2 – B4 knappt synligt, medan den ventilerade putssystemet också har en låg belastning i de skedena pga den hydrofoba ytputsen som ansetts ge en lägre underhållsintensitet än annan puts.

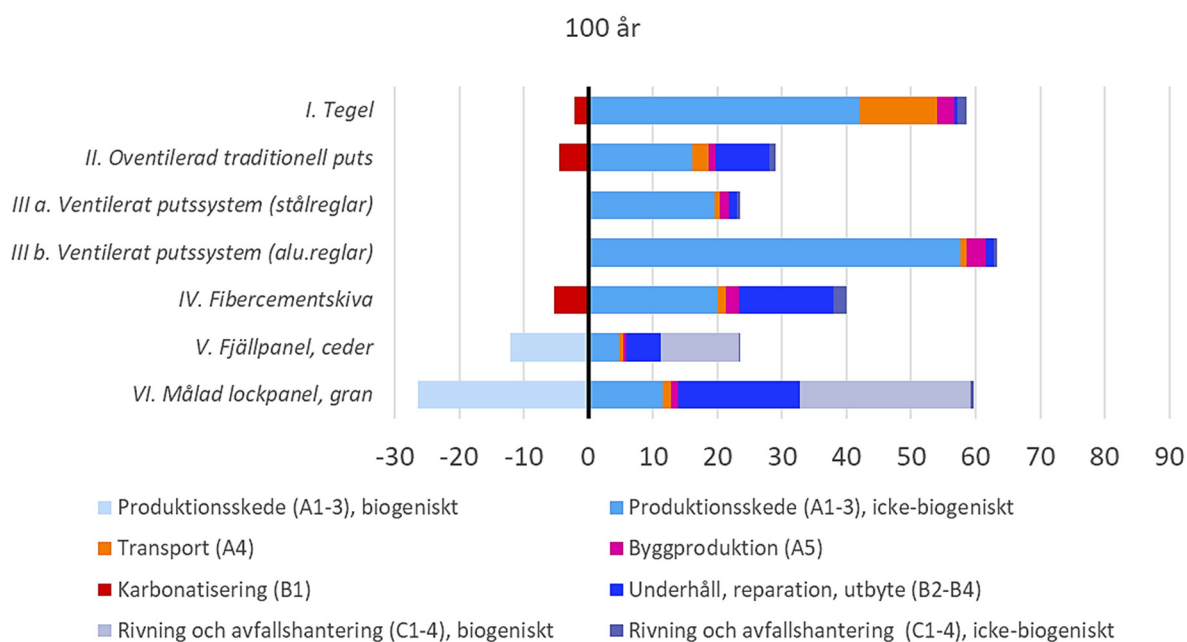


Fig. 11: Jämförelse för klimatpåverkan av de olika fasadalternativen för en analysperiod på 100 år

11.3 Livscykelns skeden i en analysperiod på 200 år

Resultaten för livscykelns skeden i ett perspektiv på 200 år framgår av figur 12. Underhålls-, reparations- och utbytesskedena B2 – B4 är här mycket markanta, fortfarande med fibercementskivalternativet och den målade granpanelen som mest belastande i de skedena, nu långt mer klimatpåverkande än de övriga skedena sammantaget för de alternativen. Detta kan alltså relateras till de kortare analysperioderna som gav en relativt liten inverkan av underhållsintensiteten – här framgår att om ett hus blir stående i 200 år så är den inverkan betydande.

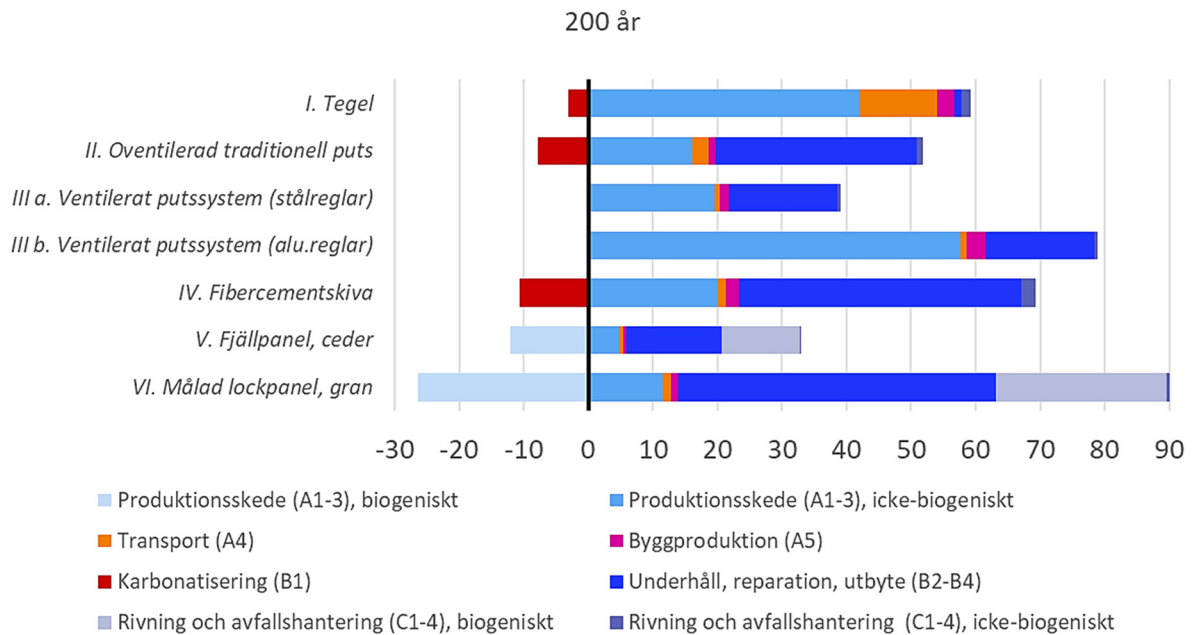


Fig. 12: Jämförelse för klimatpåverkan av de olika fasadalternativen för en analysperiod på 200 år

11.4 Nettoresultat

Graferna ovan, figur 10 – 12, som redovisar de olika skedena gör det möjligt att analysera vad som påverkar resultaten och var förbättringspotentialen är påvisbar. Men en jämförelse mellan de olika alternativens samlade klimatpåverkan försvaras av att dessa grafer innehåller både negativa och positiva GWP-värden för respektive alternativ. Det är därför tydliggörande med en presentation även av nettoresultat. Dessa kan ses i figur 13 – 15.

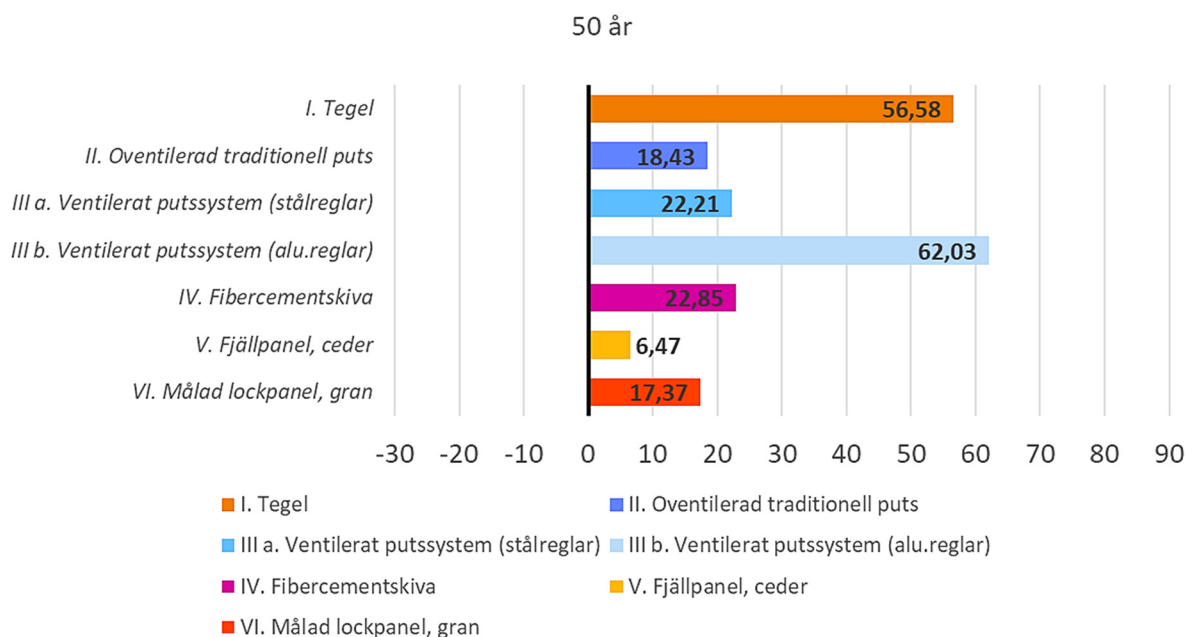


Fig. 13: Nettoresultat för de olika fasadalternativen uttryckt i GWP, för analysperioden 50 år

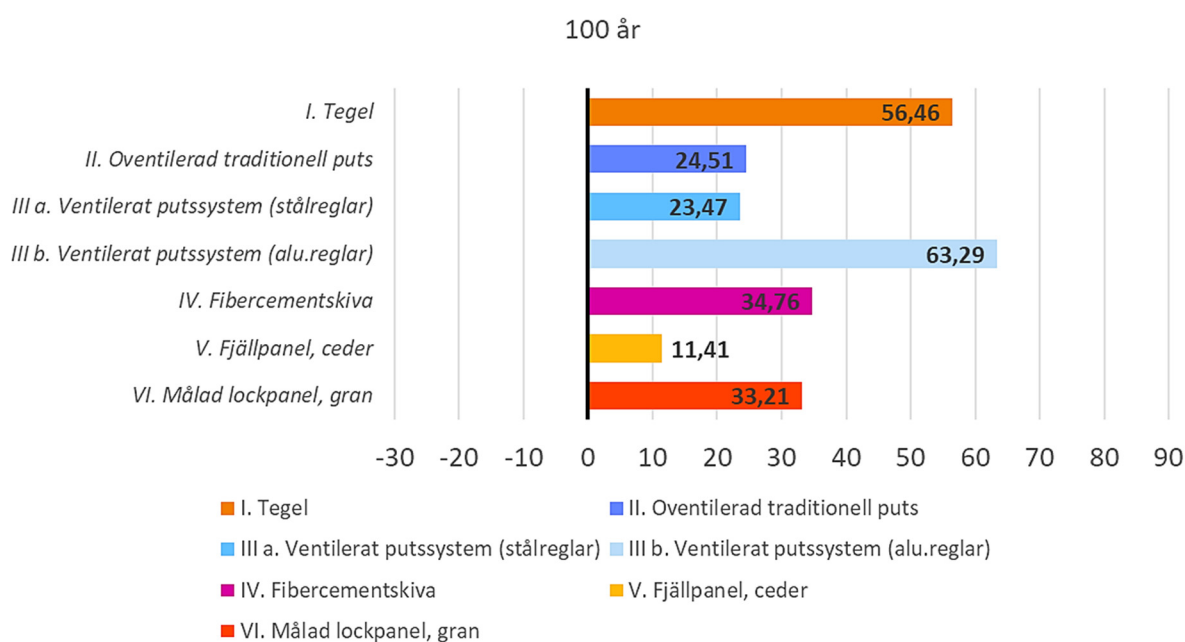


Fig. 14: Nettoresultat för de olika fasadalternativen uttryckt i GWP, för analysperioden 100 år

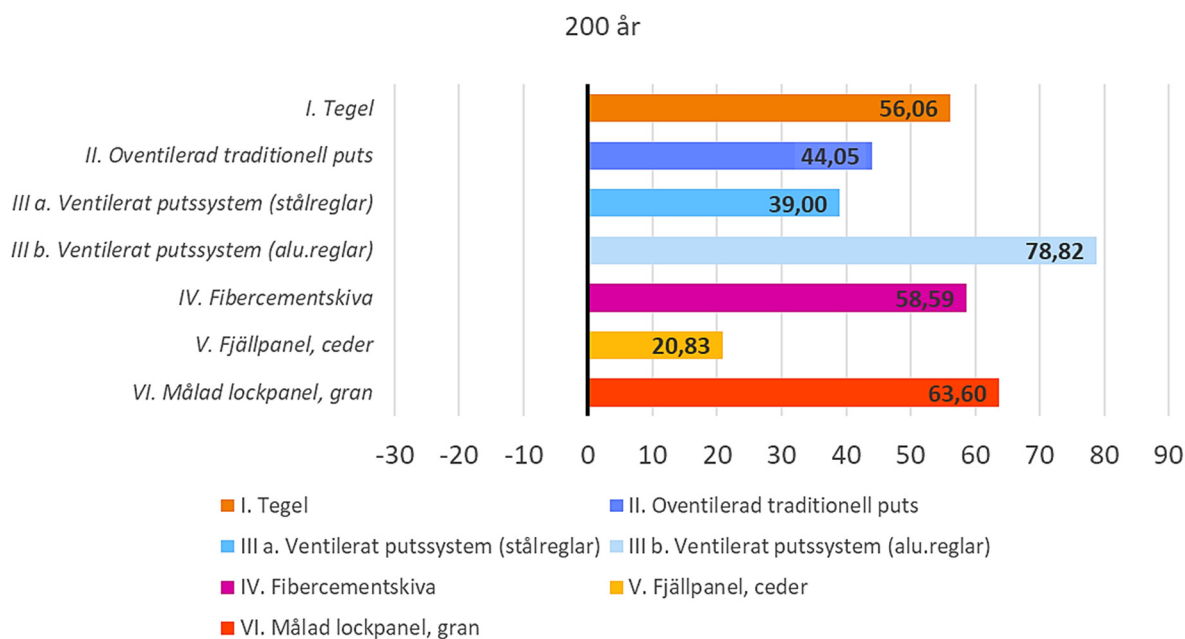


Fig. 15: Nettoresultat för de olika fasadalternativen uttryckt i GWP, för analysperioden 200 år

Det som framgår är att teglets klimatpåverkan faktiskt sjunker något ju längre tids-perspektivet är, eftersom påverkan av underhållet är låg och karbonatiseringens kol-dioxidupptag i murbruket något högre. I och med att produktions- och transport-skedena har en hög klimatbelastning så innebär det inte att den samlade klimat-påverkan för teglet blir låg, men det innebär att granpanelen och fibercement-alternativet, som ligger väsentligt mycket lägre i 50- och 100-årsperspektiven, är sämre,

sett ur ett 200-årigt perspektiv. Detta helt beroende på underhållsintensiteten, eftersom fibercementskivorna har en långt mycket högre karbonatisering än tegelfasaden, vilket alltså borde ha kunnat ge en fördel.

Det ventilerade putssystemet, med sin relativt låga underhållsintensitet och tunna materialskikt att ersätta vid reparation och omputsning, blir därmed det nästbästa alternativet i det längsta tidsperspektivet, trots att det har ca dubbelt så stor klimatpåverkan som det bästa alternativet, cederträfasaden.

Analysperiodens längd spelar alltså avgörande roll för uppskattningen av underhållets inverkan på klimatbelastningen.

11.5 Variationer beroende på uppskattning av underhållsintensitet

Utöver grundfallet baserat på data om underhållsbehov och -intervaller från leverantörer, tillverkare respektive utförande verksamheter, så analyserades alltså även de olika underhållsintervall som återfanns i rapporten från IVL Svenska Miljöinstitutet (Erlandsson & Holm, 2015), vilka alltså i de flesta fall varit märkbart kortare än uppskattningen från leverantörerna. Dessa olika underhållsfall jämfördes med grundfallet.

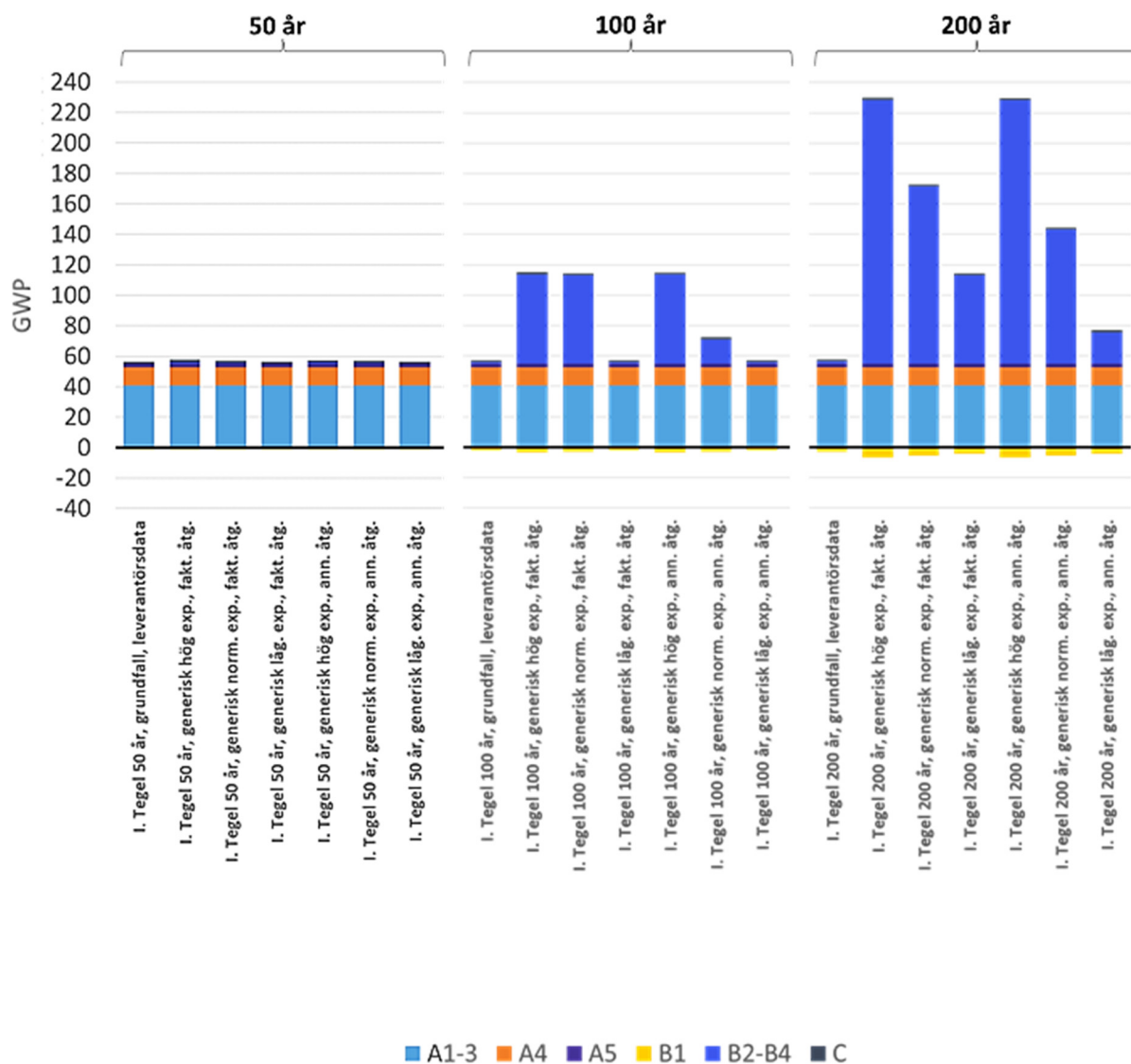


Fig. 15: Jämförelse av olika underhållsplaner för tegelalternativet, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

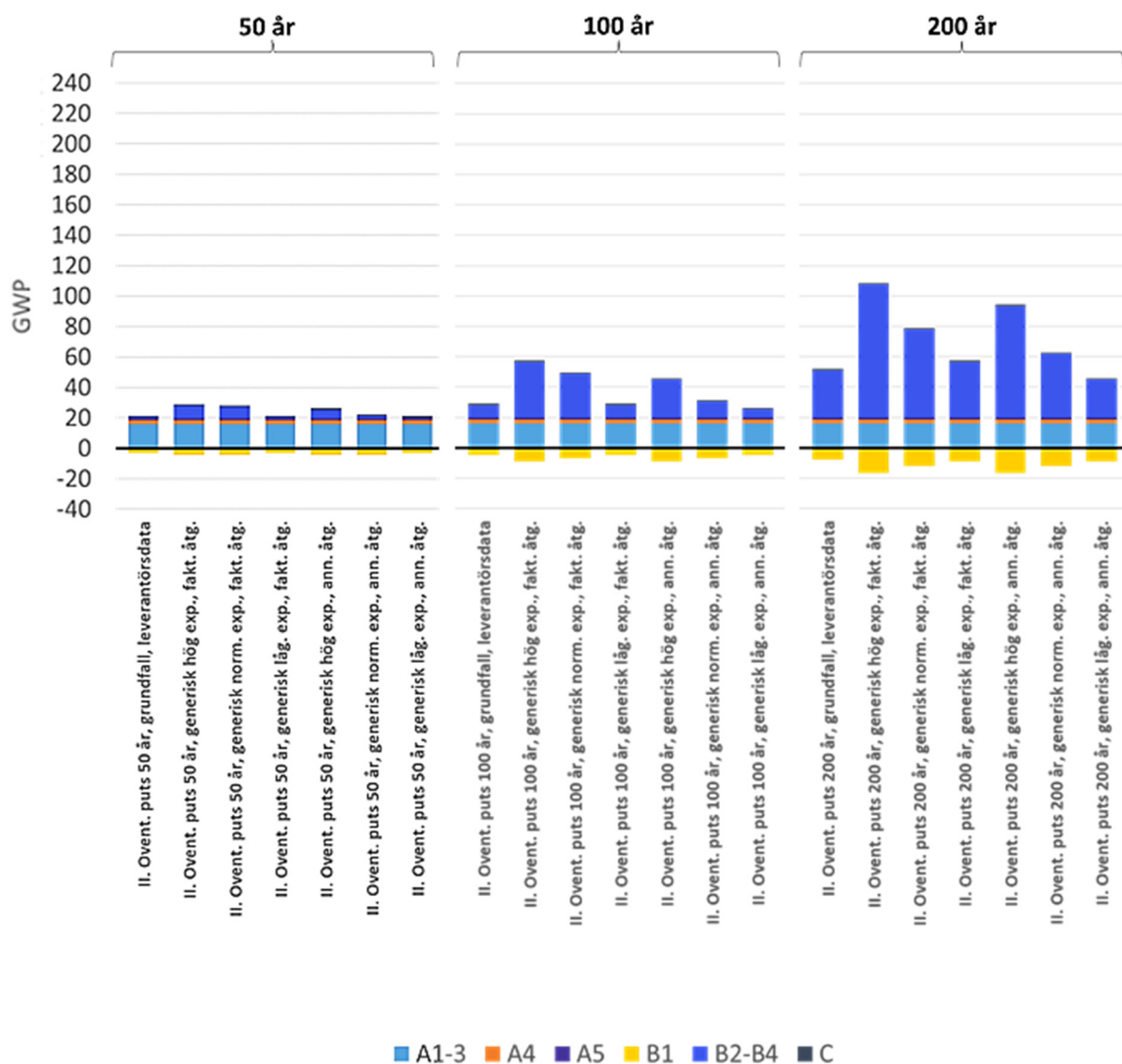


Fig. 16: Jämförelse av olika underhållsplaner för det oventilerade, traditionella puts-systemet, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

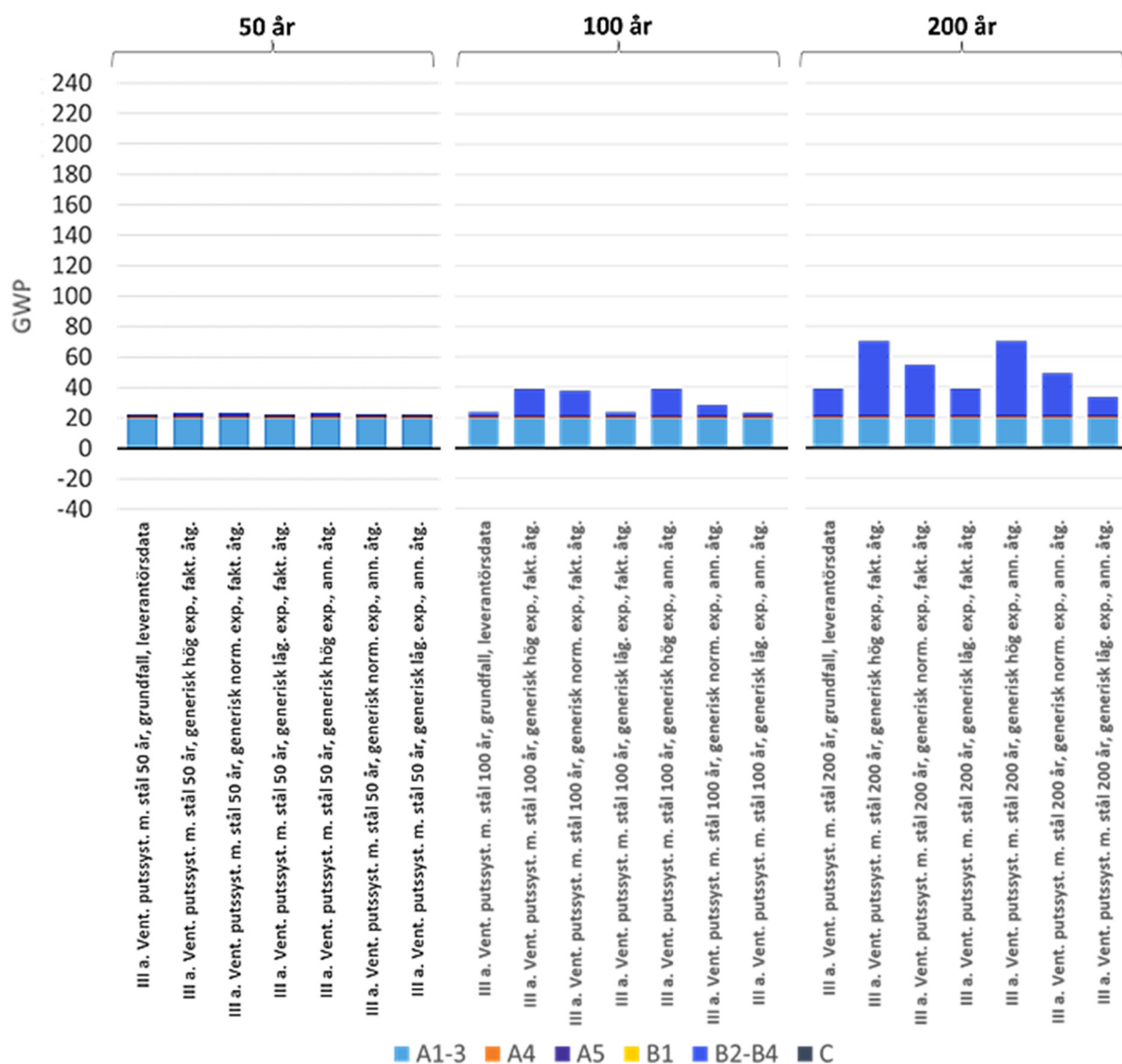


Fig. 17: Jämförelse av olika underhållsplaner för det ventilerade putssystemet monterat på stålreglar, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

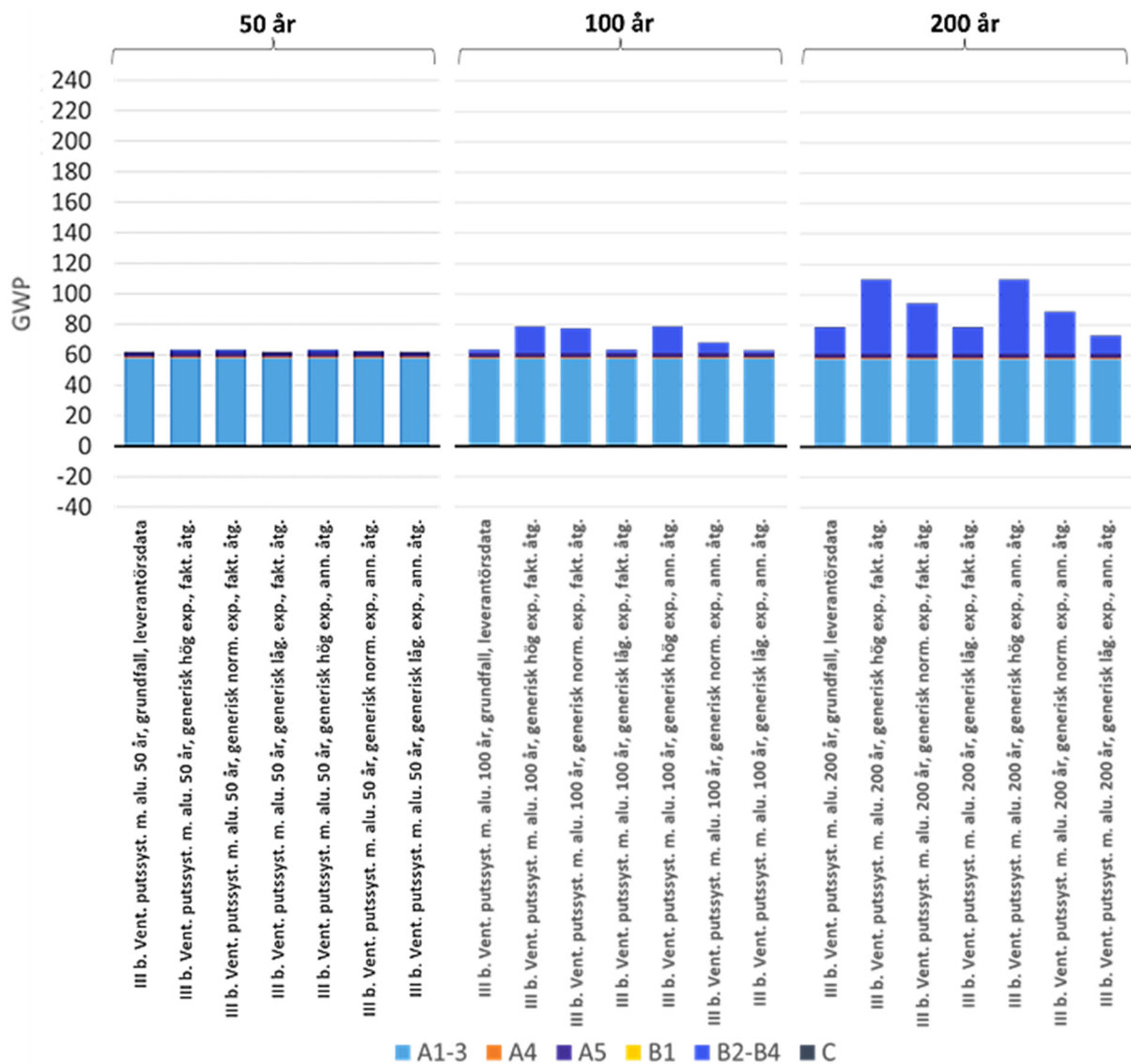


Fig. 18: Jämförelse av olika underhållsplaner för det ventilerade putssystemet monterat på aluminiumreglar, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

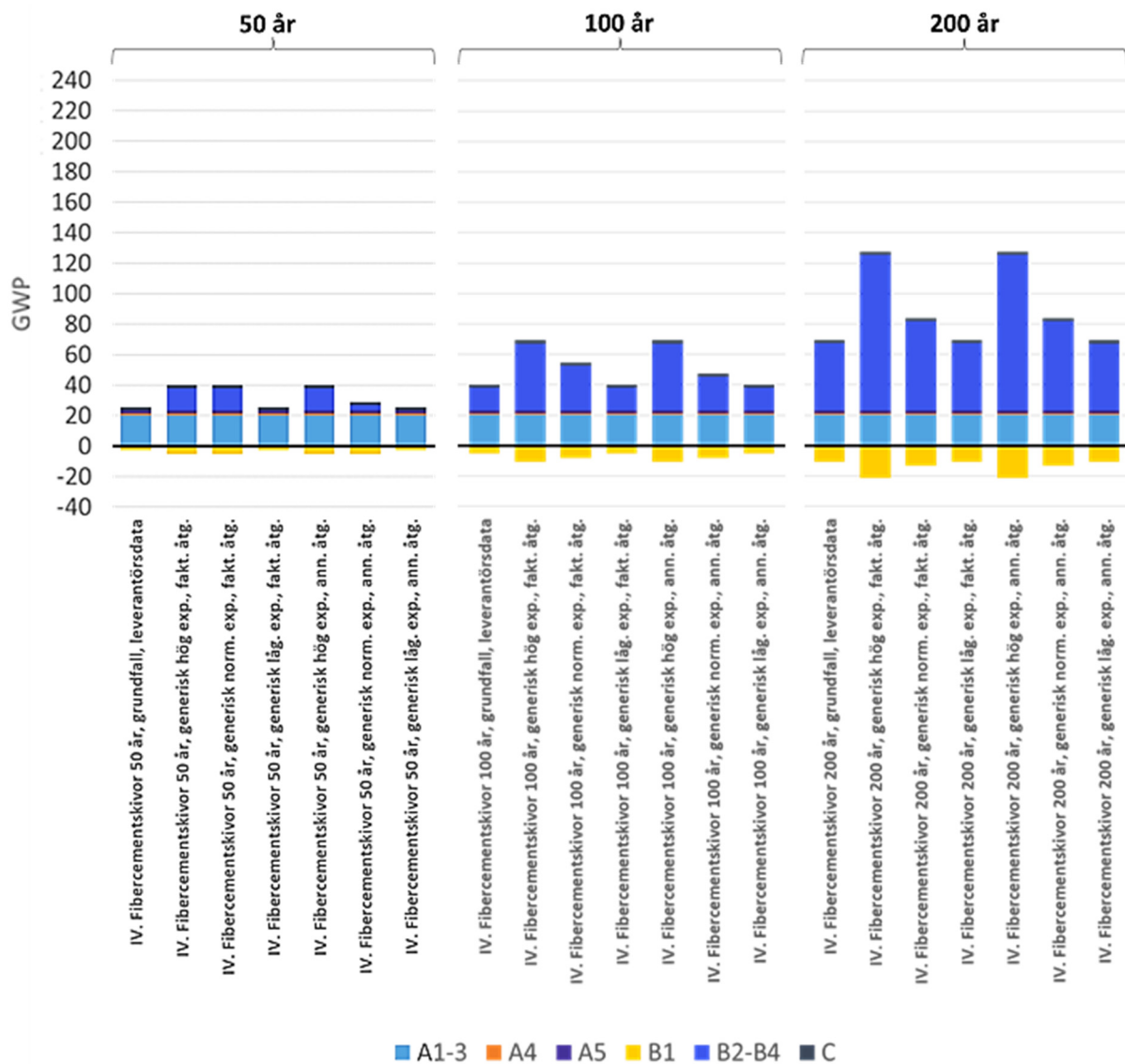


Fig. 19: Jämförelse av olika underhållsplaner för fibercementalternativet, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

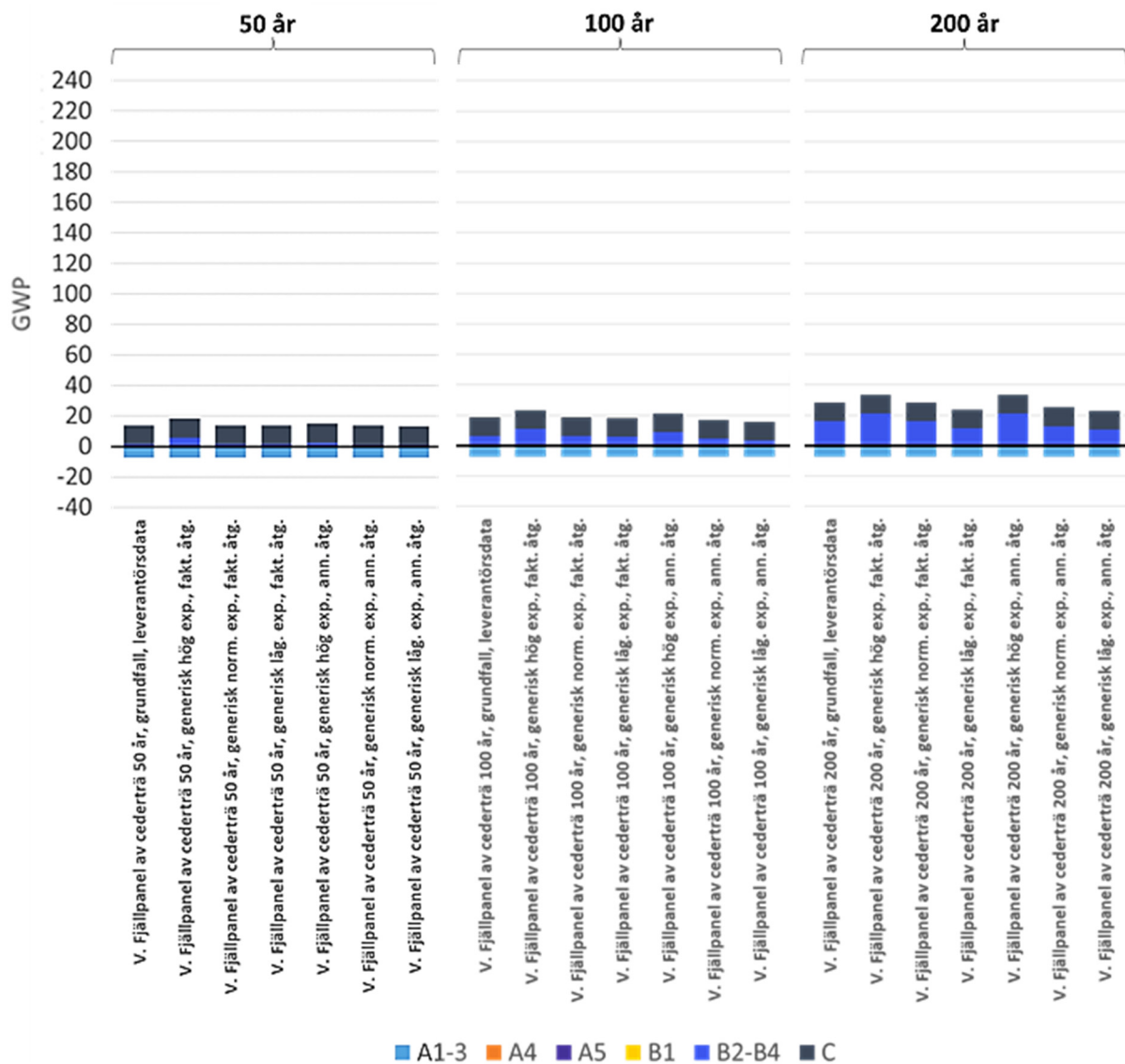


Fig. 20: Jämförelse av olika underhållsplaner för fjällpanelen av cederträ, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

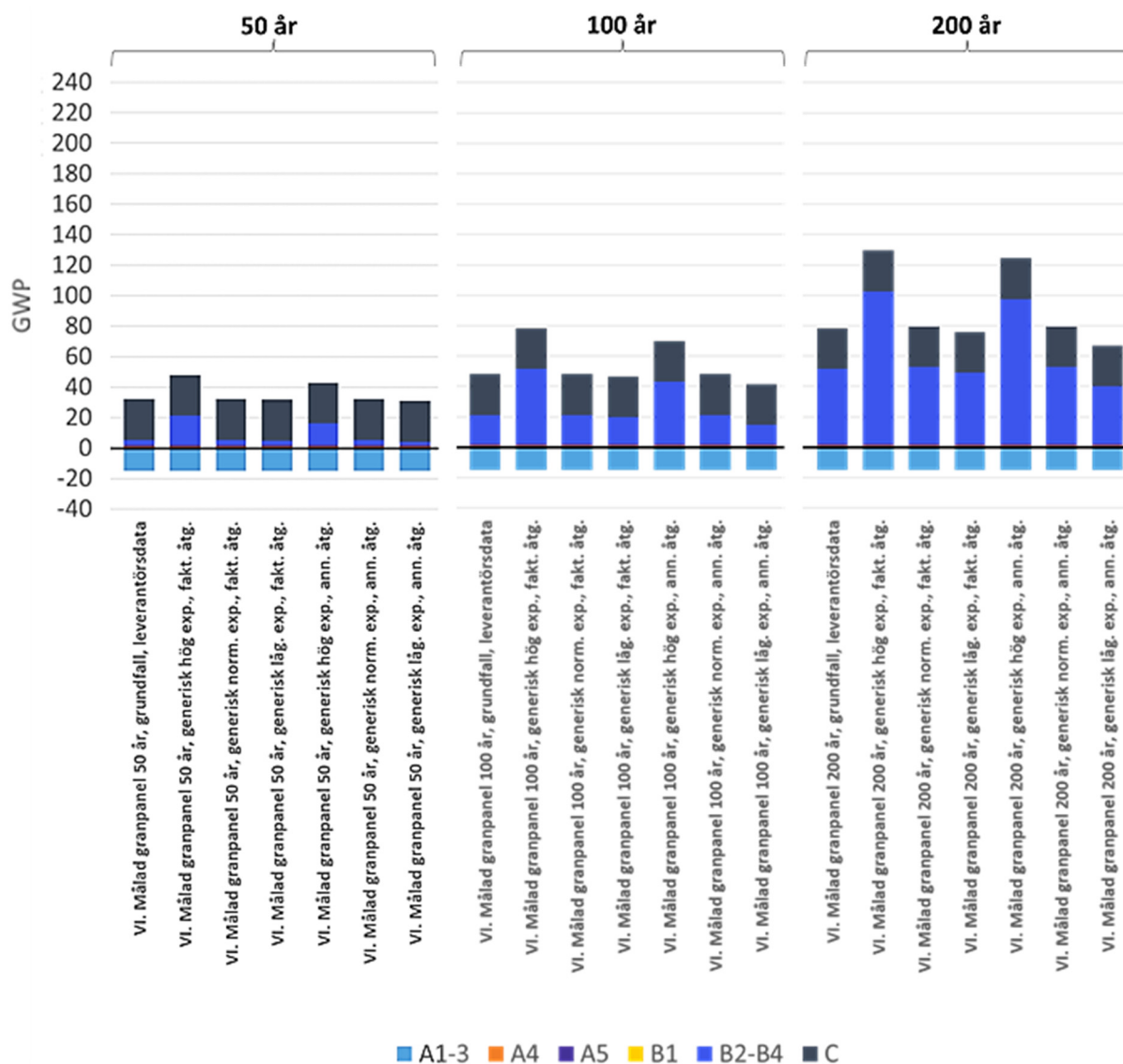


Fig. 21: Jämförelse av olika underhållsplaner för den målade granpanelen, grundfallet jämfört med IVLs underhållsintervall för exponerat, normalt och skyddat läge i två versioner, de första beräknat med underhållsåtgärderna inträffande vid de angivna tidpunkterna, de därefter med underhållsåtgärderna annualiserade.

För några av alternativen i studien så är skillnaderna mellan de olika underhållsplanerna ansevära, framför allt i de längre analysperioderna. För tegelfasaden i det 200-åriga tidsperspektivet så är GWP för den generiska underhållsplanen för ett utsatt läge 4 gånger högre än för grundfallet, som bygger på uppgifter från leverantörer och praktiker.

Signifikanta skillnader kan också observeras för den oventilerade putsfasaden (dubbla GWP jämfört med grundfallet i 200-årsfallet), följt av fibercementfasaden, granfasaden och den ventilerade putsfasaden med stålprofiler (alla ca 1,8 gånger högre än basfallet i samma tidsperspektiv).

En närmare analys av underhållsplanerna visar att i de flesta fall så är underhållsintensiteten lägre i grundfallet än i de generiska underhållsplanerna, med undantag för cederträfasaden.

12 LCC

Livscykelkostnadsanalysen innehåller endast 3 skeden, relaterat till källmaterialet, huvudsakligen Wikells. Resultaten redovisa i figur 22 – 24. I scenariot med den 50-åriga analysperioden

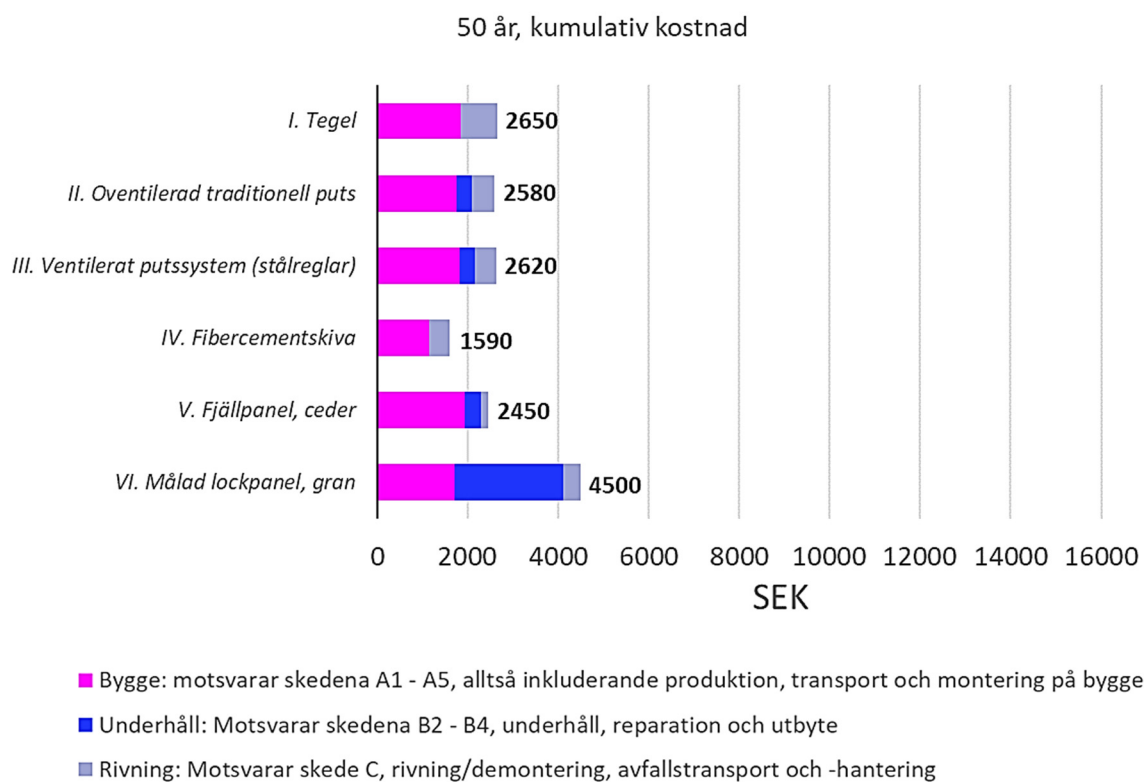


Fig. 22: Kumulativ kostnad per kvadratmeter fasad över livscykeln för en analysperiod på 50 år

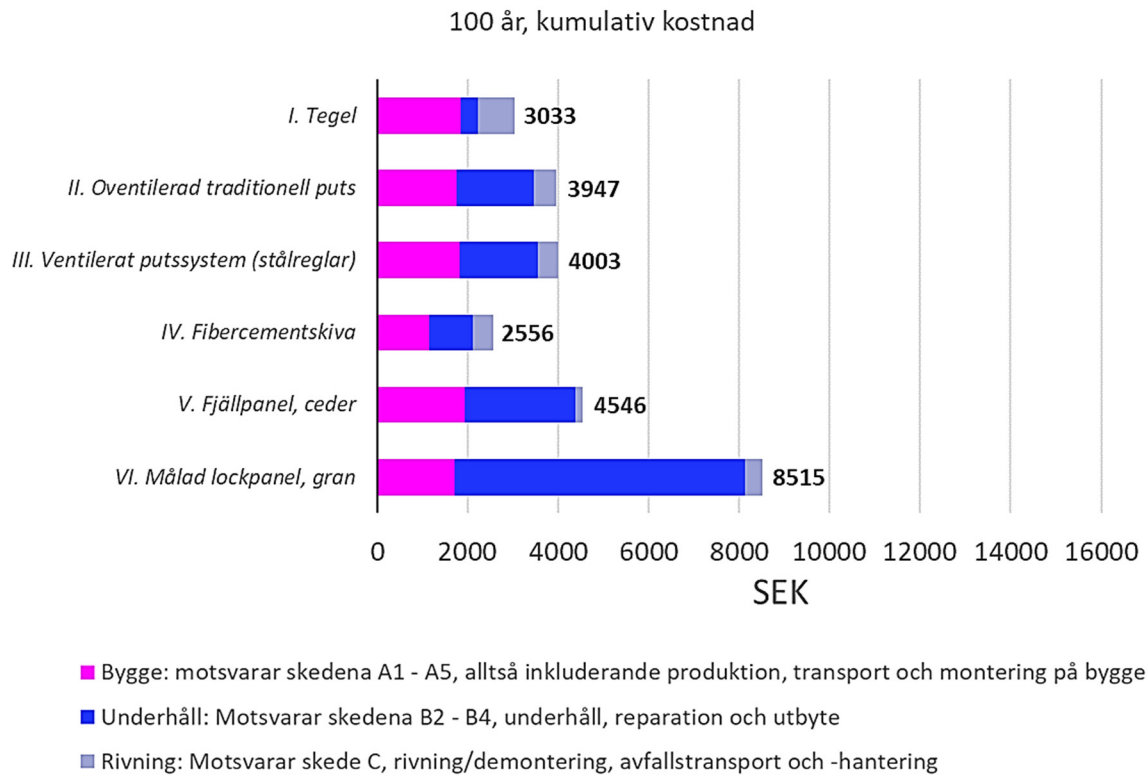


Fig. 23: Kumulativ kostnad per kvadratmeter fasad över livscykeln för en analysperiod på 100 år

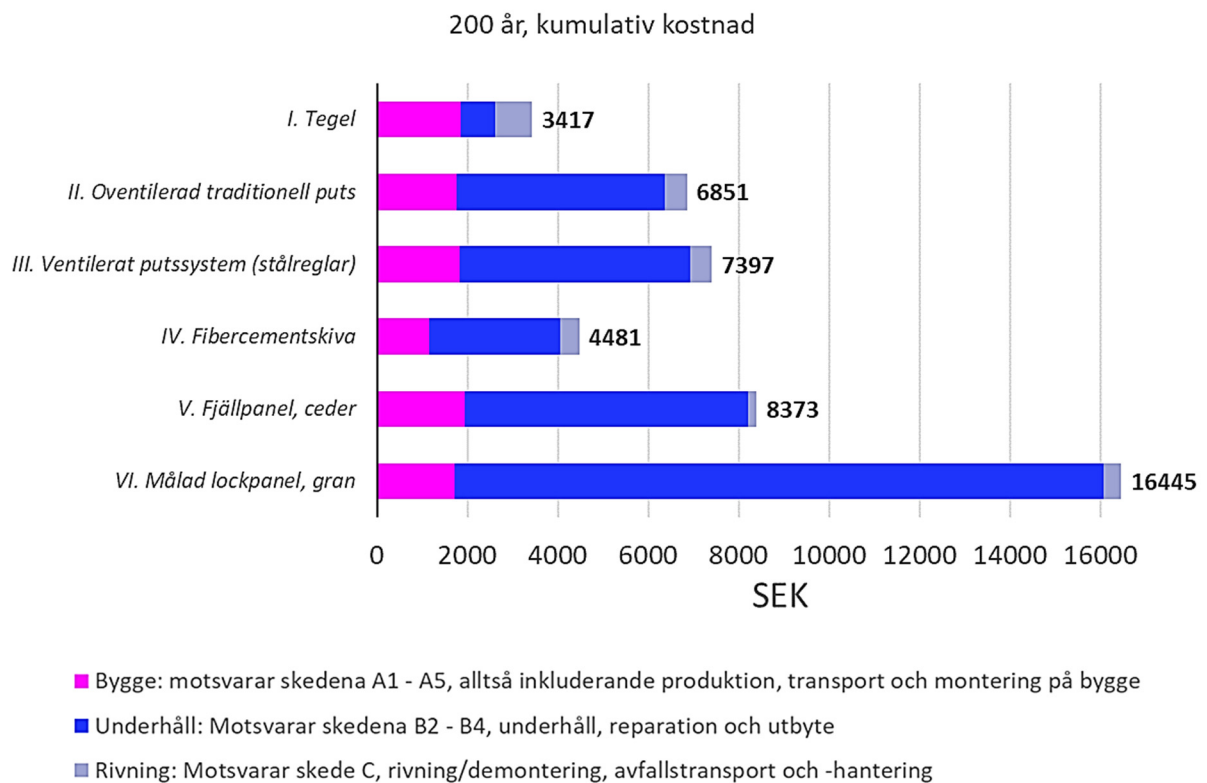


Fig. 24: Kumulativ kostnad per kvadratmeter fasad över livscykeln för en analysperiod på 200 år

I analysen ingår endast kumulativa kostnader, eftersom nuvärdesberäkningar för så långa tidsintervall gör inverkan av alla kostnader bortom den första analysperioden, 50 år, mer eller mindre försumbar.

13 Sammanställning av resultaten

13.1 Parallella jämförelser

Resultaten för LCA och LCC kan betraktas separata, men sida vid sida, för att kunna jämföra de olika alternativens miljömässiga och ekonomiska prestanda parallellt. Därmed försvinner inga detaljer i en sammanfattad sammanställning, och ingen av aspekterna tillmäts större eller mindre betydelse. I figur 25 redovisas klimat- och kostnadsbelastningarna för grundfallet baserat på leverantörsdata kumulativt över tid, istället för samlat för hela analysperioden. Detta ger ett kronologiskt perspektiv, där skärningspunkter i tid kan hittas för när ett visst alternativ skiftar från att vara mer eller mindre fördelaktigt jämfört med ett annat, och gränslinjerna för tidshorisonterna kan ses i ett tidsmässigt sammanhang.

I dessa resultat har det ventilerade putssystemet på aluminiumreglar inte tagits med, då det endast tjänade som jämförelse av betydelsen av val av profilmaterial och därmed inte hör hemma i en jämförelse mellan de egentliga fasadalternativen. Det ska också poängteras att denna jämförelse endast gäller grundfallet, och inte tar variationerna i klimatpåverkan beroende på skillnaderna i de olika underhållsplanerna i beaktning.

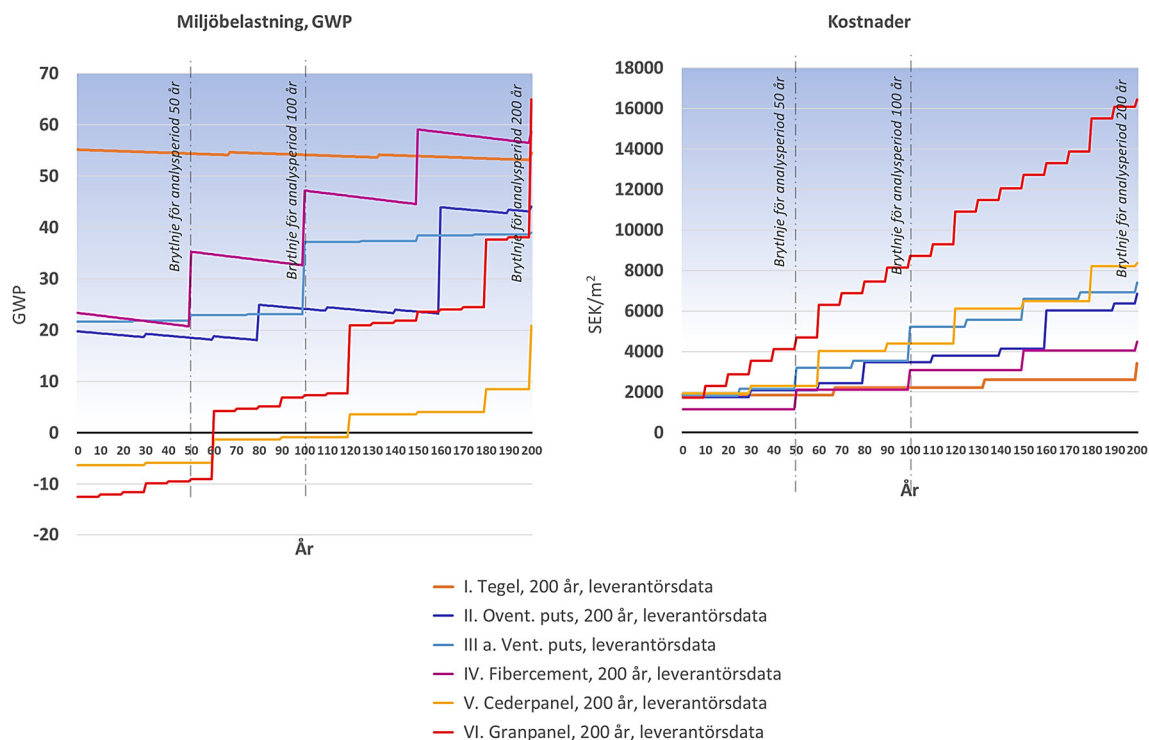


Fig. 25: Resultat för miljöpåverkan i form av GWP respektive livscykelkostnad sett i ett kronologiskt perspektiv, där de enskilda underhållsåtgärderna lagts in som punktvisa belastningar vid de tillfällen som definierats i underhållsplanen för grundfallet.

I den miljömässiga grafen syns karbonatiseringen som en minskning av den kumulativa klimatpåverkan mellan åtgärdstillfällena. För träfasaderna ses istället en lätt ökning mellan de större åtgärderna, beroende på mindre åtgärder däremellan främst målning av granpanelen.

Fibercementalternativet och båda putsystemen ligger på relativt likartade nivåer inledningsvis, fram till 50-årsgränsen, då fibercementskivorna byts ut och det alternativets klimatpåverkan ökar påtagligt, medan putsalternativen förblir relativt oberörda. Vid 100 respektive 160 år byts putsystemen ut, det ventilerade först, och 60 år senare det oventilerade, och deras kumulativa klimatpåverkan ökar. Överlägset lägst klimatbelastning genom alla de 200 åren har dock cederträpanelen, detta till stor del pga den mycket begränsade materialmängden.

Det framgår också att granpanelens klimatpåverkan, som kumulativt överskrider teglets med bred marginal vid 200 år, inte passerar teglets kurva förrän i sista åtgärden, rivningen, då den biogent inlagrade koldioxiden antas avges vid förbränning eller förmultning av materialet. Materialet ligger nästbäst till i stort sett fram till efter 150 år. Detta bygger dock på att den biogena koldioxidinlagringen räknas in i produktionsfasen. Om det biogena upptaget istället kvittas mot det motsvarande utsläppet i destruktionskedet så kommer den kronologiska bilden att se annorlunda ut, vilket kan ses i figur 26.

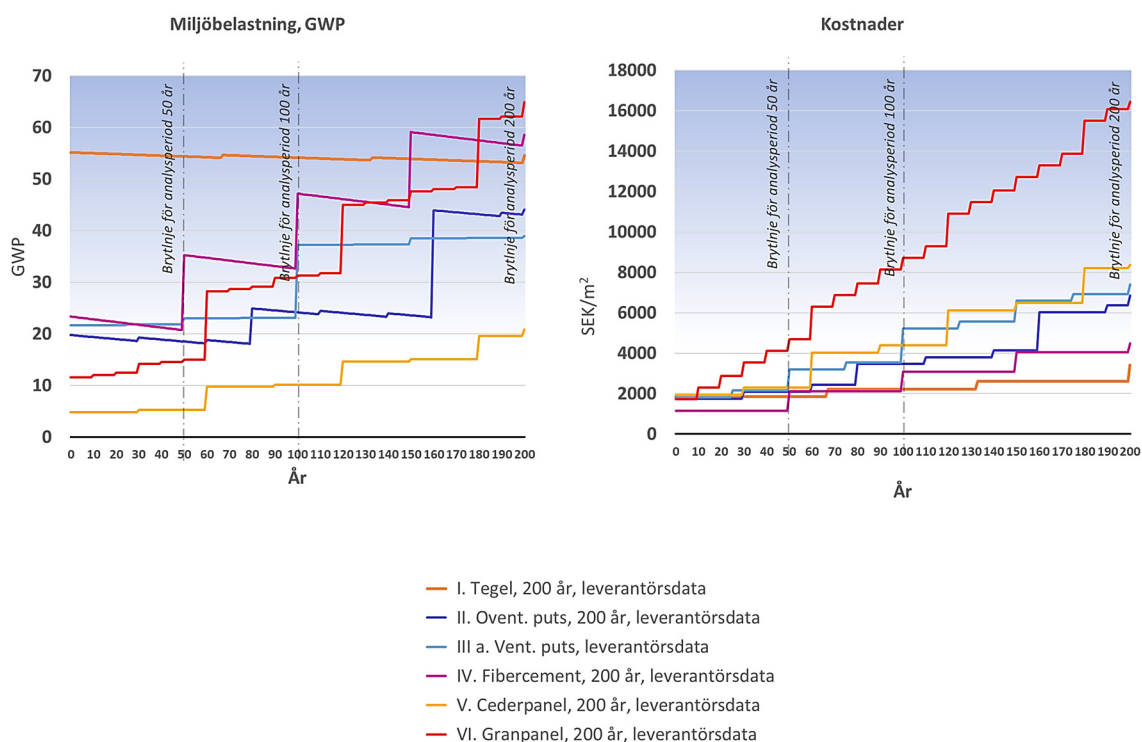


Fig. 26: Resultat för miljöpåverkan i form av GWP respektive livscykelkostnad sett i ett kronologiskt perspektiv, där de enskilda underhållsåtgärderna lagts in som punktvisa belastningar vid de tillfällen som definierats i underhållsplanen för grundfallet, om inlagrad och avgiven biogen koldioxid kvittas mot varandra för träalternativen.

Om det biogena upptaget och motsvarande utsläpp av biogent lagrad koldioxid i träprodukterna läggs samman till ett netto på 0, och därmed inte ger ett betydande

negativt utsläpp i produktionsskedet, så överskrider granpanelen båda putsalternativen efter 60 år. Det håller – med viss förskjutning – ungefär samma nivå som fibercementalternativet fr.o.m. det hundra året, och överskrider både fibercementskivan och tegelfasaden vid 180 år. Det gör att putsfasaderna efter 120 år framstår som det näst och nästnäst mest klimatmedvetna valen, även om cederträpanelen fortsätter att med god marginal vara det klimatmässigt mest fördelaktiga alternativet.

Fibercementskivorna överskrider teglets klimatpåverkan efter utbytet vid 150 år och överskrides därefter endast av granpanelen, de sista 20 åren under 200 års-perioden.

I livscykelkostnadsanalysen startar de flesta av alternativen på relativt likartade nivåer, men den underhållsintensiva granpanelen ökar snabbt sin kumulativa kostnad. Vid 50 årsstrecket ligger det alternativet nästan dubbelt så högt som övriga material, med undantag för det ventilerade putssystemet. Cederträfasaden och det ventilerade putssystemet alternerar därefter som näst dyraste alternativ, den oventilerade putsfasaden intar en mellanposition medan teglet redan efter 50 år framstår som det billigaste materialet, under de följande 50 åren delande den positionen med fibercementskivorna, som börjar på en betydligt lägre nivå än övriga alternativ. De sista 100 åren är teglets status som kumulativt billigast ohotad.

Dessa två perspektiv, det klimatmässiga och det ekonomiska, visar alltså två motstridiga bilder av materialens fördelaktighet. Det material som under den största delen av de 200 åren är sämst från ett klimatperspektiv, teglet, är efter de första 50 åren det mest fördelaktiga ekonomiskt sett. Granträpanelen är sämst ur båda aspekterna sett ur ett 200-årigt perspektiv, medan det sett inom en tidshorisont på 50 år framstår som bättre än de flesta klimatmässigt och sämre än alla de andra ekonomiskt.

13.2 Rankning av klimatpåverkan

Om resultaten normaliseras och rankas för de olika analysperiodernas tidshorisonter, och redovisas separat, så får man de grafer som kan ses i figurerna 27 – 32. Rankningen nedan gäller grundfallet.

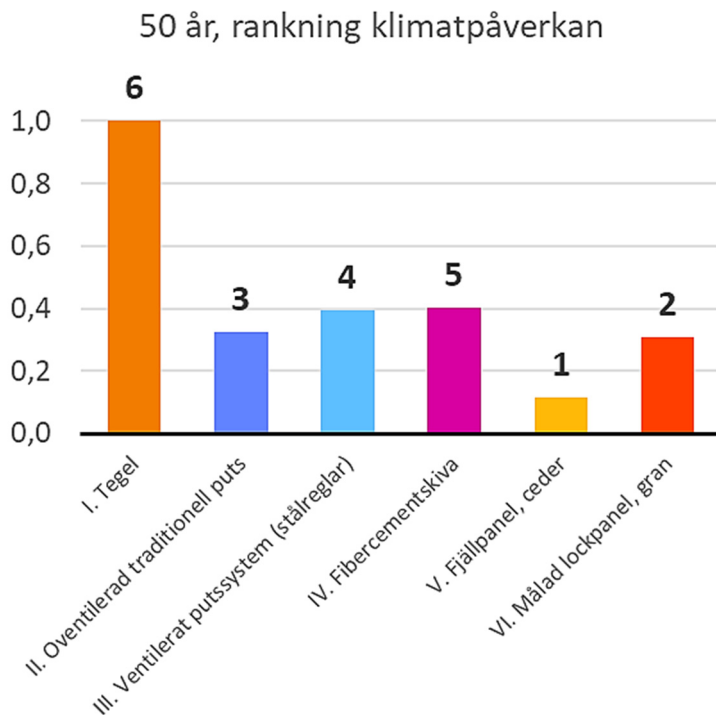


Fig. 27: Rankning av normaliserade värden för klimatpåverkan för analysperioden 50 år.

Eftersom den interna normaliseringen använder det högsta kumulativa GWP-värdet som något alternativ uppnått inom tidsperioden så kommer det alternativet alltid att få värdet 1,0, medan de övriga hamnar någonstans på skalan mellan 0 och 1. Eftersom ett så lågt värde som möjligt är det mest eftersträvarvärda så får detta högsta värde den sämsta rankningen, plats nr 6 av 6 alternativ. När det gäller klimatpåverkan i den 50-åriga analysperioden, figur 27, så är alltså tegelfasaden sämst och får rank 6, medan cederträfasaden, som tidigare konstaterat, har det lägsta GWP-värdet och därmed uppnår rank 1. Man ser att det normaliserade värdet för cederträfasaden är ca 0,1, det alternativet har alltså en klimatpåverkan som är ca en tiondel av tegelfasadens. De övriga materialen varierar mellan 30 och 40 % av teglets värde.

Går man vidare och analyserar rankningen av klimatpåverkan för analysperioden på 100 år, figur 28, så har de normerade värdena för alla materialen utom teglet ökat. Detta eftersom teglet fortfarande ligger högst och därmed är normerande, men samtidigt är svagt fallande i kumulativt GWP pga låg underhållsintensitet och större upptag av koldioxid via karbonatisering än de emissioner som underhållet orsakar. De övriga materialen ökar under tiden pga utsläpp orsakade av underhåll, reparationer och utbyte. Cederträfasaden är fortfarande tydligt det bästa alternativet, men har gått ifrån 10 till 20 % av teglets klimatpåverkan. De övriga alternativen ligger i detta perspektiv på mellan 40 och 60 %, med undantag för fibercementskivorna som med bibehållen rankning som nummer 5 av 6 når över 60 %. Den oventilerade putsfasaden ligger kvar på rank 3, medan det ventilerade putssystemet gått från rank 4 till näst bäst, rank 2. Granpanelen har i detta perspektiv gjort det motsatt och gått från placering 2, i det 50-åriga perspektivet, till placering 4, och har i princip dubblat sin procentandel, från 30 till knappt 60 % av det normerande värdet.

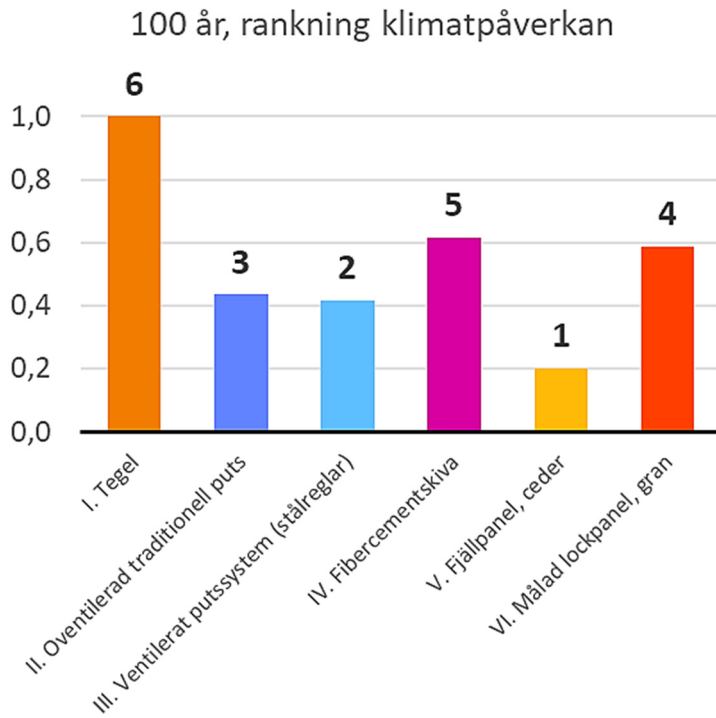


Fig. 28: Rankning av normaliserade värden för klimatpåverkan för analysperioden 100 år.

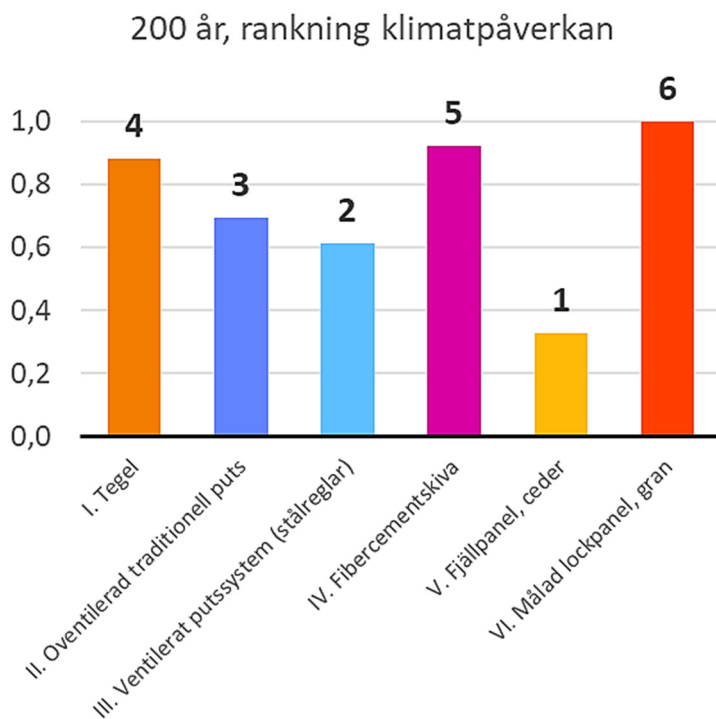


Fig. 29: Rankning av normaliserade värden för klimatpåverkan för analysperioden 200 år.

I det 200-åriga perspektivet, figur 29, så är trenderna från den förra dubbleringen av tidshorizonten kvar: det ventilerade putssystemet är kvar på rank 2, cederträfasaden på rank 1, även om båda ökar sina procentandelar, och granpanelen och fibercement-skivorna har fortsatt att stiga mer än övriga. Granpanelen har nu högst kumulativ GWP och har blivit normerande. Teglet har därmed förbättrat sin ranking från plats 6 till plats 4.

13.3 Rankning av kumulativ kostnad

Som syntes i den kronologiska framställningen i figur 26, så ser rankingen när det gäller kostnadsbilden annorlunda ut. Det 50-åriga perspektivet framgår av figur 30.

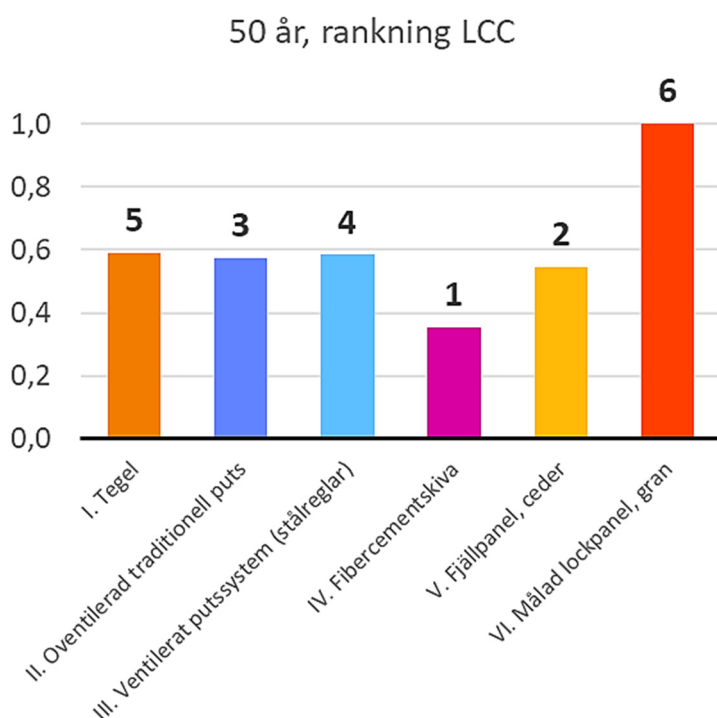


Fig. 30: Rankning av normaliserade värden för kumulativ kostnad för analysperioden 50 år.

Av figur 30 framgår det att skillnaderna mellan placeringarna 3, 4 och 5, för puts- och tegelfasadena, är minimala – de har i princip samma initiala kostnadsbild. Cederträfasaden ligger något bättre till och uppnår i detta perspektiv rank 2, medan fibercementalternativet utmärker sig genom att kosta lite drygt hälften av de övriga exklusive den målade granpanelen som har en kumulativ kostnad som ligger ca 70 % högre än det nästsämsta alternativet, tegelfasaden. Om man går tillbaka till figur 22, där kostnaderna för de olika skedena framgår, så ser man att det inte är den initiala byggkostnaden som orsakar detta, den ligger näst lägst, visserligen ca 48 % högre än fibercementskivans byggkostnad, men ändå lägre än de övriga materialen. Rivningskostnaden är också näst lägst – dubbelt så hög som för cederträpanelen, men tydligt lägre än de andra alternativen. Istället är det helt och hållet underhållet som orsakar den höga kumulativa kostnaden – den är ca 7 gånger så hög som för de av de andra alternativen som alls har någon underhållskostnad – tegel och fibercement har det inte i detta tidsperspektiv. Den är 140 % av den initiala byggnadskostnaden – det är alltså

ett alternativ som är relativt billigt att investera i vid uppförandet av en byggnad, men som är långt dyrare än alla de andra alternativen i drift.

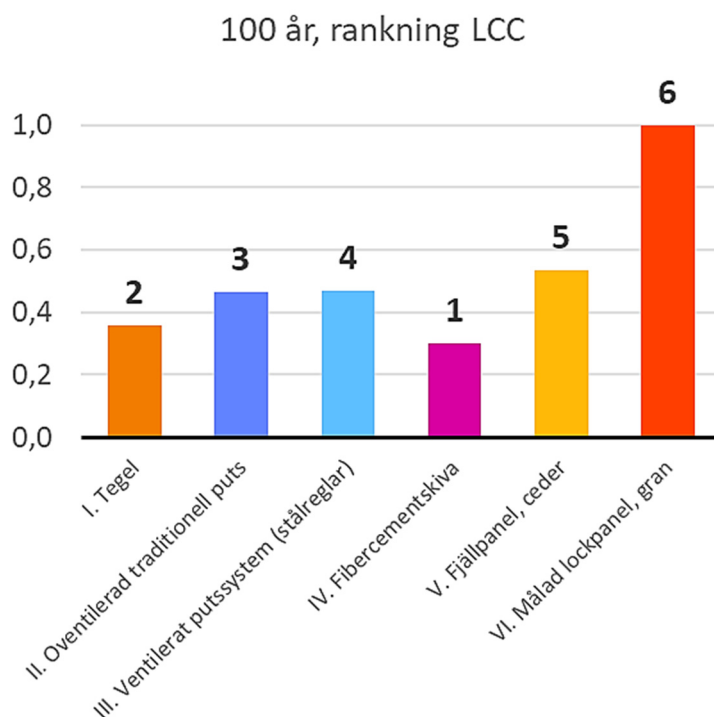


Fig. 31: Rankning av normaliserade värden för kumulativ kostnad för analysperioden 100 år.

När analysperioden förlängs till 100 år så förblir relationerna mellan alternativen granpanel, cederträpanel och fibercementskivorna i princip de samma, vilket framgår av figur 31. Fibercementskivorna ligger kvar på ca 30 % av granpanelens kostnad, och är fortfarande det billigaste alternativet, och cederträpanelen ligger fortfarande på lite drygt 50 % av det normerade värdet, men dess rank har nu sjunkit från 2 till 5, eftersom puts- och tegelfasadernas låga underhållsintensitet gör att det inte kostar fullt så mycket att hålla efter som träalternativen. Cederträfasaden kostar nu ca 40 % mer än putsfasaderna i underhållskostnad, medan den kostar ca 640 % mer än tegelfasadens underhåll. Jämfört med fibercementskivan så kostar dess underhåll ca 255 % mer. Tegelfasaden är långt den billigaste att underhålla, och det alternativet går från rank 5 till rank 2 i det 100-åriga perspektivet.

I figur 32 ses slutligen den 200-åriga analysperioden för de kumulativa kostnaderna för livscykeln. Samma tendens fortsätter även här: Relationen mellan fibercementskivorna, cederträpanel och granpanel förblir i grova drag desamma, även om granpanelens kostnad stigit något mer än dessa båda övriga materials stigningstakt. Den fortsatt låga kostnaden för underhåll – endast ca 5 % av underhållskostnaden för granpanelen – gör att teglet i detta tidsperspektiv uppnår rank 1, märkbart lägre än även fibercementalternativet på placering nr 2.

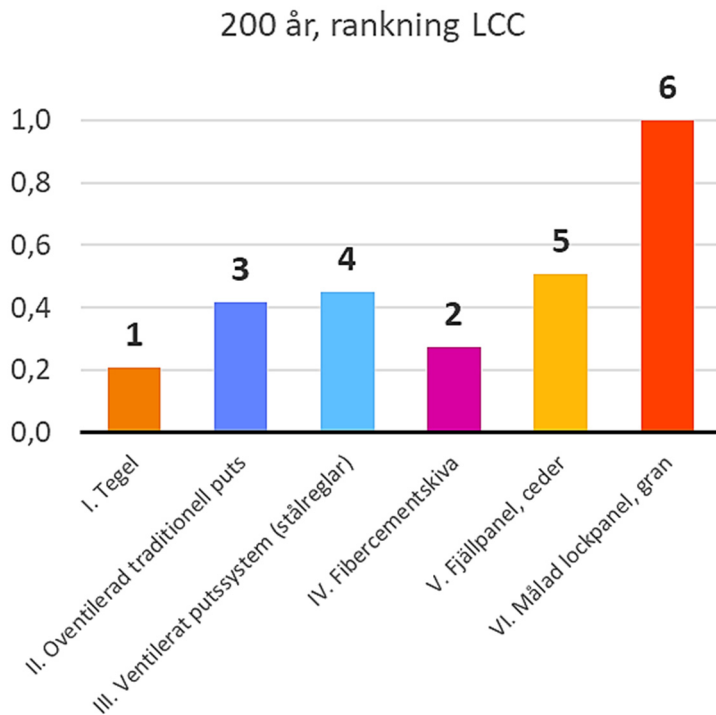


Fig. 32: Rankning av normaliserade värden för kumulativ kostnad för analysperioden 200 år.

13.4 Rankning av en sammanvägning av klimatpåverkan och kostnad

Livscykelanalysen och livscykelkostnadsanalysen ger alltså olika bilder, vilket ju sannolikt ofta kan vara fallet. En separat redovisning av resultaten ger en möjlighet för betraktaren/beslutsfattaren att göra sin egen bedömning, en möjlighet som en sammanvägning av resultaten kan försvåra. Det finns dock en risk för att de olika aspekterna ställs mot varandra som ett val mellan att prioritera antingen den ena eller den andra aspekten, vilket kan vara svårt att göra när det rör sig om värden som inte kan mätas på samma skala. I figur 33 – 35 redovisas resultatet av multicriteria-analysen, som alltså gjorts med en viktningfaktor 0,5 för båda aspekterna. Ett annat val av viktningfaktorer skulle kunna påverka resultatet märkbart. Igen är det endast grundfallet som beaktats.

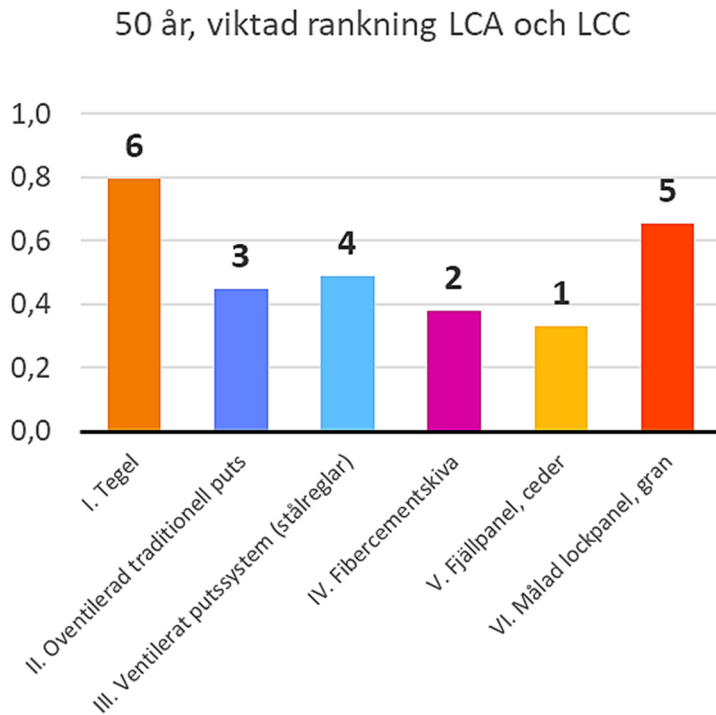


Fig. 33: Rankning av normaliserade värden för sammanvägda resultat, klimatpåverkan och kostnad, för analysperioden 50 år.

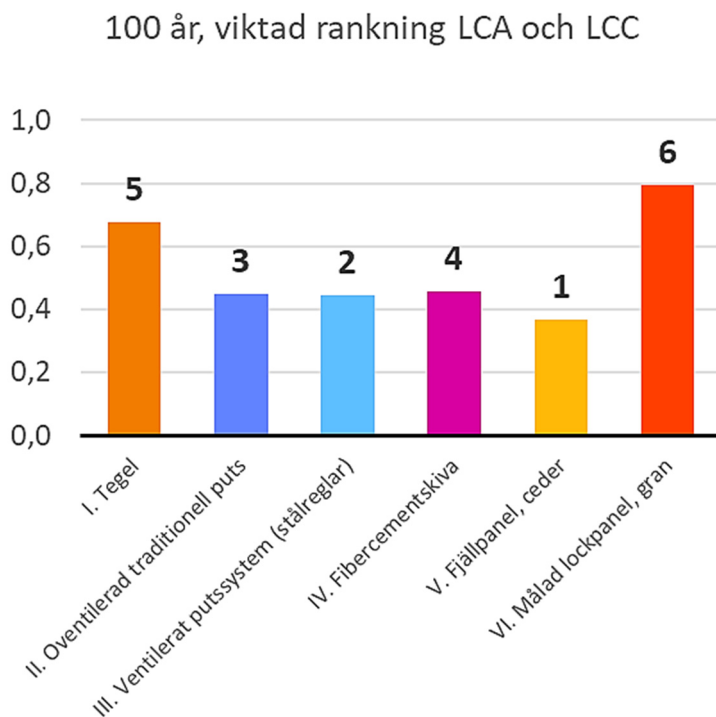


Fig. 34: Rankning av normaliserade värden för sammanvägda resultat, klimatpåverkan och kostnad, för analysperioden 100 år.

Det 50-åriga perspektivet, figur 33, ger en bild som till stor del motsvarar livscykelanalysens, med undantag av alternativen fibercement och granpanel, som har bytt plats i rankningen, plus att granpanelens normaliserade värde ligger långt högre i den samlade bilden än fibercementens gjorde i livscykelanalysen. Detta beror på fibercementskivornas låga kostnad i produktionsskedet, och granpanelens höga underhållskostnad.

Vid 100 år, figur 34, så har de höga underhållskostnaderna gjort att granpanelen passerat tegel och fibercement i MCDA-bilden, trots att den låg bättre till än dessa båda alternativ i livscykelanalysen.

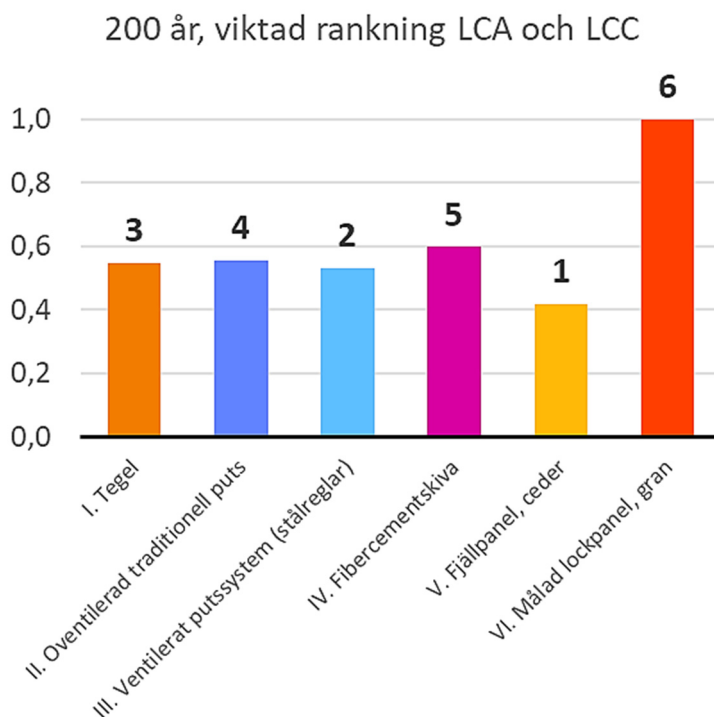


Fig. 35: Rankning av normaliserade värden för sammanvägda resultat, klimatpåverkan och kostnad, för analysperioden 200 år.

Efter 200 år har rankningen åter igen blivit mer eller mindre lika med LCA-bildens, med undantag för att teglet har klättrat från rank 4 till rank 3, men med mycket liten marginal, och att skillnaderna mellan granpanelen och de övriga alternativen är väsentligt större. Cederträet framstår givetvis även i denna sammanställning som det mest fördelaktiga valet, och putsfasaderna står sig bra i jämförelserna – tydligt sämre än cederträpanelen, men inte så markant som i livscykelanalysen.

13.5 Användning för att identifiera möjligheter att åtgärda klimatbelastning av olika alternativ

Som omnämnt tidigare så är ett av de sätt som en studie som denna kan användas på, att den gör det möjligt att identifiera särskilt miljöbelastande moment, så att fokus kan riktas på åtgärder som ger största möjliga nytta. Eftersom en av de faktorer som på ett markant sätt inverkar på ett materialalternativs klimatbelastning är mängden material som krävs för att uppfylla funktionen, och en annan är krav på höga temperaturer vid

tillverkningen, så kommer tegelfasaden alltid att ha en klimatmässig nackdel – vilket gör det både lätt att hitta områden med stor förbättringspotential och väsentligt att åtgärda dem. Såsom beskrivet i avsnitt 10.2 så består förbättringen i det exempel som tagits fram av en halvering av GWP i produktionskedet genom byte till fossilfri upphettning vid tegelbränningen, samt halvering av transportutsläppen genom byte till fossilfritt drivmedel till de fordon som fraktar teglet.

Resultatet framgår av figurerna 36 till 38. I dessa sätts den resulterande hypotetiska framtida klimatbelastningen för tegelfasaden i relation till alla alternativens kumulativa klimatbelastning utgående från dagens produktions- och hanteringsmetoder. Detta ska inte ses som ett påstående om att endast teglet har en förbättringspotential – alla materialen har naturligtvis mer eller mindre potential till förbättringar, även om teglet, såsom det i alla fall på kortare sikt mest klimatbelastande materialet, har en viss tydlighet i just sin potential. Att exemplet ställs i relation till alla alternativens resultat byggt på dagens metoder och energikällor är istället för att sätta in reduktionspotentialen i ett existerande sammanhang, så att nyttan blir tydliggjord.

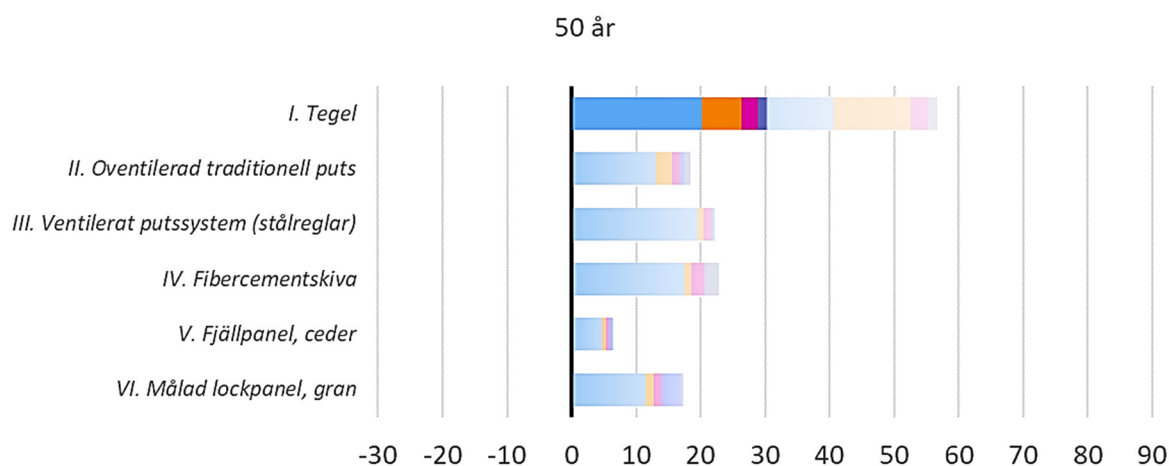


Fig. 36: En hypotetisk framtida halvering av utsläpp från bränning och transport av tegel genom byte till biobränsle och/eller vindel, i relation till alla alternativens omodifierade resultat, inom analysperioden 50 år.

I figur 36 framgår det att inte ens om alla de övriga materialen skulle fortsätta med samma miljöpåverkan som idag, vilket förhoppningsvis inte kommer att vara fallet, så kan teglets klimatpåverkan komma ned till de övriga alternativens nuvarande nivåer i det 50-åriga tidsperspektivet. Tegel är dock generellt ett material med lång teknisk hållbarhet, vilket gör det 100-åriga perspektivet, i figur 37, mer intressant. I det innebär åtgärderna att tegelfasaden kommer ned till någorlunda likartad klimatpåverkan som den som de andra materialen har idag, med undantag för cederträpanelen som fortfarande, t.o.m. utan framtida åtgärder, är det klimatmässigt mest fördelaktiga alternativet.

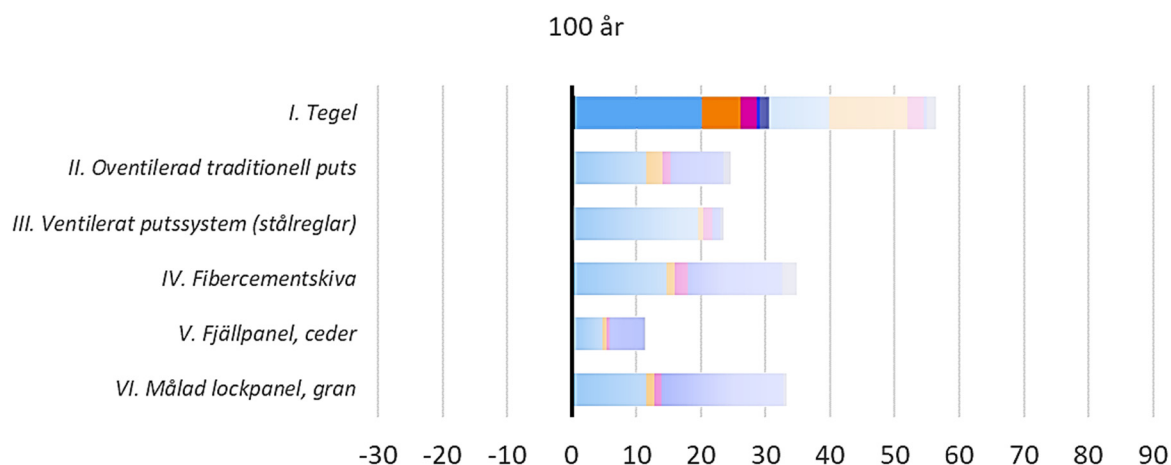


Fig. 37: En hypotetisk framtida halvering av utsläpp från bränning och transport av tegel genom byte till biobränsle och/eller vindel, i relation till alla alternativens omodifierade resultat, inom analysperioden 100 år.

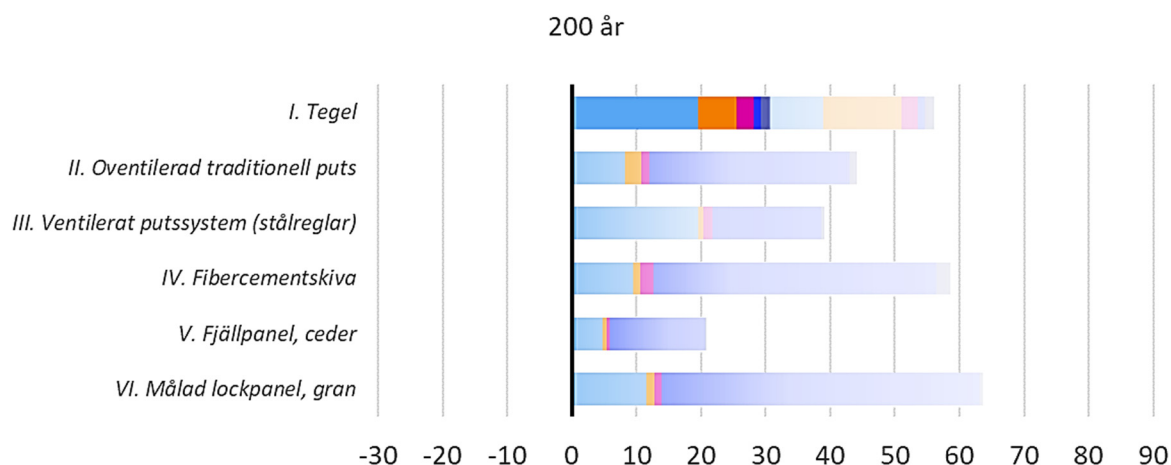


Fig. 38: En hypotetisk framtida halvering av utsläpp från bränning och transport av tegel genom byte till biobränsle och/eller vindel, i relation till alla alternativens omodifierade resultat, inom analysperioden 200 år.

I sammanhanget av en analysperiod på 200 år, figur 38, där teglet redan med sin nuvarande klimatpåverkan hade gått från rank nr 6 i det kortaste perspektivet till rank nr 4, så är förbättringen påtaglig. Det hypotetiska fallet har sjunkit med motsvarande hela cederträpanelens nuvarande klimatpåverkan över 200 år, plus ca 25 % till.

En omställning till fossilfri produktion och transport kan ju inte ske utan resurser, och dessa har denna studie inte inkluderat. Här kan endast konstateras att potentialen för betydande reduktion av GWP är stor.

Diskussion

Vid ett materialval behöver man balansera teknisk livslängd mot klimatpåverkan i de initiala skedena. Förenklat kan man säga att en relativt hög initial klimatbelastning som leder till ett tekniskt hållbarare och mer underhållsfritt alternativ under vissa

förutsättningar kan vara ett betydligt bättre alternativ miljömässighet än man skulle anta i ett kortsiktigt perspektiv, om man ser en mer sannolik livslängd för byggnaden. Material med låg materialåtgång och relativt hög teknisk hållbarhet, som cederträpanelen, kommer dock att ha tydliga klimatmässiga fördelar, både när det gäller produktion och transport, som är svåra att mäta sig med. Det ventilerade putsystemet med den hydrofobiska ytputsen står sig därför också bra i jämförelse i ett långsiktigt perspektiv, förutsatt att man som antaget kan återanvända det bakomliggande profilsystemet, vilket av praktiska skäl dock ibland kan vara tveksamt.

Faktorer som påverkar storleken på en klimatbelastning vid produktion är t.ex. kemisk sammansättning, energibehov vid tillverkning, transportsträckor och transportmedel, och i ännu högre utsträckning mängd av material och vilka energikällor som används.

Så det var inte oväntat att tegelfasaden, som har den största mängden material – 108 mm tegel – och kräver hög temperatur vid tillverkningen, har en påtagligt hög klimatbelastning. I den korta, 50-åriga perspektivet, som ju lägger mest vikt på början av en byggnads livstid och mindre på framtida underhåll så ligger teglets samlade GWP mellan 2,5 och nästan 9 gånger så högt som de övriga alternativen, med undantag för varianten på ventilerad putsfasad som monterats på aluminiumreglar. Att välja aluminiumreglar nästan tredubblar den initiala klimatpåverkan för det ventilerade putsystemet jämfört med det mer normala valet av stålreglar. Men i och med att teglet har ett mycket lågt underhållsbehov så modifieras bilden av materialets klimatbelastning ju längre tidsperspektivet är, och för material med låg underhållsintensitet och lång teknisk hållbarhet så finns det anledning att undersöka klimatbelastningen för byggnadens mer sannolika livstid, vilket denna studie gör i de 100- och 200-åriga perspektiven. Det ger en bild av alternativets belastning under dess faktiska livscykel.

Med de inneboende klimatmässiga nackdelarna – stor mängd material, hög process-temperatur vid tillverkning – så blir teglet dock aldrig direkt konkurrenskraftigt från en klimatmässig synvinkel, till skillnad från den ekonomiska, vilket gör det angeläget att beakta på vilket sätt materialets klimatprestanda kan förbättras. När det gäller de övriga materialen så finns det anledning att göra motsvarande förbättringar – byte till förnyelsebara energikällor, användande av klimatneutral cement – trots att förbättringspotentialen kanske inte är fullt lika stor i absoluta termer. Torkningen av träprodukter är dock också något som skulle göras med förnyelsebara energikällor, vilket alltså skulle kunna innebära en betydande potentiell förbättringsmöjlighet. När det gäller andra material, så kan även en måttlig reduktion av miljöpåverkan av material som produceras/används i stora volymer innebära väsentliga klimatfördelar.

Det korta, produktionsdominerade 50-åriga perspektivet avslöjar vilka processer i produktions- och byggskedena som är mest värda att investera i att förbättra, och fungerar därför som ett användbart verktyg i detta sammanhang. Denna studie inkluderar inte beräkning sådana potentiella förbättringar, det är ett arbete som bör utföras i kommande studier, och det inkluderade tegelexemplet fungerar bara som ett sätt att visa ett sätt att använda livscykelanalysens resultat. Exemplet valdes för att materialet utmärkte sig genom att det är lätt att identifiera de faktorer som genererar de största klimatbelastningarna under livscykeln och uppskatta möjliga reduktioner utan några avancerade beräkningar.

Fortsatt relaterat till vikt och volym, så har cederträpanelen – som är en fjällpanel med en genomsnittlig tjocklek på bara 16 mm – den överlägset lägsta klimatbelastningen. Det gäller i alla tidsperspektiven, mycket pga den minimala materialmängden och också det faktum att den förblir obehandlad, och alltså inte kräver ommålning, som

granpanelen. Det har inte bara miljömässiga fördelar utan avspeglar sig också på arbets- och materialkostnader för underhållet.

Granpanelen ligger i gengäld relativt bra till i den 50-åriga analysen, strax under den GWP-nivå som putsfasaderna och fibercementskivan ligger på, men redan under det förhållandevis korta perspektivet så är underhållsskedet märkbart stort. I ett 100-årigt perspektiv ökar klimatbelastningen den effekten kraftigt, och efter 200 år är granpanelen det klimatmässigt sämsta alternativet. Fibercementskivornas resultat beskriver en liknande diskrepans mellan analysperioderna, men i det fallet handlar det inte om korta underhållsintervall som det gör när det gäller granpanelen. Fibercementskivorna är relativt underhållsfria under lång tid, men när de väl behöver åtgärdas så är belastningen desto större, vilket ger en kurva över tid med markanta stegvis öknings av den kumulativa belastningen, både klimatmässigt och ekonomiskt. Detta visar på den klimatmässiga betydelsen av högt underhålls- och utbytesbehov, en betydelse som man riskerar att missa om man enbart gör 50-åriga studier.

Självklart innebär mer långsiktiga studier större källor till osäkerheter – förutsättningar kan ändra sig både på förutsebara och icke förutsebara sätt – men analyser som enbart bygger på data och kunskap som är tillgänglig idag kan ge en bild av de klimatmässiga för- och nackdelarna av olika alternativ. Endast framtiden kan visa hur korrekta dessa bilder sedan är, men att inte överväga långsiktiga konsekvenser för att man inte kan veta hur framtiden kommer att utveckla sig ger sämre möjligheter att ta ansvar för de val man gör, än att bygga dessa val på analyser med viss osäkerhet.

En slutsats från denna studie är att ett kortsiktigt, 50-årigt perspektiv förskjuter bilden av ett alternativs klimatpåverkan i en LCA, så att större vikt kommer att ligga på produktions- och byggskedena medan mindre fokus hamnar på klimatbelastningen under driftstiden. Det kan ha sina fördelar om det man är ute efter är att identifiera områden att satsa resurser på att åtgärda i produktions- och byggskedena, respektive vill åstadkomma så omedelbar minskning av klimatbelastningen som möjligt. Men för att bedöma ett materialvals hållbarhet miljömässigt i ett faktiskt livscykelperspektiv måste analysperioden vara jämförbar med byggnadens livstid. Det innebär att både kort- och långfristiga livscykelanalyser kan bidra till beslutsprocesser inom byggandet på olika sätt, och det skulle kunna vara av värde att man när man gör livscykelanalyser gör dem för flera olika analysperioder samtidigt.

Det kan i det ljuset framstå som potentiellt problematiskt om Boverket endast har för avsikt att sätta gränsvärden för produktionsskedet, respektive om de regler som kommer att införas för LCA för byggnader endast kommer att ske för en 50-årig analysperiod. Värdet av en LCA ligger i dess helhetsperspektiv från vaggan till graven, och att lägga betoning endast på de initiala skedena i en byggnads livstid riskerar att inte leda till en långsiktig hållbarhet.

Finansiering

Studien har finansierats av Mur och Putsföretagen, branschförening för företag inom murat och putsat byggande.

Framtida arbete

Livscykelanalyser av framtida möjligheter för de alternativ som inkluderats i denna studie skulle vara av värde, som utvärdering av potentiella förbättringar av deras klimatprestanda.

Referenser

- Allacker, K., Castellani, V., Baldinelli, G., Bianchi, F., Baldassarri, C., & Sala, S. (2019). Energy simulation and LCA for macro-scale analysis of eco-innovations in the housing stock. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(6), 989–1008. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1548-3>
- Anwar, A. (2001), *Does the Age of a Tree Effect Carbon Storage?* NASA webpage, hämtad 2021-03-20.
- Boverket (2019). *Metodval för LCA*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/metodval-for-lca/> Hämtad 2021-03-20.
- Boverket (2020). *Fasad och yttervägg*. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/fasader/> Hämtad 2021-03-19.
- Boverket (2020). *Utveckling av regler om klimatdeklaration av byggnader*. <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/publicerat-av-boverket/publikationer/2020/utveckling-av-regler-om-klimatdeklaration-av-byggnader/> Hämtad 2021-06-21
- Boverket (2021). *Bygg- och fastighetssektorns energianvändning uppdelat på förnybar energi, fossil energi och kärnkraft*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/energianvandning/> Hämtad 2021-03-19.
- Burström, P-G. (1999), *Livslängdsbedömningar av byggnadsmaterial*, Lunds Universitet.
- Cuéllar-Franca, R. M., & Azapagic, A. (2012). *Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses*. *Building and Environment*, 54, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>
- Dixit, M. K. (2018). *Life cycle recurrent embodied energy calculation of buildings: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 209, 731–754. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.230>
- Erlandsson, M., Holm, D. (2015), *Livslängdsdata samt återvinningsscenarion för mer transparenta och jämförbara livscykelberäkningar för byggnader*, Rapport nr B B2229, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.
- Erlandsson, M., Malmqvist, T., Francart, N., Kellner, J. (2018), *Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus, LCA av fem byggsystem*, underlagsrapport, Rapport nr C350, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm

- Erlandsson, M., Petersson, D., Jönsson, J.-A., (2020), *Referensbyggnaden Blå Jungfrun med träbaserade element med lättbalkar och cellulosaisolering*, Rapport nr C558, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm
- Francart, N., Malmqvist T. (2020), *Investigation of maintenance and replacement of materials in building LCA*, 2020 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 588 (2020) 032027
- Francart, N., Widström, T., Malmqvist, T. (2021), *Influence of methodological choices on maintenance and replacement in building LCA*, submitted
- German Federal Ministry of the Interior Building and Community (2017)
- Gomes, V., Saade, M., Lima, B., & Silva, M. (2018). *Exploring lifecycle energy and greenhouse gas emissions of a case study with ambitious energy compensation goals in a cooling-dominated climate*. *Energy and Buildings*, 173, 302–314. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.063>
- Grant, A., Ries, R., & Kibert, C. (2014). *Life cycle assessment and service life prediction: A case study of building envelope materials*. *Journal of Industrial Ecology*, 18(2), 187–200. <https://doi.org/10.1111/jiec.12089>
- Gustavsson, T, (2020), Tomas Gustavsson Konstruktioner AB, Telefonsamtal
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2017). *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
- Hoxha, E., Jusselme, T., Andersen, M., & Rey, E. (2016). *Introduction of a dynamic interpretation of building LCA results: the case of the smart living building in Fribourg, Switzerland*. Sustainable Built Environment (SBE) Regional Conference Zurich 2016. (pp. 310–314). <https://doi.org/10.3218/3774-6>
- IEA (2020), *Tracking Buildings 2020*, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020>
- <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2020>
- Kurkinen, E-L., Norén, J., Peñaloza, D., Al-Ayish, N., During, O. (2015), *Energi och Klimateffektiva Byggsystem – Miljövärdering av olika stomalternativ*, SP Rapport 2015:70, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås
- Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. (2009). *Life cycle energy assessment of a typical office building in Thailand*. *Energy and Buildings*, 41(10), 1076–1083. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.06.002>
- Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V., & Sala, S. (2018). *Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock*. *Building and Environment*, 145 (May), 260–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I., Larsson, G., Brogren, M. (2015), *Byggandets klimatpåverkan – Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning för ett nyproducerat energieffektivt flerbostadshus i betong*, Rapport Nr. B2217, IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm
- Molnár, M. (2020), Lunds Tekniska Högskola, Telefonsamtal

Peuportier, B., Thiers, S., & Guiavarch, A. (2013). *Eco-design of buildings using thermal simulation and life cycle assessment*. Journal of Cleaner Production, 39, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.041>

Prado, V., Rogers, K. & Seager, T.P. (2012), *Integration of MCDA tools in valuation of comparative Life Cycle Assessment*, kapitel 19 i Curran, M.A. (ed.): Life Cycle Assessment Handbook: A guide for environmentally sustainable products, p. 413 – 432, Scrivener Publishing LLC, <https://doi.org/10.1002/9781118528372.ch19>

Roh, S., Tae, S., & Kim, R. (2018). *Analysis of embodied environmental impacts of Korean apartment buildings considering major building materials*. Sustainability (Switzerland), 10(6). <https://doi.org/10.3390/su10061693>

Sandberg, K., Pousette, A., Karlsson, O., Sundqvist, B. (2015), *Fasader i trä för flervåningsbyggnader – Jämförelse mellan material och behandlingsmetoder*, SP Rapport 2013:21 Rev., ISBN 978-91-87461-06-4, SP Trä/SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås, Skellefteå, Stockholm, Växjö

SS-EN ISO 14040:2006, *Miljöledning – Livscykelanalys – Principer och struktur*

SS-EN ISO 14044:2006, *Miljöledning – Livscykelanalys – Krav och vägledning*

ISO 15686-5:2017, *Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*

SS-EN 15978:2011, *Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders miljöprestanda - Beräkningsmetod*

SS-EN 16627:2015, *Hållbarhet hos byggnadsverk – Värdering av byggnaders ekonomiska prestanda - Beräkningsmetoder*

United Nations (2005), *Resolution adopted by the General Assembly on 16 September 2005: 2005 World Summit Outcome*

United Nations Environment Program (2020), *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector – Executive Summary*, Global Alliance for Buildings and Construction

Upphandlingsmyndigheten (2021), *LCC för långsiktigt hållbara inköp*. <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/ekonomiskt-hallbar-upphandling/lcc-for-langsiktigt-hallbara-inkop/> Hämtad 2021-03-19

Wallmark, S, (2020), Tegelmäster, Telefonsamtal

Wikells Byggberäkningar (2019), *Wikells Sektionsfakta*, databas för byggnadskostnader, wikells.se

TRITA-ABE-RPT-2130