

Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Institutionen för Arkitektur och byggd miljö, avdelning för Boende och bostadsutveckling

Examensarbete:
Jens Mikael Hoel
Marcus Nilsson

© Copyright Jens Mikael Hoel, Marcus Nilsson
Figureerna 1.1, 3.2 och 3.3 samt tabellerna 3.1 och 3.2 har publicerats
med tillstånd från LFM30

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2022

Sammanfattning

Enligt senaste IPCC-rapporten står världen inför ett stort klimatproblem. Flera organisationer arbetar aktivt på en global och nationell nivå för att bromsa in klimatförändringarna. Strävan mot klimatneutralitet är redan idag högst relevant inom byggnadssektorn för att nå målet om ett klimatneutralt samhälle år 2045.

Syftet med examensarbetet är att undersöka möjligheten att bygga till ett klimatneutralt sjukhus. Arbetet görs som en förundersökning för ett planerat sjukhus som skall anläggas i Östra Ramlösa, Helsingborg med start runt år 2025.

Problemet har undersökts dels genom en litteraturstudie, dels genom en fallstudie. Relevant litteratur från vetenskapliga artiklar, regeldokument och dokument från organisationer inom området har studerats. Litteraturstudien användes för att undersöka olika definitioner som finns kring klimatneutralitet idag, vilka klimatförbättringsåtgärder finns tillgängliga idag och vad som förväntas finnas tillgängligt i framtiden i arbetet mot klimatneutralitet.

Fallstudien av sjukhuset har avgränsat till att endast undersöka klimatförbättring av de material som används i konstruktionen och därmed har inget byte av materialtyp gjorts.

Materialen som fokuserats på är de som har störst klimatpåverkan i fallstudien vilket har varit betong, stål och armering.

Både litteraturstudien och fallstudien visar att det finns klimatförbättringsåtgärder som kan göras för att dra ner på växthusgasutsläppen under byggnadsskedet under byggnationen av ett sjukhus. Fallstudien visar på att redan idag är det möjligt att använda sig av klimatsmarta material för att minska klimatpåverkan rejält under byggnadsskedet. Det går dock ännu inte att bygga helt utan klimatpåverkan, utan för att göra det möjligt att kalla ett sjukhus för klimatneutralt behöver resterande utsläpp från byggskedet kompenseras genom någon form av klimatkompensation.

Abstract

According to the latest IPCC report, the world is facing a major climate problem. Several organizations are actively working at a global and national level to slow down climate change. The strive for climate neutrality in the construction sector is highly relevant today to achieve the goal of a climate neutral society by year 2045.

The purpose of this project is to investigate the possibility of a climate neutral hospital. This is done as a preliminary investigation for a planned hospital to be built in Östra Ramlösa, Helsingborg starting around the year 2025.

The problem has been investigated partly through a literature study and partly through a case study. Relevant literature from scientific articles, regulations, and documents from organizations within the field has been studied. The literature study was used to examine different definitions that exist around climate neutrality today, what climate improvements are available today and what we expect to be available in the future in the work towards climate neutrality.

The case study has been limited to examine only climate-improvement of the materials used in the construction and thus no change of material type has been made. The materials that have been focused on are those that have the greatest climate impact in the case study, which has been concrete, steel and reinforcement.

Both the literature study and the case study show that there are climate improvement measures that can be taken to reduce greenhouse gas emissions during the construction phase during the construction of a hospital. The case study shows that even today it is possible to use climate-smart materials to reduce the climate impact significantly during the construction phase. However, it is not yet possible to build completely without climate impact. To make it possible to call a hospital climate-neutral, the remaining emissions from the construction phase need to be compensated for by some form of climate compensation.

Förord

Det här examensarbete är vårt avslutande moment av den treåriga utbildningen Högskoleingenjör i byggt teknik med arkitektur vid Lunds Tekniska Högskola. Utbildningen har tagit plats via Campus Helsingborg och digitalt under Corona epidemin, vilket både har varit förmånligt vid vissa tillfällen och utmanande i andra.

Examensarbetet är utfört vid Institutionen för Arkitektur och byggd miljö och motsvarar 22,5 högskolepoäng. Examensarbetet skrevs i samarbete med Regionfastigheter, en av Region Skånes förvaltningar.

Vi uttrycker vår största tacksamhet till våra handledare, Erik Johansson på institutionen och Lotta Nilbecker, hållbarhetschef på Regionfastigheter. Genom god vägledning, engagemang för vårt arbete och bidragande med nyttig information har de möjliggjort examensarbetet.

Vi riktar även ett tack till alla som vi varit i kontakt med i samband med insamling av data, såväl från Regionfastigheter som Skanska.

Jens Mikael Hoel & Marcus Nilsson

Begrepp

Atemp:

Invändig area för våningsplan, vindsplan och källarplan som är uppvärmda till minst 10 °C. Area för innerväggar, schakt, trappöppning och dylikt ska inkluderas.

Biokol:

Biokol kallas produkter framtagna genom förbränning av biomassa. Under förbränningen binder biomassan koldioxid och möjliggör lagring av koldioxiden under många år framöver. Biokolen kan användas som kolsänka exempelvis i odlingsmark, vilket även gynnar odlingen.

EPD:

Miljövarudeklaration som innehåller information baserad på en livscykelanalys av en produkt. En EPD består av tre delar: Produktblad, metodval och resultat från bedömningen av miljöpåverkan.

Klimatdata:

Mängden växthusgaser som en enhet producerar vid tillverkning, uttryckt i kilogram per enhet resurs. Generisk klimatdata är ett genomsnitt för resursen medans specifik klimatdata är för en specifik produkt (Boverket, n.d.).

Klimatdeklaration:

Ett krav på byggherrar att vid uppförande av nya byggnader skall det redovisa vilken påverkan på klimatet byggnaden har. Kravet började gälla från den 1 januari 2022.

Klimatneutralitet:

“Netto noll utsläpp av växthusgaser till atmosfären. Det innebär att utsläpp som sker ska kunna tas upp av det ekologiska kretsloppet, kolinlagring i material eller med tekniska lösningar och därmed inte bidra till växthuseffekten. Strategin är att i första hand minska faktiska utsläpp men att kompensationsåtgärder och kolinlagring kan användas för att uppnå klimatneutralitet.” (Fossilfritt Sverige, 2018a)

Koldioxidekvivalent:

En enhet som mäter de sammanvägda effekterna på klimatet från flera växthusgaser som uttrycks i motsvarande mängd CO₂.

Ljus Bruttoarea:

Ljus BTA räknas som bruttoarean ovan och delvis ovan mark, exkluderat komplementbyggnad (carport/garage/förråd) samt teknikutrymmen på vind (utrymmen för fläkt, hissmaskin, el, tele, värme, kyla) (LFM30, 2021)

LCA:

Livscykelanalys är en metod för att göra en helhetsbedömning av miljöpåverkan under en produkts livstid.

NollCO₂: En påbyggnadscertifiering till miljösystemen Miljöbyggnad, BREEAM-SE, Svanen och LEED. NollCO₂ syftar till att uppnå netto-noll klimatpåverkan av en ny byggnad.

Skorstenseffekt:

Även kallat skorstensverkan. Skillnad i tryck i en byggnad beroende på temperaturdifferens mellan inne och ute. Vanligt med undertryck nertill i byggnaden och övertryck upptill.

Förkortningar

CO_{2e} eller CO_{2eq} - Koldioxidekvivalent, ett mått på utsläpp av växthusgaser

CCS - Carbon Capture and Storage; Koldioxidavskiljning och lagring

CCU - Carbon Capture and Utilization; Koldioxidavskiljning och användning

Bio-ccs eller BECCS - Avskiljning och lagring av koldioxid från biobränslen

LCA - Livscykelanalys

EPD - Environmental Product Declaration; Miljövarudeklaration

FEBY - Forum för Energieffektivt Byggande

MSB - Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

LFM30 - Lokal färdplan för en klimatneutral bygg- och anläggningssektor i Malmö 2030

ZEB - Zero Emission Buildings

COP - Conference of the Parties, deltagande parter under FN:s klimatkonvention.

FN eller UN - Förenta nationerna eller United Nations

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

UNFCCC - United Nations Framework Convention on Climate Change, FN:s klimatkonvention

Innehållsförteckning

Sammanfattning	I
Abstract	II
Förord	III
Begrepp	IV
Förkortningar	VI
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.1.1 Globala och nationella engagemang	2
1.1.2 Lokal Färdplan Malmö 2030	4
1.1.3 Regionfastigheter	6
1.1.4 Miljöbyggnad och EU:s Taxonomi	6
1.2 Syfte och frågeställning	7
1.4 Avgränsningar	8
2 Metod	9
2.1 Tillvägagångssätt	9
2.2 Litteraturstudie	9
2.2.1 Källkritik	10
2.3 Fallstudie	11
3 Teori	12
3.1 Klimatneutralitet	12
3.2 Den robusta sjukhusbyggnaden	14
3.2.1 Material och konstruktion	14
3.2.2 Solceller och solfångare	15
3.2.3 Vikten av en stabil energikälla	16
3.3 LCA för en byggnad	17
3.4 LFM30 metod för klimatbudget	20
3.4.1 Steg 1: Beräkna	21
3.4.2 Steg 2: Förbättra	21
3.4.3 Steg 3: Målgränsvärde	21
3.4.4 Steg 4: Negativa utsläpp	23
3.4.5 Steg 5: Löpande kontrollera	25
4 Klimatpåverkan under byggnadsskedet	27
4.1 Betong	27
4.1.1 CCS och CCU	29
4.1.2 Karbonatisering av betong	30
4.2 Stålprodukter	31
4.3 Transporter och byggarbetsplatsen	32
4.4 Återbruk	33

5 Fallstudie: Nya Sjukhusområdet Malmö (NSM)	35
5.1 Fall 1: Grundfall preliminär klimatkalkyl	36
5.2 Fall 2 och fall 3: gemensamma faktorer	37
5.3 Fall 2: Konventionella material	39
5.4 Fall 3: Klimatförbättrat	40
5.5 Sammanställning	41
5.6 Klimatkompensation	42
6 Diskussion	45
6.1 Fallstudie	45
6.2 Miljöpåverkan under byggskedet	45
6.3 Felkällor	46
7 Slutsats	47
7.1 Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus?	47
7.2 Förslag på fortsatta studier	48
8 Litteraturförteckning	49

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Människans användning av mark, resurser och förbränning av fossila bränslen har bidragit till en påverkan på klimatet genom ökad yttemperatur på jorden de senaste åren. Utsläpp av växthusgaser har ökat, vilket lett till en påskyndning av växthuseffekten.

Enligt IPCC:s AR6 rapport konstateras att under 2019 var koncentration av koldioxid i atmosfären till stor sannolikhet den högsta på minst 2 miljoner år och koncentrationen av andra växthusgaser, bland annat metan och kväveoxider, var högre än någon gång sedan 800 000 år tillbaka (IPCC, 2021).

Naturskyddsföreningen sammanfattar fem huvudbudskap från IPCC AR6, där naturskyddsföreningen betonar att människan håller på att närma sig tröskeleffekter som kan medföra större risker för naturen och människan. Exempel på nämnda tröskeleffekter är ett smältande Antarktis som höjer havsnivån och frigörande av stora mängder metan från en smältande permafrost (Naturskyddsföreningen, 2021).

Redan år 2015 under FN:s klimatkonferens, COP21, kom en gemensam överenskommelse om att någonting behövde göras för att motverka den påskyndande klimatförändringen följt av växthusgasutsläpp. Det så kallade Parisavtalet bildades i mån om att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen under 2 °C och helst under 1,5 °C (Regeringen, 2021).

IPCC menar att den globala temperaturen kommer fortsätta att öka till åtminstone mitten av 2000-talet. Den globala uppvärmningen kommer överstiga 1,5 °C och 2 °C under 2000 talet om inte förändringar sker kring utsläppen av koldioxid och andra växthusgaser under de kommande årtionden (IPCC, 2021).

Sedan IPCC AR5, vilken utgavs 2014 har förändringar observerats i form av extremväder och naturkatastrofer över hela jorden i form av värmeböljor, torka, kraftig nederbörd, tropiska cykloner (ibid).

De nämnda klimatförändring kan högst troligen anses vara antropogena och har påverkat naturen på ett negativt och skadligt sätt. Det har i urbana miljöer observerats att människors hälsa och försörjning har påverkats på grund av klimatförändringarna.

Utöver har klimatförändringarna i vissa fall lett till oåterkalleliga effekter bortom människan förmåga att anpassa sig (IPCC, 2022a).

Om den globala uppvärmningen snarast begränsas till nära 1,5 °C genom möjliga åtgärder skulle de förväntade förluster och skador relaterade till klimatförändringar minska väsentligt, men alla förväntade skador elimineras inte (ibid).

Enligt Science Based Targets står byggnader för 37 % av dagens globala CO₂-utsläpp när driftsutsläpp och när växthusgaser från materialens livscykel beaktas. I siffror motsvarar det cirka 3 Gt CO_{2e} direkta utsläpp, ytterligare 9,8 Gt CO_{2e} är indirekta utsläpp från el- och värmeförbrukning och ytterligare 3,5 Gt CO_{2e} från material (Science Based Targets, n.d.). Den globala golvarean beräknas att öka med cirka 75 % under åren 2020 till 2050, vilket motsvarar en ökning av den globala golvarean i storleken av Paris yta varje vecka fram till år 2050. Byggsektorns utsläpp av koldioxid kommer ha en omfattande ökning om inga minskning åtgärder för att förhindra klimatpåverkan görs i sektorn (IEA, 2021).

I Sverige bidrar bygg och fastighetssektorn till en stor del av växthusgasutsläppen. Under 2019 stod sektorn för 21 % av de totala inhemska utsläppen av växthusgaser, vilket exkluderar importvaror som ytterligare bidrog till utsläpp utomlands (Boverket, 2021a). Utsläppen delas upp på byggverksamhet, uppvärmning och övrig fastighetsförvaltning. Studeras utsläppen fördelat på bransch syns en trend de senaste åren att byggverksamheten står för ungefärligt hälften av utsläppen. De totala utsläppen från bygg och fastighetssektorn avläses till närmare 19 miljoner ton CO_{2e} (ibid). För att sätta det i perspektiv var de totala utsläppen från personbilar 10,4 miljoner ton CO_{2e} i Sverige under 2019 (Naturvårdsverket, n.d. a).

1.1.1 Globala och nationella engagemang

En avgörande faktor för att uppnå de ambitiösa målen för att begränsa klimatförändringarna, är ett internationellt samarbete mellan världens nationer (IPCC, 2022b). Svenska FN-förbundet menar att en av våra tids största utmaningar är klimatfrågan samtidigt anser förbundet att FN är den enda organisation som har möjligheten att samla alla världens länder för att gemensamt lösa klimatproblemet (FN, n.d.).

FN har en årlig klimatkonferens, kallat COP, med delegater från medlemsländer i FN, observatörer och det civila samhället. Det tjugoförsta sammanträdet av FN:s klimatkonferens resulterade i ett globalt klimatavtal, även kallat Parisavtalet. Naturvårdsverket beskriver parisavtalet som ett globalt klimatavtal som kom till för att minska den globala temperaturökningen och samtidigt bidra med stöd till de som drabbats av effekterna från klimatförändringar (Naturvårdsverket, n.d. b).

I artikel 2 av Parisavtalet formulerades tre viktiga mål som en bekämpning mot hoten i följd av klimatförändringar: 1) Att begränsa ökningen av den globala medeltemperaturen till väl under 2 °C, jämfört med förindustriella nivåer, med fortsatta ansträngningar för att begränsa temperaturökningen ytterligare till enbart 1,5 °C; 2) Att förbättra anpassningsförmågan till de negativa effekterna som följer av klimatförändringar, för att bidra till klimattålighet så att det inte hotar livsmedelsproduktionen; 3) Föreslå finansieringar mot låga växthusgasutsläpp och klimattålig utveckling.

Utöver bekämpningen av klimatförändringarna bygger även besluten från Parisavtalet på att gynna hållbar utveckling och utrota fattigdom (UNFCCC, 2016).

Utöver Parisavtalet har FN:s utvecklingsprogram formulerat 17 globala mål som antogs 2015. Uppfyllda mål skall leda till utrotning av fattigdom, till att skydda planeten och att alla människor skall uppleva fred och välbefinnande senast 2030, vilket kallas Agenda 2030 (UNDP, n.d.).

Av de 17 målen kan flertal indirekt kopplas till bygg och anläggningssektorn där en klar koppling finns till mål 11: Hållbara städer och samhällen. Bland annat finns delmål inom säkra bostäder till överkomlig kostnad, inkluderande och hållbar urbanisering samt minska städernas miljöpåverkan (ibid).

Målen i Agenda 2030 är världsomfattande, men utöver ett globalt gemensamt engagemang behöver nationer ta sitt eget ansvar för klimatet. Sverige har 16 miljömål som är formulerade efter de nationella förhållandena för att bidra till kampen mot klimatförändringen. Jämfört med Agenda 2030 har Sveriges miljömål större fokus och är mer specifika mot just miljö kvalitet. Hållbarhet delas upp på tre pelare: Ekologisk, ekonomisk och social. Om Sverige lyckas uppnå de nationella miljömålen uppfylls den ekologiska dimensionen av Agenda 2030 för Sverige (Sveriges Miljömål, 2020)

Sverige har som mål att inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären år 2045. För att nå målet om noll nettoutsläpp har deletapper formulerats för varje sektor fram till år 2045. Miljöarbetet som utförs inom den svenska bygg- och anläggningssektorn utförs både nationellt och lokalt.

Ett nationellt initiativ är Sveriges färdplan för sektorn som är framtagen av Fossilfritt Sverige med en styrgrupp bestående av deltagare från flertal parter. Utöver styrgruppen bestående av Sveriges Byggindustrier och Skanska, NCC och Chalmers Universitet m.fl. har flertal andra aktörer betonat ett stöd till målen uppsatta i Fossilfritt Sverige (Fossilfritt Sverige, 2018a). Färdplanen skall resultera i nettonollutsläpp av växthusgaser för bygg- och anläggningssektorn år 2045 med delmål som till viss del begränsar utsläppen från sektorn vid specifika årtal. Närmsta delmålet infaller år 2025, då utsläppen av växthusgaser skall visa en tydligt minskande trend inom sektorn och till år 2030 skall en minskning på 50 % uppnått jämfört med 2015. Sista definierade delmålet skall uppnås år 2040 med utsläppsminskningar på 75 % från sektorn (ibid).

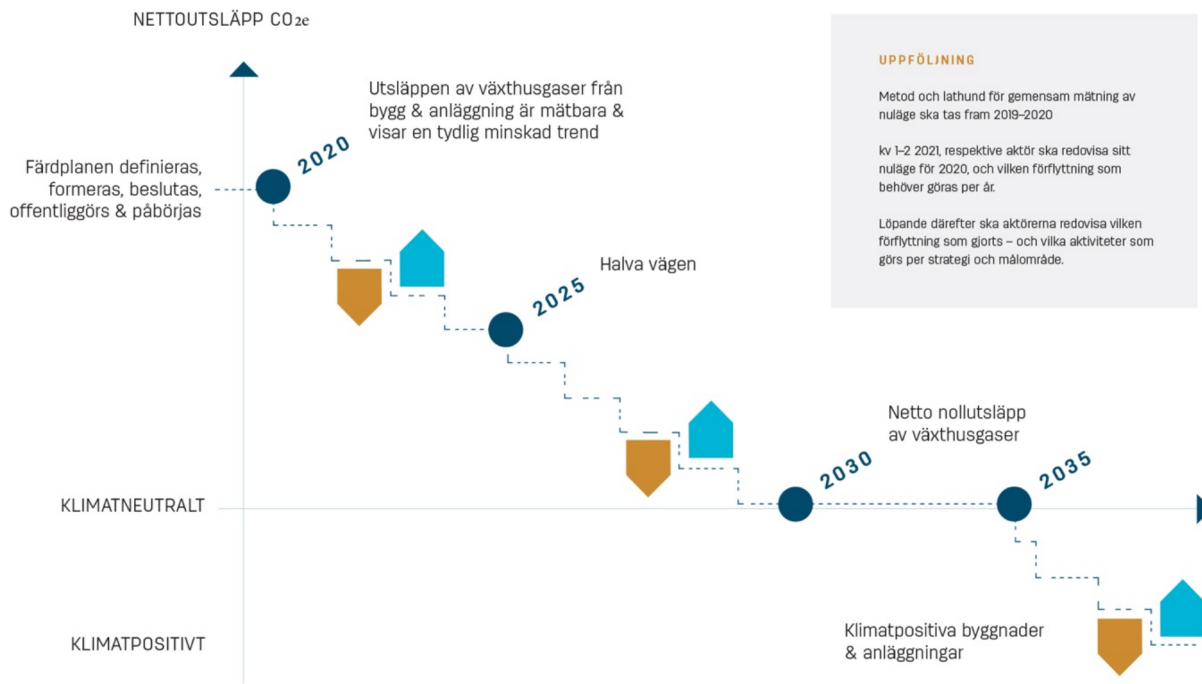
1.1.2 Lokal Färdplan Malmö 2030

Det finns flera lokala initiativ i landet. Malmö har det övergripande målet att vara Sveriges klimatsmartaste stad år 2030. Branschinitiativet Lokal Färdplan för Malmö 2030, förkortas LFM30, utgör grunden till Malmös klimatarbete inom bygg- och anläggningssektorn (LFM30, n.d.).

Inom LFM30 har mål och delmål formulerats och en färdplan tagits fram vilket figur 1.1 beskriver.

Redan till år 2025 ska anslutna aktörer halverat sin klimatpåverkan jämfört med år 2020. Anslutna byggherrar ska också ha påbörjat minst ett byggprojekt som ska bli klimatneutralt. År 2030 skall det övergripande målet om en klimatneutral bygg- och anläggningssektor i Malmö uppnått, med netto noll CO₂-utsläpp.

Slutligen till år 2035 skall sektorn vara klimatpositiv (LFM30, 2022a).



Figur 1.1: LFM30:s klimatlöfte per år, från 2020 till 2035 (LFM30, 2022b)

För att uppnå målen har LFM30 sex olika arbetsgrupper som organisationen är uppbyggd kring. Grupperna har i sin tur egna delmål och löften. Organisationen är medlemsdriven där arbetet bygger på deltagarnas egna initiativ tillsammans med övriga medlemmar där alla aktörer skall 1) ta sitt delansvar för sin omställning; 2) Bidra till arbetet kring färdplanen, utifrån sitt delansvar i byggprocessen, sina förutsättningar och annat aktören har rådighet över; 3) Stegvis implementera de övergripande målen och löftena inom de sex strategiområdena i sin egna verksamhet; 4) Vara transparenta, mäter, följer upp och kommunicerar löpande hur vi efterlever LFM30 (LFM30, n.d.).

Trots sin starka koppling till Malmö stad har systemet kommit att användas av flertal aktörer utanför Malmö. För ett lokalt miljöarbete har Regionfastigheter antagit LFM30 vilket följs över hela Regionens byggnader.

Aktörer anslutna till LFM30 skall skapa en klimatbudget för sina projekt i arbetet mot klimatneutralitet. Klimatbudgeten delas upp i fem steg. Arbetsmetoden beskrivs mer ingående i avsnitt 3.4.

1.1.3 Regionfastigheter

Regionfastigheter, en av Region Skånes förvaltningar, förvaltar närmare 1,2 miljon kvadratmeter egna fastigheter av typen sjukhusbyggnader, buss- och spårvagnsdepåer samt andra tillhörande byggnader. Regionfastigheter ansvarar även för all ny- och ombyggnation av Region Skåne lokaler. Flera stora satsningar genomförs inom hälso- och sjukvården samt infrastrukturen för kollektivtrafiken, för att möta framtidens behov (Region Skåne, 2022a). Det här examensarbetet görs i samarbete med Regionfastigheter. Om några år planeras uppförandet av ett nytt sjukhus i Östra Ramlösa, Helsingborg. Inför byggnationen av sjukhuset vill Regionfastigheter undersöka möjligheten att bygga ett klimatneutralt sjukhus utifrån de definitioner som finns idag, men även hur framtidens innovationer kan påverka arbetet mot klimatneutralitet.

För att få en inblick i Regionfastigheters utgångspunkter inför byggandet av det nya sjukhuset redogjorde Magnus Windblix, fastighetsdirektör för Regionfastigheter, hur idéerna kring ett klimatneutralt sjukhus uppkommit. Man betonar att projektering- och produktionsprocessen för ett sjukhus kan uppgå till tolv år innan det färdiga sjukhuset står klart för drift. Alltså måste man redan i planeringsstadiet beakta framtida krav och lösningar för att undvika att sjukhuset blir omodernt redan efter det uppförts. Regionfastigheter analyserar parallellt förutsättningar för ett helt klimatneutralt framtida sjukhus.

Regionfastigheter anslöt sig till initiativet LFM30 för att ta del av och dela med sig av kunskap om framtidens byggande med andra aktörer. Det fanns även en förväntan och ett tryck på att en aktör som Regionfastigheter skulle bidra till initiativet.

1.1.4 Miljöbyggnad och EU:s Taxonomi

Dagens krav från Regionfastigheter säger att sjukhuset i Ramlösa ska uppfylla kraven för Miljöbyggnad nivå silver i sin helhet och nivå guld inom området energi.

Miljöbyggnad är ett svenskt miljöcertifieringssystem för byggnader. Miljöbyggnad tilldelar olika nivåer för en byggnad enligt brons, silver eller guld beroende på ambitionsnivå. För att uppfylla brons räcker det med att uppnå lagkraven. Ska silver uppnås behöver byggnaden prestera bättre än lagkraven exempelvis inom ljudmiljön, ventilationen och solskyddet för att skapa en god vistelsemiljö.

Guld är en nivå för de mest ambitiösa projekten som ofta ska anses som "klimatsmarta eller miljövänliga". För nivå guld är kraven som ställs höga på byggnaden. Miljöbyggnad som

certifieringssystem klassar tre olika områden; Energi, Innemiljö och Material för att säkerställa arbetet mot en klimatsmartare byggnad (SGBC, n.d. b).

Regionfastigheter har även som mål att uppfylla EU:s taxonomi. För att underlätta hållbara investeringar har EU:s taxonomi tagits fram. Utöver att skapa ett “gemensamt språk och en klar definition” för vad hållbarhet är har taxonomin ett klassificeringssystem för miljömässigt hållbara investeringar som kan användas för att identifiera och jämföra. Genom det här skapas en god grund som kan leda investerare mot mer hållbara projekt och verksamheter (EU, n.d.).

Under slutet av 2022 kommer Miljöbyggnad 4.0 lanseras vilket är nästa generation manualer för certifieringen. I den nya versionen kommer Miljöbyggnad att ha uppdaterat kraven för att omfatta kraven som ställs i EU:s gröna taxonomi. Genom att byggnationen uppfyller miljöbyggnads krav bör sjukhuset även uppfylla kraven för EU:s taxonomi (SGBC, n.d. c).

1.2 Syfte och frågeställning

Examensarbetet undersöker vilka möjligheter det finns för att bygga ett klimatneutralt sjukhus idag och vilka innovationer som krävs för att bygga ett klimatneutralt sjukhus i de fall det inte är möjligt med dagens material och teknik.

Följande frågeställningar har formulerats:

- Vilka rekommendationer från MSB påverkar ett klimatneutralt sjukhus?
- Vilka följder får LFM30:s metod på ett klimatneutralt sjukhus?
- Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus idag?
 - Vilka innovationer kommer förverkliga/förenkla detta i framtiden?

1.4 Avgränsningar

Följande avgränsningar har gjorts i arbetet:

- Examensarbete beaktar enbart några delar från MSB vilket anses kunna påverka arbetet mot klimatneutralitet, enligt vad som diskuterats och för de avgränsningar som är gjorda. Beaktade delar är brandskydd kring material och konstruktion, brandskydd kring solceller och sjukhusets krav på en stabil energikälla.
- Enbart material och uppförandet av själva byggnaden har studerats, med utgångspunkt från ovan sagda. Sjukhusverksamhetens klimatpåverkan tar arbetet inte hänsyn till.
- Fallstudien fokuserar på material med hög klimatpåverkan såsom betong och stål. Detta är en förenkling jämför med att titta på alla materialtyper. Fallstudien är inte en fullständig klimatberäkning på referensfallet.

2 Metod

2.1 Tillvägagångssätt

Arbetet har sin grund i en projektannons på Sustainalink. Sustainalink är en ideell förening där studenter kan söka projekt exempelvis examensarbeten, kursprojekt eller praktik. Företagen bakom projekten annonserar ut via Sustainalink och studenter kan sedan ansöka. Regionfastigheter publicerade annonsen om “Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus” och efter ansökan skedde två möten, första med kontaktperson på Sustainalink följt av ett med Regionfastigheter.

Projektet började med en inläsningsperiod av litteratur kopplat till området. Samtidigt hölls regelbundna möten med handledare på Regionfastigheter för frågor och vägledning. Litteraturen bestod av vetenskapliga artiklar, lag- och regeldokument samt dokument kopplade till arbetsmetoder inom området från relevanta organisationer.

Utöver litteraturen arbetades det även med att få fram ett referensfall som skulle användas vid en fallstudie. Vårdbyggnad 35 i Nya Sjukhusområdet i Malmö ansågs vara ett relevant referensfall eftersom det är en av de modernaste sjukhusbyggnader under konstruktion som Regionfastigheter har. För att få korrekt data för fallstudien kontaktades Skanska, som ansvarat för vårdbyggnad 35:s uppförande. Samtidigt som mailkontakt skett med Skanska började arbetet på den teoretiska delen av rapporten.

Från Skanska erhöles en preliminär anbuds kalkyl med data över klimatpåverkan uppdelat efter material för vårdbyggnad 35. Tillsammans med erhållna mängder skapades tre fall utifrån kalkylen där utbytta material hämtades från OneClick LCA.

Slutligen diskuterades resultat från fallstudien tillsammans med teorin från litteraturstudien.

2.2 Litteraturstudie

Under inläsningsskedet var vetenskapliga artiklar och rapporter det primära fokuset. Sökmotorer för att hitta litteratur inom området bestod av Lunds Universitets LUBsearch och Google Scholar. De ämnen som ansågs relevanta användes som nyckelord vid sökning. Använda nyckelord beskrivs i slutet av avsnittet.

Förutom vetenskapliga artiklar studerades regelverk i samband med klimatneutralitet och lagstadgade klimatkrav samt mål, kraven som ställs på ett sjukhus och slutligen litteratur om material. Framtagna färdplaner för klimatneutralitet inom sektorer som bygg- och anläggningssektorn, betongindustrin och även stålindustrin ingick i litteraturstudien.

För att hitta relevant litteratur har följande nyckelord använts:

- Klimatneutralitet
 - Klimatneutrala byggnader
 - Netto-noll byggnader
 - Färdplaner för klimatneutralitet
- Klimatkompensation
 - CCS, CCU och Bio-CCS
- Hållbarhet
- Gröna sjukhus
- Materials klimatpåverkan
 - Betong
 - Karbonatisering
 - Järn och Stål
 - Tillverkningsprocesser
 - Återvinning och återbruk

2.2.1 Källkritik

Arbetet bygger mycket på dokument från Regering och myndigheter och organisationer samt företag som arbetar inom byggsektorn med inriktning att reducera påverkan på klimatet.

Övrig litteratur har konsekvent valts från forskare inom området eller närliggande områden.

För en god källkritik skall litteraturen studeras med ett kritisk förhållande mot dokumentet. När och var dokumentet tillkommit och varför det tillkommit är viktiga delar i ett inledande arbete mot källkritik. Utöver skall även skribenten själv studeras, vem har skrivit och vilken relation har hen till ämnet (Patel & Davidson, 2011).

Utöver att hålla en kritisk syn mot dokumentet och skribenten skall även använda källor i arbetet studeras. I största utsträckning har primärkällor använts för att undvika sekundärkällor. Om primärkällan inte hittats har sekundärkällor använts.

Strävan mot användning av primärkällor följer Nyberg och Tidströms (2012) beskrivning av att primärkällan ska i första hand användas för att söka sanningen och andrahandskällor ska undvikas i den utsträckning det går.

2.3 Fallstudie

För att få en förståelse om det är möjligt att bygga ett klimatneutralt sjukhus med dagens teknik skall en fallstudie göras på vårdbyggnad 35 i Nya Sjukhusområdet i Malmö.

Fallstudien görs enligt en kvantitativ ansats. I fallstudien förekommer det mängder, vikt och antal; frågorna som ska besvaras är av typen hur mycket eller hur stor och svaren kan ges som mätvärden (Nyberg & Tidström, 2012).

Vid genomförandet av fallstudien erhöles data från Skanska i form av en preliminär anbuds kalkyl med information om klimatpåverkan uppdelat efter material och materialmängd. Anbudskalkylen tog enbart hänsyn till sju av våningarna av vårdbyggnad 35. Utöver Skanskas anbuds kalkyl hämtas data för Atemp och driftenergi för vårdbyggnad 35 från energiberäkningsuppgifterna givna av AFRY.

Tre olika fall skapades baserat på anbuds kalkylen och materialmängder: ett grundfall vilket helt baserades på anbuds kalkylen, ett fall med konventionella material och ett fall med klimatförbättrade material. De konventionella och klimatförbättrade materialen hämtades från OneClick LCA:s databas.

3 Teori

3.1 Klimatneutralitet

För att uppnå målen som är satta i Parisavtalet och Sveriges egna mål om noll nettoutsläpp av växthusgaser i atmosfären år 2045 behövs det arbetas mot klimatneutralitet.

FN:s klimatkonvention som klimatneutralitet som ett nettonollutsläpp av växthusgaser genom att neutralisera utsläppen med hjälp av klimatåtgärder. (UNFCCC, 2021). Hur nettonollutsläpp ska uppnås genom klimatåtgärder kan skilja sig åt beroende på vilka klimatåtgärder som anses vara tillåtna enligt den metod som följs.

Klimatneutralitet kan betecknas med andra termer som Paris-kompatibel eller koldioxid neutralt (Lütkendorf & Frischknecht, 2020). Men oavsett vilken term eller vilken definition och metod som används är alla ett arbete mot att minska klimatpåverkan från utsläpp av växthusgaser.

Byggnation idag bidrar i olika faser av projektet med utsläpp av växthusgaser och kommer därmed alltid ha någon form av klimatpåverkan. Då projektet bidrar med utsläpp av växthusgaser är det inte möjligt att bygga utan klimatpåverkan än idag. För att nå ett netto noll av utsläpp krävs någon form av klimatåtgärd (Lütkendorf & Frischknecht, 2020).

Flera initiativ och metoder finns för klimatneutralitet inom byggsektorn men arbetet börjar vanligen med en LCA som utarbetas under projekteringsstadiet. LCA beskrivs på mer detalj i avsnitt 3.3.

Då Regionfastigheter är medlem i initiativet LFM30 utgår arbetet mot klimatneutralitet till största del utifrån LFM30:s sätt att se på just arbetet mot klimatneutralitet.

För att visa att det finns skillnader och likheter mellan olika metoder kring arbetet mot klimatneutralitet görs en kort jämförelse nedan mellan ZEB, NollCO₂ och LFM30.

Jämförelsen görs för att poängtera att LFM30:s metodik inte behöver vara det korrekta tillvägagångssättet att arbeta mot klimatneutralitet.

Enligt ZEB är en byggnad klimatneutral när den kan kompensera sin egen klimatpåverkan genom att producera motsvarande mängd förnyelsebar energi. ZEB har formulerat flera ambitionsnivåer i arbetet mot klimatsmarta byggnader. Ambitionsnivån ZEB-COMPLETE

används för att beräkna den fullständiga klimatpåverkan från byggnadens livscykel som sedan återbetalas genom förnyelsebar energi (ZEB, n.d.).

ZEB anser att man ska använda sig av klimatsmarta materialval, men har i nuläget inga gränsvärden för byggnadsskedet (ZEB, 2016). Det kan jämföras med LFM30 som har formulerat gränsvärden för flerbostadshus, småbostadshus och lokal samt parkeringshus (LFM30, 2022c).

Ett annat verktyg är NollCO₂ som är en påbyggnadscertifiering från LEED, Svanen, Miljöbyggnad och BREEAM-SE och används för att uppnå netto-noll klimatpåverkan för en byggnad. För NollCO₂ ska växthusgasutsläppen från en byggnad minimeras och klara en viss minskning vid jämförelse av liknande byggnader. Återstående utsläpp skall hanteras med hjälp av förnybar elproduktion, energieffektivisering och klimatkompensering (SGBC, n.d. a).

En skillnad mellan NollCO₂ och LFM30:s arbete mot klimatneutralitet vid klimatåtgärder och återbetalning. NollCO₂ tillåter sig köp av klimatkrediter (SGBC, 2020), vilket inte är tillåtet enligt LFM30 vid återbetalning av växthusgasutsläppen (LFM30, 2022c)

Precis som Lützkendorf & Frischknecht understryker NollCO₂ att det idag inte går att uppföra en byggnad utan klimatpåverkan, för att byggnaden skall bli klimatneutral måste utsläppen kompenseras (SGBC, n.d. a).

Som ovan visar finns det skillnader och likheter mellan vilken metod eller organisation som eftersträvas och därmed vilken väg som är tillåten att gå för att få kalla sitt projekt eller sin byggnad för klimatneutral för den valda metoden. Att det finns flera metoder och termer är något som enligt Lützkendorf & Frischknecht (2020) menar kan skapa förvirring kring definitionen klimatneutralt.

LFM30 följer Fossilfritt Sveriges definition av klimatneutralitet för bygg- och anläggningssektorn (LFM30, n.d.). Se klimatneutralitet under begrepp för definition.

3.2 Den robusta sjukhusbyggnaden

Sjukhus är inte vilka lokaler som helst. Sjukhus är komplexa byggnader som har en viktig samhällsnytta och krävs för att vi ska möjligheten att behandla och vårda de som är i behov. I Den robusta sjukhusbyggnaden (2021), framtagen av MSB i nära samverkan med Socialstyrelsen och Sveriges Kommuner och Regioner, beskrivs beaktanden och metoder för att uppnå en välfungerande sjukhusmiljö. Det betonas att skriften är rekommendationer för att uppnå robusta sjukhus och därmed är det inga särskilda krav.

För driften av ett sjukhus behövs värme. Enligt MSB är det ventilationen som påverkas först vid ett värmeavbrott som inträffar vid kall väderlek, då ventilationen är beroende av tillskottsvärme för att fungera. Fungerar inte ventilationen så får det negativ effekt på operations-salar, isoleringsrum och steriltförråd. Liknande gäller det med den kyla som behövs till sjukhuskomplexet. Behovet av att kyla ner instrument som röntgenutrustning, UPS-utrustning och serverhallar kan vara tidskritiskt. Oavsett om det är kylning eller värme som behövs ställs det krav på sjukhuskomplexet och dess energikälla att risken för avbrott har minimerats. Om ett eventuellt avbrott inträffar skall en hanteringsplan/krisplan finnas (ibid).

Vårt samhälle måste fungera oavsett störningar som olyckor, kriser eller krig. För att säkerställa ett väl fungerande sjukhus ger rapporten Den robusta sjukhusbyggnaden vägledning kring driftsäkerhet och hur planering kan göras vid allt från skydd mot antagonistiska angrepp till hur elförsörjning kan planeras.

3.2.1 Material och konstruktion

En sjukhusbyggnad skall till viss del fungera vid brand eller skydda patienter vid väntan på utrymning eller vid utrymning. För det här krävs ett väl fungerande brandskydd installerat som förhindrar bränder samt avskärmar vid eldsvåda. Brandskydd och arbetet kring brandskydd regleras av ett flertal olika laga, föreskrifter och förordningar. Några lagar som påverkar hur brandskyddet utformas i sjukhus är Lagen om skydd mot olyckor, Lagen om brandfarliga och explosiva varor, samt plan- och bygglagen (MSB, 2021).

BBR delar upp utrymmen i byggnader i olika verksamhetsklasser enligt kategorier som påverkar hur hållfastheten skall utformas. MSB:s rapport vänder sig till sjukhus med verksamhetsklass 5C (ibid). De sjukhuslokaler som kan kategoriseras till 5C är där det

bedrivs sjukvård och personer som är begränsade eller som inte har någon möjlighet att ta sig i säkerhet på egen hand vistas (Boverket, 2020).

Enligt boverkets byggregler ska byggnader även delas in i byggnadsklasser. Beroende på utformningen av sjukhuset kan byggnaden tillhöra byggnadsklasser Br0, Br1 eller Br2, i regel klassas sjukhus som Br0. Mindre sjukhusbyggnader med två våningsplan kan klassificeras som Br1 och Br2 om de endast har ett våningsplan (MSB, 2021).

De regler och föreskrifter som gäller ska följas och därmed kan det begränsa vad för val och metoder som får användas vid byggnationen.

MSB menar även att välbeprövade metoder och byggnadsmaterial ska i första hand användas för att säkerställa en robust och säker konstruktion (ibid).

Den robusta sjukhusbyggnaden nämner att sjukhus bör byggas med enkla konstruktionslösningar. Samtidigt rekommenderar MSB obrännbara material i bärande konstruktioner för just brandrisken (MSB, 2021). Träguiden skriver att användningen av trä vid byggnation inte behöver öka brandrisken jämför med andra byggnadsmaterial (Träguiden, 2021).

En sjukhusmiljö skall beaktas som läkande och trivsamt, vilket ska reflekteras i ytterfasader, inre material och beklädnad. Men här kan det förekomma en målkonflikt emot brandskyddet. I delar som ytterväggar, isolering och yttertak rekommenderar MSB att undvika brännbart material precis som vid bärande strukturer.

Fasader rekommenderas även att konstrueras på ett sätt så de inte blir brandtekniskt komplicerade. Bland annat gäller detta för att underlätta för räddningstjänsten och deras släcknings- eller utrymningsarbete.

3.2.2 Solceller och solfångare

I MSB:s Rapport (2021) tas användandet av solceller upp under Brandskydd.

Rekommendationer som ges är att undvika solceller på byggnader med kritisk verksamhet. Solceller kan öka risken för brand, de är även strömförande vilket medför risker för eventuell räddningspersonal.

Solceller monterade på fasaden kan, enligt MSB, medföra risk för skorstenseffekt vid en brand, exempelvis ett snabbare brandförlopp vid en fasadbrand i mellanrummet mellan fasad och solpaneler. Panelerna riskerar också att falla ned vid brandpåverkan (ibid).

MSB baserar besluten angående solceller på Brandskyddsföreningens rapport: "Brandforsk - Innovativa elsystem i byggnader". I rapporten tas det upp brandfall kopplade till solceller, bland annat i USA, Danmark och Storbritannien, men även Sverige (Brandforsk, 2019).

Brandriskerna som nämns är:

- Uppkomst av brand i solcellsinstallationer, vilket kan ske i någon av de elektriska komponenterna antingen internt i solcellen eller externt i exempelvis växelriktaren.
- Brandspridning i solcellsinstallationer, vanligen antändning i det brännbara materialet som förekommer i solcellen vilket också kan bidra till spridning till närliggande material, beroende på hur solpanelen är monterad.
- Räddningstjänstens åtkomlighet kan försämrats genom att vid brand kan räddningspersonalen utsättas för elchockar och paneler som riskerar att falla ner från fasaden. Takinstallerade solceller kan även leda till risker som halka och fall, samt elektriska ljusbågar.

Som nämnts rekommenderar MSB inte montering av solceller på sjukhusbyggnader där patientvård bedrivs, men rapporten föreslår i stället att montering av solceller görs på icke kritiska delar på ett sjukhus, som exempel ges administrativa byggnader eller över parkeringsplatsen som alternativ för en solcellsanläggning kopplat till ett sjukhus. MSB nämner inget angående montering av solfångare, annat än att det redan förekommer på några sjukhus (MSB, 2021).

3.2.3 Vikten av en stabil energikälla

Idag förekommer förnybara energianläggningar som hjälper till att försörja sjukhus med energi. Exempelvis har Skaraborgs sjukhus i Skövde anlagt en solcellspark ovanför tillhörande parkering. Den anlagda solcellsparken producerar halva sjukhusets baslast under en solig sommardag (MSB, 2021).

Tekniken som finns tillgänglig idag för att producera egen förnybar energi, samt lagringsenheter till energin är inte tillräckligt utvecklad för att förse ett helt sjukhus med enbart egenproducerad el. MSB menar dock att på längre sikt skulle större installationer av egna produktions- och lagringsenheter kunna bidra till att minska sjukhusen beroende av yttre elförsörjning (MSB, 2021).

3.3 LCA för en byggnad

Vid en beräkning av miljöpåverkan från ett projekt eller en produkt brukar en metod kallad livscykelanalys användas.

Enligt Svensk Standard, baserad på ISO definieras LCA som “en sammanställning och utvärdering av inflöden, utflöden och den potentiella miljöpåverkan för ett produktsystem under dess livscykel” (SIS, 2006). På liknande sätt beskriver Boverket en LCA som en metod för att beräkna miljöpåverkan under hela produktens livscykel (Boverket, 2019a).

Generellt innehåller en LCA-studie för ett projekt eller produkt fyra olika faser: 1) Definition av mål och omfattning; 2) Inventeringsanalys; 3) Miljöpåverkansbedömning; och 4) Tolkning.

En LCA kan vara till användning för:

- Att hitta andra möjliga produkter och lösningar som skulle kunna minska miljöpåverkan vid en produkts livscykel
- Vid ansökan till miljömärkningssystem som kan användas vid marknadsföring av ett projekt eller en produkt. En LCA analys kan även användas för att stärka ett miljöuttalande eller underlätta vid framtagning av miljövarudeklarationer.
- Att underlätta beslut kring vilka mätmetoder och indikatorer för miljöprestanda som skall användas.
- En LCA analys kan underlätta vid fattande av beslut genom att ge information som kan underlätta vid planering, prioritering eller utveckling av en produkt (SIS, 2006).

Hur en LCA skall framställas för en byggnad beskrivs i standarden EN 15987. Byggprojektet delas upp i fyra faser som i sin tur är uppdelade i egna kategorier, se figur 3.1.

Kategori A behandlar byggskedet där A1 till A3 behandlar produktskedet och A4 samt A5 är byggproduktion. Användningsskedet behandlas under kategori B och C berör slutskedet för byggnaden. Slutligen är kategori D övriga klimatpåverkande aktiviteter (SIS, 2011).

Figur 3.1: Beskrivning av byggstenarna för en LCA. Författarnas egen figur modifierad från Boverket (2019a).

Byggnadens livscykelinformation

A1 - 5 Byggskede
A1 - 3 Produktskede
A1 Råvaruförsörjning
A2 Transport
A3 Tillverkning
A4 - 5 Byggproduktionsskede
A4 Transport
A5 Bygg- och installatinsprocessen

B1 - 7 Användningsskede
B1 Användning
B2 Underhåll
B3 Repatation
B4 Utbyte
B5 Ombyggnad
B6 Driftsenergi
B7 Driftens vattenavvändning

C1 - 4 Slutskede
C1 Demontering, rivning
C2 Transport
C3 Restproduktsbehandling
C4 Bortskaffning

Kompletterande information

D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen
--

Nedan beskrivs varje fas med sina underkategorier, uppdelat enligt figur 3.1 och utifrån standarden EN 15978 (SIS, 2011):

A1-A3 Produktskede:

I produktskedet ingår råvaruförsörjning, transport till fabrik och tillverkning av en produkt som skall användas vid uppförandet av byggnaden, exempelvis prefabricerade element eller torrbruk för betong. EN 15978 använder sig av begreppet "vagga till grind", med vilket menas att produktens miljöpåverkan analyseras från utvinning av råmaterial fram tills produkten lämnar fabriksgrindarna.

A4-A5 Byggproduktionsskede:

Byggprocessen omfattar processerna från fabriksporten där produktskedet avslutas till byggnadsarbetet är praktiskt slutfört.

B1-B7 Användningsskede:

Från att byggnadsarbetet avslutats börjar perioden för användningsskedet som pågår tills byggnaden skall rivas. Enligt EN 15978 inkluderas användning, underhåll, reparationer och utbyten eller ombyggnad samt driftenergin och vattenanvändning i användningsskedet. Standarden tar upp ett flertal exempel, några av dem är byggnadstjänster i form av värme, kyla och scenarier för underhåll inklusive rengöring, drift. Byggnadsrelaterade möbler och inredning skall inkluderas i det här skedet.

C1-C4 Slutskede:

Under slutskedet sker ett avvecklande av byggnaden där demonteringen, restproduktsbehandling och transporter är inkluderade (SIS, 2011).

Boverket definierar slutskedet som processer vilka omfattar rivning och frakt till återanvändning, återvinning eller deponering av byggnadsdelar när byggnaden har nått slutet på sin livslängd (Boverket, 2019a).

D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen:

Den slutliga fasen beaktar övriga klimatpåverkande aktiviteter och resurser som inte behandlats i stadierna A-C.

Bland annat kan tillgodoräknande av återanvändning och återvinning av komponenter och material vid rivning vara den delen av fasen (SIS, 2011).

Även om det finns standarder som definierar vad som ska beaktas i varje del av en LCA för en byggnad, så använder sig organisationer och företag av olika beräkningsmetoder där vissa delar av LCA:n i ett projekt inte behandlas (Boverket, 2019b).

Boverket menar att det är viktigt att avgränsa vilka processer som ska ingå i livscykeln, då målet ska vara att göra det möjligt att följa projektet från råvaror i natur till att de inte används längre efter rivning. Vidare påpekar Boverket att det är viktigt att få med faserna A1-A3 och B6, men att även ha med A4, B4 och B2 i beräkningen är att föredra (Boverket, 2019c).

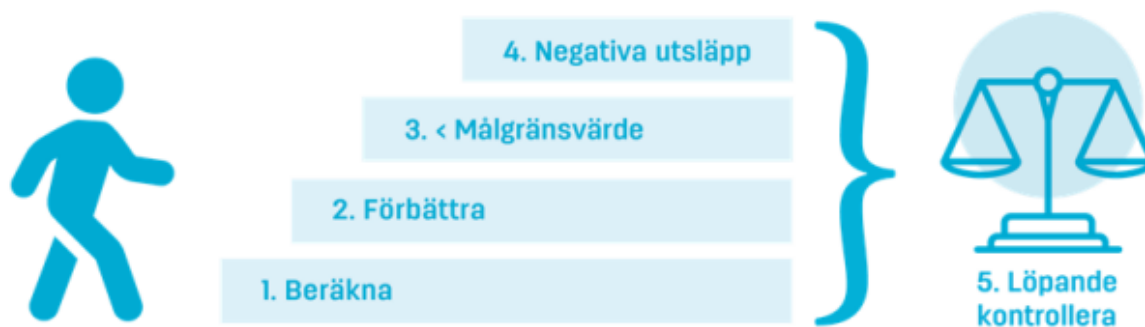
Boverket tillämpar allmänt accepterade beräkningsregler vid sin LCA metodik.

Beräkningsreglerna lyder enligt EN 15804 och EN 15978. LFM30 baserar sin LCA-metodik likt Boverket på dessa standarder (LFM30, 2022c).

3.4 LFM30 metod för klimatbudget

LFM30 använder sig av en metod i fem steg som resulterar i en klimatbudget för fastighet- eller anläggningsarbetet. Stegen som nämns 1) Beräkna; 2) Förbättra; 3) Målgränsvärde; 4) Negativa utsläpp; och slutligen 5) Löpande kontrollera.

Metoden för klimatbudget beskrivs i ett flertal dokument som uppdateras löpande av inblandade arbetsgrupper. Nedan förklaras LFM30:s metod och jämförs med Boverkets krav.



Figur 3.2: LFM30:s Metod för klimatbudget steg 1–5 (LFM30, 2022c)

Steg 1 i LFM30:s metod kan jämföras med det lagstadgade kravet på en klimatdeklaration vilket redovisar en byggnad eller ett projekts klimatpåverkan vid dess upprättande. Sen första januari 2022 är det enligt svenskt lagkrav på att upprätta en klimatdeklaration. Resterande steg, 2 till 5, motsvarar inte några upprättade lagar men aktörer anslutna till LFM30 är

tvungna att mäta, redovisa och kommunicera i enhetlighet med alla fem stegen (LFM30, 2022c).

3.4.1 Steg 1: Beräkna

För produktskedet (A1-A5) enligt en LCA beräkning upprättar LFM30 en klimatbudget som förhåller sig till Boverkets anvisningar och klimatdeklarationer som blev lag vid årsskiftet 2022. I första hand ska beräkningarna i klimatbudgeten baseras på specifik klimatdata som till exempel EPD:er. Är det inte möjligt att använda specifik klimatdata används i stället representativa värden för material, vilket är medelvärden från leverantörer på den svenska marknaden (LFM30, 2022d). Boverket använder sig av konservativa värden för material vilket motsvarar cirka 25 % högre klimatpåverkan jämfört med genomsnittet för att få aktörer att använda sig av specifika typvärden för byggprodukten (Boverket, 2021b).

Vid upprättande av en klimatdeklaration har boverket som krav att bärande byggnadsdelar, icke-bärande innerväggar, samt byggnadens klimatskärm ska vara medräknade i klimatdeklarationen (Boverket, 2022). LFM30 menar att alla byggnadsdelar ska innefattas i beräkningen, där de delar som inte innefattas av lagkrav får och kan beräknas med schablon (LFM30, 2022c).

Klimatpåverkan från återbrukade produkter kommer enbart från transport från lagerplats samt eventuell bearbetnings- eller uppgraderingsarbete som utförs. Tidigare klimatpåverkan från rivning och transport till förvar sätt som 0 CO_{2e} (LFM30, 2022d).

3.4.2 Steg 2: Förbättra

Steg 2 innefattar att förbättra nuläget enligt steg 1 genom att jämföra och analysera alternativ med likvärdiga funktionskrav. Steg 2 genomförs för att utforska vilka alternativa lösningar och möjligheter som finns för att komma under ett branschgemensamt målgränsvärde för projektet, vilket skulle motsvara steg 3 i LFM30 metodiken (LFM30, 2022c).

3.4.3 Steg 3: Målgränsvärde

Efter fastställda och utvalda metoder enligt steg 2 börjar arbetet med klimatförbättring för att nå ett visst målgränsvärde. LFM30 har upprättat målgränsvärden för byggskedet (A1-A5) och för värmeförlust samt solvärmelast, vilket påverkar driftenergin (B6). Värmeförlusten ska

uppfyllas enligt FEBY medans solvärmelast uppfylls enligt Miljöbyggnad, kravet är silvernivå för båda.

Boverket håller på att upprätta egna målgränsvärden, men dessa träder inte i kraft förrän 2027. Målgränsvärdena som Boverket tänkt använda sig av kommer användas för att fasa ut "sämst i klassen lösningar", medan LFM30 har utformat sina målgränsvärden så att bästa möjliga teknik till en rimlig kostnad används: "BATNEEC" (LFM30, 2022c).

I första hand ska enligt LFM30 fastställda målgränsvärden för ett projekt uppfyllas. I fall där fastställt målgränsvärde saknas behöver ett nytt målgränsvärde formuleras eller eventuellt någon form av mini-målgränsvärde för till exempel ett byggnadsverk eller byggdel. Där varken målgränsvärde eller mini-målgränsvärde är applicerbart används bästa klimatval. Oavsett om målgränsvärden, mini-målgränsvärden eller bästa klimatval används i projektet ska de ha utformats efter "BATNEEC"-principen (ibid).

LFM30:s redan formulerade målgränsvärden för A1-A5 i en LCA analys skiljer sig åt beroende på vilken byggnadstyp som eftersträvas i projektet. För lokaler är målgränsvärdet $270 \text{ CO}_{2e} / \text{ljus BTA m}^2$; för flerbostadshus $216 \text{ CO}_{2e} / \text{ljus BTA m}^2$ och för småhus samt p-hus är målgränsvärdet satt till 171 och $170 \text{ CO}_{2e} / \text{ljus BTA m}^2$. Enheten för målgränsvärden som används är $\text{CO}_{2e} / \text{ljus BTA m}^2$ eller $\text{CO}_{2e} / A_{\text{temp}}$ (ibid).

Värmeförlusttalet summerar värmeförluster som sker via transmission, ventilation och luftläckage i en byggnad. För att uppnå FEBY:s silvernivå ska värmeförlusttalet vara lägre än $19 \text{ W/m}^2 A_{\text{temp}}$.

Genom användningen av ett krav på värmeförlusttalet tvingas energimedvetenhet in tidigt i projektet och därmed bidra till en mer energieffektiv byggnad (FEBY, n.d.).

Indikatorn för Solvärmelast inom Miljöbyggnad skall uppnå nivå Silver enligt LFM30:s steg 3. Solvärmelast innefattar den solvärme som tar sig in genom fönster och värmer upp insidan av byggnaden. Solvärmelasttalet mäts i W/m^2 golvarea under sommarhalvåret enligt Miljöbyggnad. För att uppnå nivå silver får solvärmelasttalet vara högst 32 W/m^2 för lokaler (SGBC, 2020).

3.4.4 Steg 4: Negativa utsläpp

Klimatkompensation förekommer i flera varierande metoder men alla strävar mot samma resultat: reducera eller återbetala de växthusgasutsläpp som produkten i fråga har genererat. Klimatkompensation definieras i ISO 14021/A1:2012 som:

“Mekanism för att kompensera för en produkts klimatavtryck (carbon footprint) genom förebyggande av utsläpp, minskning eller avlägsnande av motsvarande mängd utsläpp av växthusgaser i en process utanför produktsystemets gränser (SIS, 2012).”

Vilka metoder som används för att klimatkompensera är kopplat till regler eller certifieringssystem som produkten måste uppfylla. Vanligt förekommande åtgärder är exempelvis att köpa klimatkompensation, skogsplantering, skogsbevarandeåtgärder eller försäljning av förnyelsebar energiproduktion.

LFM30 väljer att använda ordet återbetalning i stället för klimatkompensation, för att inte skapa förvirring då deras metod skiljer sig till viss del från andra system.

Enligt LFM30 kan återbetalning delas upp på två typer; negativa utsläpp och förebyggande av utsläpp (LFM30, 2022c).

Definitionen som ges för negativa utsläpp är att åtgärden som utförs skall permanent avlägsna CO_{2e} från atmosfären. CO_{2e}-skulden minskar vid negativa utsläpp, en återbetalning görs. Om CO_{2e}-skulden varken minskar eller ökar faller det då under förebyggande av utsläpp (ibid).

Klimatkompensationen skall också följa två riktlinjer under LFM30: 1) Minst 50 % av återbetalningen ska bestå av negativa utsläpp, som är långsiktigt trovärdiga. 2) Minst 50 % av återbetalningen skall uppnåtts senast innan överlämnandet av den färdiga byggnaden (ibid). Från de tidigare beskrivna steg i klimatbudgeten, steg 1 till steg 3, kan en återbetalningsplan upprättas vilket ligger till grund för utformningen av kompensationsarbetet.

De negativa utsläppen förekommer enligt tre alternativ, se tabell 3.1.

N1: Återbetalning via Byggnadsverket syftar exempelvis på kollagring i byggnadsmaterial och biokol under fastigheten. Byggherren har fullt förfogande för dessa åtgärder och en god möjlighet för långsiktig kontroll.

N2: Bredvid byggnadsverket har byggherren direkt förfogande över men inte nödvändigtvis den långsiktiga fulla kontrollen över. Exempel på åtgärder bredvid byggnaden är plantering

av träd och buskar, biokol under marken geografiskt nära till fastigheten och karbonatisering, se avsnitt 4.1.2 för karbonatiseringförloppet.

Att byggherren inte har en långsiktig full kontroll över åtgärderna har exempelvis med hur klimatet påverkar planterade träd och buskar eller karbonatiseringens förlopp.

Den slutliga negativa utsläppskategorin är **N3: Externt köp** vilket sträcker sig enbart till köp av kolsänka och köp av Bio-ccs. En köpt kolsänka kan till exempel vara biokol som plogas ner i åkermark (ibid).

LFM30 har fyra kriterier på externa köp: 1) Att fysiska växthusgaser skall avlägsnas från atmosfären 2) Permanent lagring för de avlägsnade växthusgaserna utanför atmosfären. 3) Utsläppsbalansen för en extern källa skall ta hänsyn till de utsläpp som borttagnings- och lagrings processer bidrar till. 4) En större mängd växthusgaser avlägsnas än den totala som släpps ut (LFM30, 2022d).

Vid LCA-analyser talar man ofta om uppströms och nedströms. Uppströms beskriver all energianvändning och utsläpp av växthusgaser som sker vid brytning av råvaror, förädling av råvarorna till byggnadsmaterial, alla transporter fram till byggarbetsplatsen samt energianvändningen på arbetsplatsen fram till färdigt hus.

Tabell 3.1: LFM30:s återbetalningsplan sker primärt via negativa utsläpp (LFM30, 2022d)

Primärt val (minst 50%)						
N. Negativa utsläpp (-CO ₂ e)						
N 1. Byggnadsverket		N 2. Brevid byggnadsverket			N 3. Externt köp	
N 1.1	N 1.2	N 2.1	N 2.2	N 2.3	N 3.1	N 3.2
Byggmaterial	Bio-kol under byggnad/anläggning	Bio-kol under mark i egna fastigheter, eller annars om geografiskt nära.	Träd, buskar, biokol vid yta.	Karbonatisering	Externt köp av kolsänka	Externt köp av bio-ccs
Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier

Koldioxidavskiljning och lagring (Carbon Capture and Storage, CCS) är en metod som resulterar i permanent lagrat koldioxid i geologiska formationer flertal kilometer under havsbotten. Målet är att den komprimerade koldioxiden så småningom skall omvandlas till sten (Energimyndigheten, 2021a). Avskiljningen kan delas in i flera metoder och även transport samt lagring kan variera. CCS och CCU (Carbon Capture and Utilization) beskrivs i avsnitt 4.1.1.

När koldioxiden har sitt ursprung i organiskt material får avskiljningen benämningen Bio-ccs eller BECCS. Materialet kan bestå av skogsrester, träflis eller biogas som förbränns i exempelvis en värmeanläggning där koldioxiden fångas upp från rökgaserna (Energimyndigheten, 2022a).

Ett statligt stöd för bio-ccs anläggningar kommer i slutet av år 2022 finnas som möjlighet för aktörer. Först år 2025 beräknas det möjligt att inleda lagringsprocessen (Energimyndigheten, 2022b). LFM30 tillåter i dagsläget bio-ccs avtal som realiserar inom fem år som negativt utsläpp (LFM30, 2022c).

Förebyggande av utsläpp är enbart en sekundär återbetalningsmetod och handel inom EU:s Emissions Trading System med utsläppsrätter eller klimatkompensation via skogsprojekt är inte godkänt.

LFM30 är i enhetlighet med NollCO₂ och dess kriterier angående förebyggande av nya CO₂ utsläpp. De alternativ som godkänns inom förebyggande av utsläpp är: F1.1) Förnybar energi, F1.2) Energieffektivisering, F1.3) Förebygga CO_{2e} gaser (ex. metan, lust, industriutsläpp), F1.4) Carbon Capture and Storage och slutligen F1.5) Carbon Capture and Usage (LFM30, 2022d).

Tabell 3.2: LFM30:s återbetalningsplan tar hänsyn till följande metoder för förebyggande av nya CO_{2e} utsläpp (LFM30, 2022d).

Sekundärt val (motivera)						
F. Förebyggande av nya CO _{2e} utsläpp						
F.1 Trovärdiga alternativ (motivera), exempelvis:						
F1.1	F1.2	F1.3	F1.4	F1.5	Beskogning/ Återskogning/ Undvika avskogning	EU ETS handel med CO _{2e}
Förnybar energi, ex solceller	Energieffektivisering	Förebygga CO _{2e} gaser, ex metan, lust, industri	CCS	CCU		
Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	Uppfyller LFM30 kriterier	EJ LFM30 godkända alternativ	

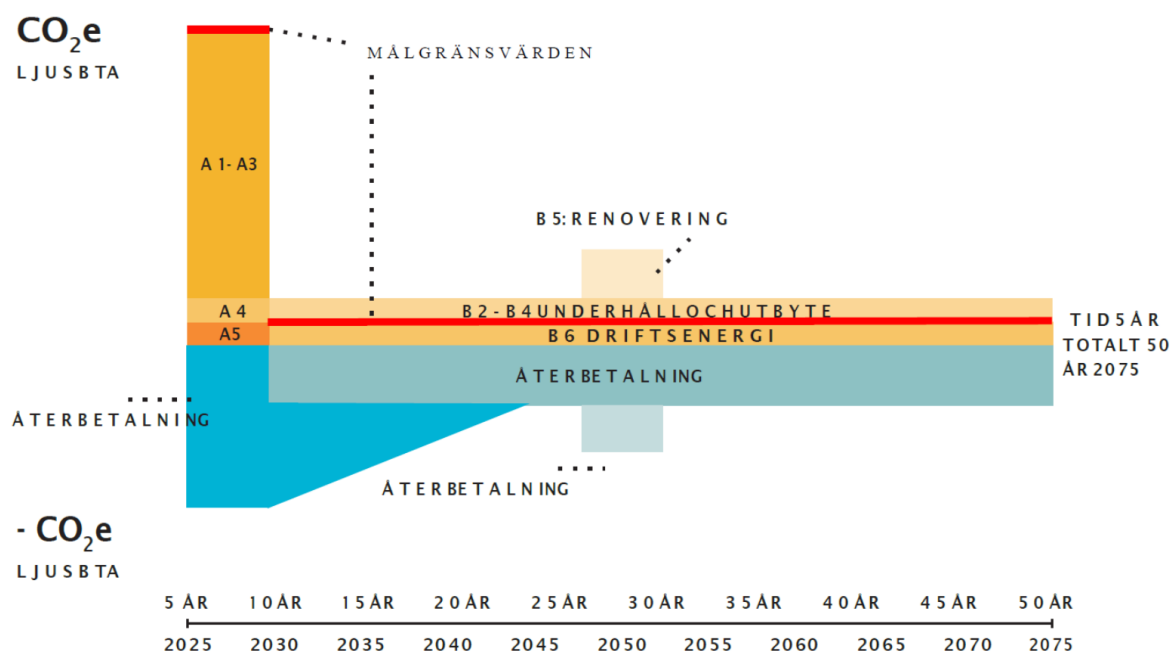
3.4.5 Steg 5: Löpande kontrollera

LFM30:s sista steg i sin metodik för klimatbudget är i form av löpande kontroller. Att uppsatt återbetalningsplanen följs för aktuell byggnad eller projekt skall kontrolleras så det förblir klimatneutralt eller positivt. Förändringar kan ske över en byggnads eller anläggnings livslängd vilket också skall redovisas och balanseras (LFM30, 2022c)

Klimatbudgetens kontroll delas upp i tre skeden: Byggprocess (A1-A5), Förvaltning (B1-B4, B6-B7) och Renovering/ombyggnad/tillbyggnad (B5). Återbetalning för B6 och B7 görs per kalenderår.

Varje skede kontrolleras om en balansering gjorts för CO_{2e}-utsläpp vilket redovisas via LFM30:s Klimatdeklaration i enhetlighet med LFM30:s kriterier (ibid).

Ett byggnadsverk är klimatneutralt enligt LFM30 när CO_{2e} balanseras ut enligt kontroll och sedan redovisats i LFM30:s klimatdeklaration (LFM30, 2022c). Figur 3.3 visar på hur en återbetalningsplan balanserar ut utsläppen från en byggnad.



Figur 3.3: Ett byggnadsverks balansering av CO_{2e}-utsläpp beskrivs i klimatbudgetens resultaträkning. De orange är CO_{2e}-utsläpp och det blåa är negativa utsläpp. (LFM30, 2022c).

4 Klimatpåverkan under byggnadsskedet

Inför examensarbetet har Regionfastigheter delat med sig av ett referensfall, vårdbyggnad 35 för Nya sjukhusområdet i Malmö. Utifrån mest betydande materialresurser från klimatberäkningar på vårdbyggnad 35 utgör byggbetong och konstruktionsstål (inkluderat skrotbaserad armering) 60 % av de totala utsläppen för byggnadsmaterialens klimatpåverkan (A1-A3).

Arbetet hanterar inte trämaterial, dels ingår inte trä som ett av de mest betydande materialen räknat i klimatpåverkan, dels rekommenderar MSB:s rapport (2021) att undvika trämaterial i stomme samt begränsa brännbart material i ytskikten.

4.1 Betong

Betong är ett av de mest använda och viktigaste byggnadsmaterialen. Där påfrestning på konstruktionen är stor till exempel vid höga byggnader som sjukhus, flerbostadshus och grunder till byggnader används betongen flitigt.

Huvudbeståndsdelarna i betong är cement, ballast och vatten, men idag används ofta andra tillsatsmaterial och tillsatsmedel för att ändra på betongens egenskaper som till exempel hållfasthet och härdning. Idag blandas oftast betongmassan i fabrik för att sedan levereras färdigblandad till byggarbetsplatsen. Leverans av prefabricerade betongelement som gjutits i fabrik förekommer också (Nilvér & Burström, 2018).

Inom betongbranschen pågår utvecklingsarbete för att förbättra betongens egenskaper i form lägre klimatpåverkan. Redan under 2017 hade forskning bidragit till en minskad klimatpåverkan från betong med 20 % jämfört med utsläppsnivåerna som fanns 1990 (Svensk Betong, 2017).

Då betong används i så stor utsträckning som det görs i byggbranschen och på grund av betongens egenskaper såsom dess beständighet gör det att materialet i många fall är svårt att ersätta (Fossilfritt Sverige, 2018b). Därmed kan det ses som en nödvändighet att förbättra nuvarande betong för att nå klimatmålen i byggbranschen.

Betongbranschen har satt upp ett mål om att klimatneutral betong ska finnas tillgänglig år 2030 på den svenska marknaden och att all den betong som används i Sverige år 2045 ska vara klimatneutral (ibid).

Ur en livscykelanalys av betong kan det påvisas att mer än 90 % av koldioxidutsläppen kommer från cementklinkers, vilken framställs under produktionsskedet. Under driftskedet för betong absorberar snarare betongen koldioxid, vilket därmed minskar det totala koldioxidutsläppet från betong om hela livscykeln tas i beaktning (Svensk Betong, 2017). Koldioxidupptagningsprocessen beskrivs mer i avsnitt 4.1.2.

De flesta sjukhusbyggnader idag består till stor del av betong. I skuggan av klimatomställningen och vägen mot klimatneutralitet år 2045 har det kommit på tal att byggbranschen skall ställa om mot träbyggnationer, som nämnts tidigare skulle det kunna anses som en intressekonflikt med MSB:s rapport (2021) där de inte rekommenderar brännbara material i den bärande konstruktionen i en samhällsviktig byggnad som sjukhus.

En studie har gjorts där en jämförelse mellan betong och KL-trä gjorts där samma funktionskrav ställs på konstruktionen. Resultatet visar på lägre klimatpåverkan från KL-trä jämfört med de andra konstruktionslösningarna med betong (Erlandsson & Malmqvist, 2018). Erlandsson & Malmqvist nämner även att en bindemedelmix av portlandcement och slagg, där betong med bindemedelmixen CEM III/A med runt 50 % slagg skulle kunna göra konstruktionslösningen likvärdig KL-trä vid beräkning av klimatpåverkan för byggnadsskedet (ibid).

På samma sätt menar Nilvér och Burström (2018) att genom minskning av cementhalten i betongblandningen kan utsläppen av koldioxid reduceras. Att använda tillsatsmaterial, exempelvis Silikastoft, flygaska eller slagg från massugnar, är en metod för att minska cementhalten.

Region Skåne har som mål att använda sig av 50 % slagg- eller klimatförbättrad betong till alla nybyggnationer (Region Skåne, 2022b).

Den europeiska standarden EN 206 och SS 137003 som är den svenska tillämpningen beskriver de regler som betongen måste anpassa sig efter. I SS 137003 beskrivs mängden alternativa bindemedlet som får användas och därmed begränsas betongens möjliga uppsättning av den nämnda standarden (Svensk Betong, 2017).

Under senare delen av 2021 släpptes en nyare version, SS 137003:2021, som tillåter ökad användning av alternativa bindemedel till cement. Genom den reviderade svenska tillämpningen kan cementblandningen utvecklas mot mer klimatförbättrad betong än vad som varit möjligt tidigare (Fossilfritt Sverige, n.d.).

Under 2017 hade betongbranschen som mål att ha möjligheten att minska koldioxidutsläppen från betong till husbyggnation med närmare 50 % inom 5 år (Svensk Betong, 2017). En senare rapport från Svensk Betong (2022) hävdar att det finns exempel på projekt vars koldioxidutsläpp från betong minskat med 40 % till 50 %. Reduktionen skall ha åstadkommit genom ett nära samarbete genom hela värdekedjan där betong- och prefabrtillverkare engagerades i tidiga faser för att nödvändiga parter skulle ha möjligheten till samverkan redan från start (ibid).

Vidare menar rapporten att för att nå just en så hög reduktion av koldioxidutsläpp från betong som det nämnda exemplet krävs det inte enbart att betongens material och bindemedel ersätts mot klimatsmarta alternativ, utan även en resurseffektiv design för elementets ändamål framställs. Konstruktionslösningar bör optimeras för att betongen ska kunna utnyttjas på det mest effektiva sätt och så att minimal mängd av betong används (ibid).

Även om betongbranschen kommit långt sedan början av 2000-talet med att göra betong mer klimatsmart krävs det ny teknik för att klimatförbättrande betong i stället ska kunna bli klimatneutral betong. Tekniker som utvecklas är bland annat CCS och CCU som kan anses vara nödvändig för att nå målet om klimatneutral betong till år 2030 (Fossilfritt Sverige, n.d.).

4.1.1 CCS och CCU

Som nämnts i tidigare skede är CCS när koldioxid avskiljs från en källa och lagras permanent i geologiska formationer tills de mineraliseras till sten. Avskiljning av koldioxid har goda förutsättningar inom såväl betong- och kalkindustrin som järn- och stålindustrin. Några av förutsättningarna är att båda industrierna har stor CO₂ utsläpp, betongtillverkningen behöver enbart några få utsläppspunkter och järn/stålindustrin har sina utsläpp i stora punktkällor (Gode & Kristoferson, 2011).

Den lämpliga avskiljningstekniken som kan användas inom båda industrierna bygger på förbränning med syrgas. Avskild koldioxid transporteras exempelvis genom rörledningar eller fartyg för att sedan lagras i geologiska formationer i berggrunden (ibid).

I stället för att lagra koldioxiden kan denna användas inom andra industrier och produkter. Denna metod kallas för CCU (Fossilfritt Sverige, n.d.). Infångad koldioxid kan användas i växthus, som komponent för elektrobränslen eller inom betongindustrin (RISE, 2021).

Cementa, som är en av Sveriges största byggnadsmaterialproducenter och producerar cement, har som mål att driftsätta världens första klimatneutrala cementfabrik i Slite genom CCS-teknik som anses vara en förutsättning för klimatomställningen i byggbranschen (Cementa, n.d. a).

Idag finns det CCS-teknik som tillåter en reduktion som kan bidra med 50 % minskning av växthusgaser vid tillverkning av cement, men när CCS-tekniken är fullständigt utvecklad ska mer än 90 % av all koldioxid kunna avskiljas från cementproduktionen (Pädam et al., 2021).

Pädam et al. anger även att utvecklingen och produktionen av klimatneutral betong i cementas produktion kan bedömas ha ett pris som är 70 % till 100 % högre än dagens cement som produceras.

4.1.2 Karbonatisering av betong

Enligt EN 16757 beskrivs processen för karbonatisering av betong som en kemisk reaktion. Genom en naturlig process binder betongen, specifikt betongens hydratiseringsprodukter, CO_2 från omgivande luft. Processen ökar styrkan i betongen men leder till korrosion av armering om karbonatiseringen tränger in hela vägen. Korrosionen uppstår eftersom karbonatiseringen sänker pH-värdet i betongen, men fukt och syre behövs även vara tillgängliga för att korrosionsprocessen skall påbörjas (SIS, 2017).

Karbonatiseringsprocessen pågår under hela betongens livslängd och ökar beroende på hur stor betongytan är som exponeras mot luft. Uppskattat tas 300 000 ton koldioxid upp årligen genom karbonatisering av betong i Sverige, enligt teoretiska studier (Svensk Betong, 2018). Ett problem med processen är att om en yta behandlas, exempelvis målas, kommer det med störst sannolikhet att hindra karbonatisering (SIS, 2017).

Efter en byggnads livslängd kan betongen krossas och spridas ut för att öka ytan som utsätts för karbonatisering. Betongkross kan sedan användas som ersättning till nyproducerad ballast vilket lagrar koldioxiden i betongen och därmed skapas en koldioxidsänka (Cementa, n.d. b). Alternativt kan den krossade betongen användas som fyllnadsmaterial (Svensk Betong, 2017).

4.2 Stålprodukter

Utöver betong är stål också ett viktigt byggnadsmaterial. Stål förekommer i en mängd olika produkter och används för flera olika funktioner. Stålprodukter som kan tänkas användas är armering, balkar och pelare.

Järnmalm bryts i gruvproduktion som sedan bearbetas i masugnar tillsammans med kol och koks för att avlägsna syret från järnmalmen och på så sätt framställa järn (Nilvér & Burström, 2018).

Inom stålindustrin står råjärn producerat i masugnar för 55 % av industrins behov. Resterande behov täcks av skrot som återanvänds i produktion, vilket är fördelaktigt ur en energisynpunkt. Vid användningen av skrot krävs endast cirka en åttondel av energin jämfört med tillverkning av stål från malm (ibid).

Globalt står stålindustrin för 7 % till 9 % av koldioxidutsläppen. Motsvarande siffra i Sverige är cirka 12 %. Av utsläppen kommer den största andelen i samband med användning av fossilt kol vilket nyttjas inom processen att skapa järn från järnmalm (Energimyndigheten, 2022c). Eftersom stålindustrin står för en sådan stor del av de globala koldioxidutsläppen har branschen arbetat för att kunna erbjuda hållbart stål.

Slagg från stålverken används idag flitigt då närmare 80 % av all slagg kommer till användning. Genom användningen av slagg hindras stora mängder slagg från att deponeras, vilket det gjorde i början av 2000-talet (Jernkontoret, 2021). Åtgärden att använda slagg i betong hindrar härmed deponering av slagg från stålindustrin.

Som Nilvér och Burström (2018) nämner kan skrot sänka energibehovet vid tillverkning av stål, vilket bidrar till en minskad klimatpåverkan.

Stålskrot är också lätt att återvinna då det inte utsätts för några kvalitetsförluster trots nedsmältning, utan det är 100 % återanvändbart (Fossilfritt Sverige, 2018c).

SSAB menar att även om återvinningsgraden av stål är hög, runt 90 % återvinns, så räcker inte stålskrotet till mer än 25 % av det behov som finns på den globala marknaden. Av den här anledningen utforskas möjligheten till en fossilfri stålproduktion (SSAB, n.d.)

SSAB har som mål att lansera fossilfritt stål gradvis på marknaden från år 2026, beroende på hur stor efterfrågan är, samt att alla stålproduktionsanläggningar ska ha utrustningen för att

producera fossilfritt stål till år 2040. Produktionen av hållbart stål kommer ske genom att järnmalm bryts ut i en fossilfri gruvproduktion för att sedan bearbetas med hjälp av vätgas i stället för kol och koks som dagens stål (ibid).

Likt SSAB satsar H2 Green Steel på hållbart stål och planerar att bygga en produktionsanläggning som ska vara kapabel till att sänka koldioxidutsläppen med 95 % i produktionsprocessen av stål jämfört med den traditionella metoden av masugnsframställt stål. Anläggningen planeras stå klar för drift 2024 (Energimyndigheten, 2022c).

4.3 Transporter och byggarbetsplatsen

Majoriteten av klimatpåverkan uppstår under tillverkning av byggmaterialet, i storleksordningen cirka 80 %, inkluderat transporter som sker under materialtillverkningen. Resterande 20 % kommer från transporter och byggverksamheten (Fossilfritt Sverige, 2018a). Liknande siffror på fördelningen mellan A1-A3 och A4-A5 visas i tilldelad data för vårdbyggnad 35.

Stora byggprojekt pågår ofta under en längre tid och där bodar för duschar och lunchrum byggs upp. Bodarna ska försörjas med energi. I produktionen på byggplatsen används grävmaskiner, lyftkranar och andra verktyg som kräver energi, ofta i form av fossila bränslen. Genom planering av transport och analys av logistiklösningar kan klimatpåverkan från byggproduktionsskedet reduceras.

Fossilfritt Sverige påpekar att avtrycket på klimatet från byggprocessen skulle kunna minskas genom användningen av redan befintlig data från tidigare projekt för att fatta miljöbaserade beslut redan i planering och projekteringsstadiet. En genomtänkt planering och projektering skulle kunna bidra till rätt konstruktion på rätt plats med rätt material och därmed minska klimatpåverkan från projektet (Fossilfritt Sverige, 2018a).

På samma sätt menar LFM30 att miljöbaserade beslut kan fattas med hjälp av klimatkalkyler för att optimera transporter i koppling till byggarbetsplatsen. För att minska klimatpåverkan från transporter i byggproduktionsskedet och på byggplatsen behövs färre fossildrivna maskiner vara i drift samt tillämpa samtransporter (LFM30, n.d.).

Enligt fordonskrav från EU ska nyregistrerade tunga fordon minska klimatutsläppen med 15 % till år 2025 jämfört med 2019–2020 och minska utsläppen med minst 30 % till år 2030. Ett beslut som fattats av riksdagen är att hela transportsektorn ska minska sina koldioxidutsläpp med 70 % till år 2030 jämfört med 2010.

För att uppnå det här inom tunga fordon har Fossilfritt Sverige en färdplan med målet att till år 2030 skall 50 % av nyregistrerade tunga lastbilar vara elektriska. Det här ska åstadkommas inte enbart genom att fordonstillverkare producerar elektrifierade fordon utan även flaskhalsar i elnätet ska byggas bort i städer och längs tungt trafikerade vägar (Fossilfritt Sverige, 2020).

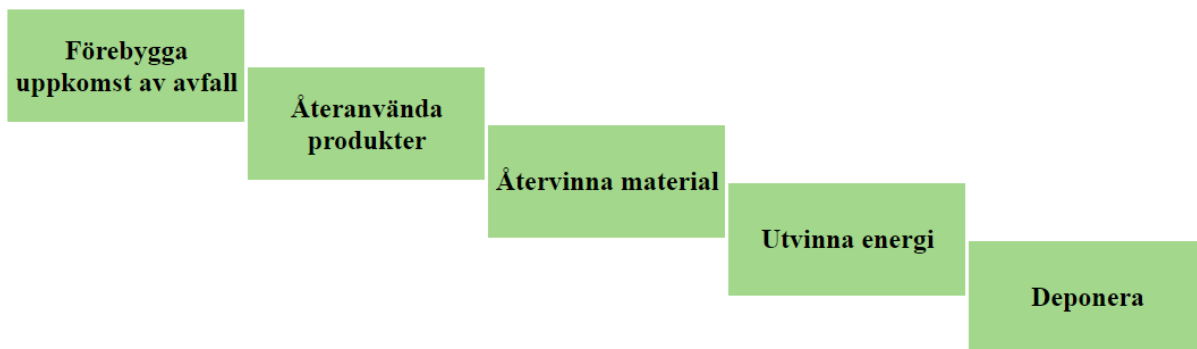
Förutom utfasningen av fossildrivna transporter och maskiner kan avfall och spill från arbetsplatserna reduceras. Dagens avfallslagstiftning i Sverige kräver att mängder med jord- och schaktmassor ska köras till deponier (ibid). Fossilfritt Sverige menar att lagstiftningen hindrar möjligheten att återvinna till exempel jordmassor vid lokala anläggningar. Resultatet blir ett potentiellt högre utsläpp av växthusgaser från byggplatsen genom transporter till och från deponier, samt en minskad möjlighet till återanvändningen av jord- och schaktmassor. En översyn av avfallslagstiftningen bör göras för att möjliggöra en minskning av klimatavtrycket från transporter i byggskedet (ibid).

4.4 Återbruk

Materialåtervinning kan sänka klimatpåverkan vid framtagning av material genom exempelvis användning av mindre mängd nya råvaror vid tillverkningsprocessen. Utifrån avfallstrappan är materialåtervinning inte det effektivaste sättet att nyttja avfallsmaterial.

Nilvér och Burström (2018) beskriver avfallstrappan som indelade i fem nivåer 1) minimera; 2) återanvända; 3) återvinna; 4) utvinna energi och 5) deponera. Se figur 4.1.

Prioriteringsordningen följer efter nivåerna i samma arrangemang där en nivå kan ses som mer resurseffektiv är högre ju högre prioritetsnivå den ligger på (Gerhardsson et al., 2020). Avfallstrappan är ett EU-direktiv som antagits i den svenska miljöbalken.



Figur 4.1: Avfallstrappan. Författarnas egen figur baserad på Nilvér & Burström (2018)

Återbruk (återanvändning) av produkter ligger steget över materialåtervinning i prioriteringsordningen. Återbruk definieras som “en form av återvinning där produkten nyttjas i någorlunda ursprunglig form” (Gerhardsson et al., 2020).

Exempel på material som används till återbruk är stål och tegelstenar. Tegelstenar är ett material som kan skrapas rena för att sedan användas som återbruk i en ny konstruktion. Även återbruk av fönster, dörrar och dylikt är möjligt, vilket minskar klimatpåverkan genom att nya material inte behöver tillverkas (ibid).

Ur ett projektperspektiv som vid byggnationen av ett sjukhus kan återbruk vara aktuellt för att minska klimatavtrycket från byggskedet. Enligt EN 15978 får återbrukade produkter räknas som noll klimatpåverkan i klimatkalkylen från produktens tillverkning och råvaror (ibid). Som nämnts tidigare räknas återbruk i LFM30:s metodik som noll klimatpåverkan för all historisk miljöpåverkan, men eventuella utsläpp som tillkommer för leverans från lager eller upprustning av produkten skall beräknas och inkluderas. Vid återbruk uppstår klimatpåverkan i form av transporter, förvaring i lager och rekonditionering av materialet vilket ska beaktas (LFM30, 2022d).

Dagens beräkningsätt möjliggör att projekt kan bidra med ett mindre klimatavtryck genom användningen av återbruk. Vid återbruk bör även de tekniska egenskaperna hos produkter och material beaktas, då äldre produkter inte alltid motsvarar de nytillverkade produkterna eller materialen ur ett tekniskt perspektiv(ibid).

5 Fallstudie: Nya Sjukhusområdet Malmö (NSM)

I fallstudien undersöks Nya Sjukhusområdet i Malmö vårdbyggnad 35.

Byggnaden består av två källarplan, ett entréplan och tio övre plan. Byggnaden har en L-formad planlösning med de två längsta sidorna på ungefär 100 meter × 55 meter. De övre våningsplanen minskar lite i area men bevarar L-formen. Totala höjden på byggnaden är 60 meter över mark, med cirka tio meter i källarplan. Den bärande stommen är av betong och fasaden består till stor del av glaspartier.

I den preliminära anbuds kalkylen från Skanska beräknades inte klimatpåverkan för hela byggnaden. Endast två källarplan, entréplan och fyra övre plan är inräknade. Anbudskalkylen tar enbart hänsyn till ett fåtal materialtyper; betong och armeringstål, plast och konstruktionsstål.

Anbudskalkylen är från ett tidigt skede i planeringen för Vårdbyggnad 35 och är några år gammal. Given mängd för material har till viss del blivit grovt uppskattat i efterhand av Skanska. Det här är en faktor som kan påverka resultatet jämfört med ett verkligt fall.

Utifrån anbuds kalkylen skapas tre beräkningsfall:

- Ett grundfall, baserat på klimatpåverkan från anbuds kalkylen
- Ett konventionellt fall, där klimatpåverkan hämtas för konventionella material
- Ett klimatförbättrat fall, där klimatpåverkan hämtas för klimatförbättrade material.

Alla tre fallen använder sig av anbuds kalkylens materialmängder.

Generisk data, vilket är representativa värden för byggprodukter som finns på den svenska marknaden, har använts i fallen där material har valts i Oneclicks databas, vilket stämmer överens med LFM30 som nämner att representativa värden ska användas när specifika värden inte kan användas.

Anledningen till att generisk data har använts är för att den givna data som tagits del av inte specificerar vilka konstruktionsdelar och lösningar som använts.

För att jämföra fallen med varandra samt mot LFM30:s gränsvärde behövs en area för undersökta våningsplan. Arean som använts är uppmätt A_{temp} från givna energiberäkningsuppgifter av vårdbyggnad 35. Uträknad A_{temp} från given data är 37 204 m²

för hela byggnaden och 23 310 m² för de sju planen som undersöks. Given Atemp antas vara korrekt.

Förutom Atemp hålls klimatpåverkan från transport (A4) och byggprocessen (A5) konstant för alla tre fallen enligt tabell 5.1. Värdena är hämtade från anbudskalkylen.

Tabell 5.1: Klimatpåverkan från Byggnadsskedet. Följande värden hålls konstant för alla tre fall, hämtade från preliminär klimatkalkylen från Skanska.

Byggnadsskedet, summa A4-A5	Klimat [kg CO _{2e}]
A4) Transport	395 000
A5) Bygg-, installationsprocessen	475 000
Σ	870 000

I anbudskalkyler har medräknade plastprodukter en låg vikt men hög klimatpåverkan. OneClick LCA saknar en bra motsvarighet för plastprodukterna. De möjliga alternativen till plastmaterial i OneClick påverkar slutgiltiga resultatet med enbart cirka 0,002 %. För att kunna göra ett konsekvent jämförande mellan fallen bortses klimatpåverkan från plastprodukter från beräkningarna.

För varje fall summeras klimatpåverkan från material (A1-A3). Byggnadsskedet (A4-A5) adderas in för att ge den totala klimatpåverkan för fallet.

I anbudskalkyler delas även klimatpåverkan in i kategorier beroende på material. Samma indelning görs för varje fall. Materialkategorier som används är:

- BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt
- BY03 Betong, -varor, bruk och armering

Kategori BY02 innehåller enbart klimatpåverkan från konstruktionsstål enligt anbudskalkylen och BY03 innehåller klimatpåverkan från betong och armering.

5.1 Fall 1: Grundfall preliminär klimatkalkyl

Fallet baseras på given anbudskalkyl från Skanska som uppskattat klimatpåverkan från A1-A5 för sju av tretton våningar av vårdbyggnad 35.

I Tabell 5.2 kan mängden material, dess klimatpåverkan i kg koldioxidekvivalent per kg, samt total klimatpåverkan i kg koldioxidekvivalenter avläsas.

För fall 1 beräknades klimatpåverkan för produktionskedet A1-A3 på 10 142 000 kg CO_{2e}.

Tabell 5.2: Fall 1: Grundfall från klimatkalkylen. Mängden material [kg] och den totala klimatpåverkan [kg CO_{2e}] hämtas från erhållen data från Skanska. Klimatpåverkan per mängd material [kg CO_{2e}/kg] är beräknat baserat på erhållen data.

Kategori	Betydande Materialresurser	Mängd [kg]	Klimat	
			[kg CO _{2e} /kg]	[kg CO _{2e}]
BY03	Byggbetong C40/50	28 000 000	0,12	3 400 000
BY03	Byggbetong C35/45	4 100 000	0,49	2 000 000
BY03	Armering, skrotbaserat	3 700 000	0,41	1 500 000
BY03	Byggbetong C32/40	1 200 000	1,17	1 400 000
BY02	Konstruktionsstål, obelagd	2 600 000	0,5	1 300 000
BY03	Byggbetong C28/35	1 100 000	0,27	300 000
BY03	Byggbetong C25/30	1 200 000	0,18	220 000
BY03	Byggbetong C20/25	1 000 000	0,02	20 000
BY03	Armeringsnät	700 000	0,0029	2 000
Summa A1-A3				10 142 000
Kategori BY02				1 300 000
Kategori BY03				8 842 000
Summa A4-A5				870 000
Total Klimatpåverkan A1-A5				11 012 000

Den Preliminära klimatkalkylen från Skanska påvisar ojämna värden för klimatpåverkan per mängd material. Beräkningarna i tabell 5.2 visar på att Armeringsnäten enbart har 0,0027 kg CO_{2e}/kg i klimatpåverkan samt att Betong C20/25 har 0,02 kg CO_{2e}/kg.

Värdena representerar inte verkligheten och beror på att mängden material uppskattats i efterhand av Skanska, troligen baserat på hur mycket som faktiskt gick åt vid byggnationen.

5.2 Fall 2 och fall 3: gemensamma faktorer

I både fall 2 och fall 3 används EPD:er hämtade från OneClick LCA:s egen databas. I tabell 5.3 finns benämning på vardera EPD som hämtades samt förkortningen som används i kommande tabeller för fall 2 och fall 3. Från Skanskas material saknades "Armeringsnät" och

“Konstruktionsstål, obelagd” en motsvarighet i OneClick LCA, följande antagande gjordes för materialen:

- “Konstruktionsstål, obelagd” antas i fallstudien vara stålprofiler.
- “Armeringsnät” antas ha samma klimatpåverkan per mängd material som “armering, skrotbaserad”.

Tabell 5.3: EPD:er hämtade från verktyget OneClick LCA, i beräkningarna används förkortningen. All betong använder “Ready-mix Concrete, normal strength, generic”.

EPD beteckning	Fortsättningsvis benämns som	Klimat [kg CO _{2e} /kg]
Reinforcement steel (rebar), generic, 100 % recycled content	Armering, skrotbaserad	0,42
Konventionella material		
C20/25, 0 % recycled binders in cement	Betong C20/25: 0 %	0,11
C25/30, with CEM I, 0 % recycled binders	Betong C25/30: 0 %	0,11
C28/35, with CEM I, 0 % recycled binders	Betong C28/35: 0 %	0,12
C32/40, with CEM I, 0 % recycled binders	Betong C32/40: 0 %	0,13
C35/45, with CEM I, 0 % recycled binders	Betong C35/45: 0 %	0,14
C40/50, 0 % recycled binders in cement	Betong C40/50: 0 %	0,16
Structural steel profiles, generic, 0 % recycled content	Konstruktionsstål: 0 %	3,21
Klimatförbättrade material		
C20/25, 55 % recycled binders in cement	Betong C20/25: 55 %	0,062
C25/30, with CEM III/A, 60 % GGBS content	Betong C25/30: 60 %	0,061
C28/35, with CEM III/A, 60 % GGBS content	Betong C28/35: 60 %	0,064
C32/40, with CEM III/A, 70 % GGBS content in cement	Betong C32/40: 70 %	0,066
C35/45, with CEM III/A, 60 % GGBS content	Betong C35/45: 60 %	0,071
C40/50, 50 % recycled binders in cement	Betong C40/50: 50 %	0,096
Structural steel profiles, generic, 100 % recycled content	Konstruktionsstål: 100 %	0,67

5.3 Fall 2: Konventionella material

För att göra en bedömning av hur mycket klimatpåverkan kan förbättras genom byte av konventionella material till klimatförbättrade material görs ett fall där endast konventionella material används och utan någon form av återbruk. De konventionella materialen är hämtade från OneClick LCA, se tabell 5.3.

För fall 2 slutade den totala klimatpåverkan för produktionsskedet A1-A3 på 15 778 000 kg CO_{2e}.

Tabell 5.4: Fall 2: Konventionella material. Mängden material [kg] förändras inte från fall 1, klimatpåverkan per mängd material [kg CO_{2e}/kg] hämtas från OneClick LCA:s databas och den totala klimatpåverkan för materialet [kg CO_{2e}] beräknas.

Kategori	Betydande Materialresurser	Mängd [kg]	Klimat	
			[kg CO _{2e} /kg]	[kg CO _{2e}]
BY03	Betong C40/50: 0 %	28 000 000	0,16	4 480 000
BY03	Betong C35/45: 0 %	4 100 000	0,14	574 000
BY03	Armering, skrotbaserat	3 700 000	0,42	1 554 000
BY03	Betong C32/40: 0 %	1 200 000	0,13	156 000
BY02	Konstruktionsstål: 0 %	2 600 000	3,21	8 346 000
BY03	Betong C28/35: 0 %	1 100 000	0,12	132 000
BY03	Betong C25/30: 0 %	1 200 000	0,11	132 000
BY03	Betong C20/25: 0 %	1 000 000	0,11	110 000
BY03	Armering, skrotbaserat (armeringsnät)	700 000	0,42	294 000
Summa A1-A3				15 778 000
Kategori BY02				8 346 000
Kategori BY03				7 432 000
Summa A4-A5				870 000
Total Klimatpåverkan A1-A5				16 648 000

5.4 Fall 3: Klimatförbättrat

De klimatförbättrade materialen är hämtade från OneClick LCA likt vad som gjordes för konventionellt material i fall 2, se tabell 5.3.

För fall 3 slutade den totala klimatpåverkan för produktionskedet A1-A3 på 6 865 000 kg CO_{2e}.

Tabell 5.5: Fall 3: Klimatförbättrade material. Precis som i fall 2 används samma mängd material [kg] som fall 1. Från OneClick LCA hämtas data på klimatpåverkan per mängd material [kg CO_{2e}/kg] för klimatförbättrade alternativ. Slutligen beräknas den totala klimatpåverkan [kg CO_{2e}] för materialet.

Kategori	Betydande Materialresurser	Mängd [kg]	Klimat	
			[kg CO _{2e} /kg]	[kg CO _{2e}]
BY03	Betong C40/50: 50 %	28 000 000	0,096	2 699 000
BY03	Betong C35/45: 60 %	4 100 000	0,071	291 000
BY03	Armering, skrotbaserat	3 700 000	0,42	1 554 000
BY03	Betong C32/40: 70 %	1 200 000	0,066	79 000
BY02	Konstruktionsstål: 0 %	2 600 000	0,67	1 742 000
BY03	Betong C28/35: 60 %	1 100 000	0,064	71 000
BY03	Betong C25/30: 60 %	1 200 000	0,061	73 000
BY03	Betong C20/25: 55 %	1 000 000	0,062	62 000
BY03	Armering, skrotbaserat (armeringsnät)	700 000	0,42	294 000
Summa A1-A3				6 865 000
Kategori BY02				1 742 000
Kategori BY03				5 123 000
Summa A4-A5				870 000
Total Klimatpåverkan A1-A5				7 735 000

5.5 Sammanställning

I tabell 5.6 görs en sammanställning för de tre fallen. I sammanställning är hela byggskedet (A1-A5) inräknat. Värdena för byggproduktionsskedet (A4-A5) motsvarar värdena i Tabell 5.1. Jämförs fall 1 och 2 med fall 3 syns en 29,7 % och 53,5 % minskning av klimatpåverkan genom optimering av material ur ett klimatperspektiv.

Tabell 5.6: Sammanställning av fallens totala klimatpåverkan [kg CO_{2e}] från produktionsskedet och byggproduktionsskedet (A1-A5) och klimatpåverkan per kvadratmeter [kg CO_{2e}/Atemp m²].

Fall:	Total klimatpåverkan	Atemp = 23 310 m ²
	A1-A5 [kg CO _{2e}]	[kg CO _{2e} /Atemp m ²]
1 Grundfall	11 012 000	472
2 Konventionella material	16 648 000	714
3 Klimatförbättrat	7 735 000	331

Om materialkategorierna jämförs mellan fallen fås en uppfattning om hur klimatpåverkan förändras med endast byte av material. I BY02 märks en reduktion med 79,1 % på klimatpåverkan mellan fall 2 och fall 3. Däremot är fall 1 lägre än fall 3 trots klimatförbättrat material vilket beror delvis på den stora mängden armeringsnät som knappt har någon klimatpåverkan enligt fall 1. I BY03 sänks klimatpåverkan mellan fall 1 och fall 3 med 42,1 %. Mellan fall 2 och fall 3 reduceras klimatpåverkan med 31,1 %.

Tabell 5.7: Den totala klimatpåverkan [kg CO_{2e}] för varje fall uppdelat efter materialkategori.

Kategori	1 Grundfall	2 Konventionella Material	3 Klimatförbättrat
BY02 Trävaror, byggskivor, byggplåt	1 300 000	8 346 000	1 742 000
BY03 Betong, -varor, bruk och armering	8 842 000	7 432 000	5 123 000

5.6 Klimatkompensation

För att sjukhuset skall bli klimatneutralt behövs utsläppen från byggnadsskedet enligt fallen ovan kompenseras. Beräkningarna för krävd klimatkompensation görs enbart på fall 2 och 3. Regionfastigheter har som mål att sjukhuset ska vara klimatneutralt efter 50 år. Utöver klimatpåverkan från byggskedet kompenseras även driftenergin.

I ett verkligt fall kan driftenergin påverkas vid materialbyte vilket fallstudien inte tar hänsyn till på grund av gjorda avgränsningar. Enligt energiberäkningsuppgifterna som gjordes på Vårdbyggnad 35 är driftenergin beräknad till $72,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Atemp}} \cdot \text{år})$. För att beräkna driftenergens klimatpåverkan används $26 \text{ g CO}_2\text{e}/\text{kWh}$ vilket är koldioxidsintensiteten på lokalnätetsnivå (Energimyndigheten, 2021b).

Klimatkompensationen görs på hela byggnadens golvarea, $37\,200 \text{ m}^2$. Driftenergin för bygganden beräknas till:

$$37\,200 \text{ m}^2 \cdot 72,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{Atemp}} \cdot \text{år}) \cdot 50 \text{ år} \cdot 0,026 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{kWh} \approx 3\,530\,000 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

För utsläppen från byggnadsskedet används beräknade värden för klimatpåverkan per kvadratmeter från tabell 5.6. Adderas utsläppen från driftenergin fås följande värden för fall 2 konventionella material:

$$37\,200 \text{ m}^2 \cdot 714 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{m}^2_{\text{Atemp}} + 3\,530\,000 \text{ kg CO}_2\text{e} \approx 30\,100\,000 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

och för fall 3 klimatförbättrade fås:

$$37\,200 \text{ m}^2 \cdot 332 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{m}^2_{\text{Atemp}} + 3\,530\,000 \text{ kg CO}_2\text{e} \approx 15\,900\,000 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

Vald kompensationsmetod följer LFM30:s godkända alternativ. I fallstudien undersöks enbart vad som krävs om de totala utsläppen skall neutraliseras via en metod.

De återbetalningsmetoderna som har undersökts är

- Solceller
- Vindkraft
- Biokol
- Bio ccs

Enligt Energimyndigheten (2018) genererar en solcellsanläggning på 30 m² mellan 4 000 och 5 500 kWh per år. För kompensation med solceller används medelvärdet från Energimyndighetens siffor:

$$\frac{(5\,500 + 4\,000) \text{ kWh/år}}{2 \cdot 30 \text{ m}^2} \approx 158 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$$

El genererad från solcellerna ersätter mindre miljövänlig el på marknaden, därav kan koldioxidsintensiteten på lokalnätetsnivå användas för att omvandla solcellernas produktion till insparad CO_{2e}-utsläpp. I beräkningen antas solcellerna drivas i 50 år.

$$158 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år}) \cdot 0,026 \text{ kg CO}_{2e}/\text{kWh} \cdot 50 \text{ år} \approx 205 \text{ kg CO}_{2e}/\text{m}^2$$

För fall 2 skulle det behövas en solcellsanläggning i storleken:

$$\frac{30\,100\,000 \text{ kg CO}_{2e}}{205 \text{ kg CO}_{2e}/\text{m}^2} = 147\,000 \text{ m}^2$$

och för fall 3 behöver solcellsanläggningen vara:

$$\frac{15\,900\,000 \text{ kg CO}_{2e}}{205 \text{ kg CO}_{2e}/\text{m}^2} = 78\,000 \text{ m}^2$$

Liknande metod som används för solceller kan tillämpas för vindkraftverk. Medelvärdet på elproduktion för ett vindkraftverk mellan år 2018 och 2021 var cirka 5,5 GWh per år (Energimyndigheten, n.d.). Insparad CO_{2e}-utsläpp för ett vindkraftverk som drivs i 50 år motsvarar:

$$5,5 \text{ GWh/år} \cdot 0,026 \text{ kg CO}_{2e}/\text{kWh} \cdot 50 \text{ år} = 7\,150\,000 \text{ kg CO}_{2e}$$

Antalet vindkraftverk som krävs för fall 2 är:

$$\frac{30\,100\,000 \text{ kg CO}_{2e}}{7\,150\,000 \text{ kg CO}_{2e}} \approx 4,2, \text{ alltså fem styckna}$$

och för fall 3 behövs:

$$\frac{15\,900\,000 \text{ kg CO}_{2e}}{7\,150\,000 \text{ kg CO}_{2e}} \approx 2,2, \text{ det vill säga tre vindkraftverk.}$$

Enligt Stockholm Exergi (2020) kompenserar ett kilogram biokol cirka 1,875 kg CO_{2e}. En studie gjord i Finland om biokol resulterade i samma värde för CO_{2e} per kilogram (Leppäkoski et al., 2021).

Mängden biokol för att kompensera fall 2 motsvarar:

$$\frac{30\,100\,000\text{ kg } CO_{2e}}{1,875\text{ kg } CO_{2e}/\text{kg}} \approx 16\,000\text{ ton}$$

och för fall 3 behövs:

$$\frac{15\,900\,000\text{ kg } CO_{2e}}{1,875\text{ kg } CO_{2e}/\text{kg}} \approx 8\,500\text{ ton}$$

Stockholm Exergi beräknar att deras anläggning för bio-ccs årligen kan fånga in uppåt 800 000 ton CO₂ (Stockholm Exergi, n.d.). Sjukhuset har 50 år på sig att bli klimatneutralt, därav beräknas hur mycket som behövs kompenseras årligen vilket ställs emot hur mycket Stockholm Exergi beräknar att kunna fånga upp.

För fall 2, över 50 år, behövs det årligen kompenseras:

$$\frac{30\,100\,000\text{ kg } CO_{2e}}{50\text{ år}} \approx 602\text{ ton } CO_{2e}/\text{år}, \text{ vilket motsvarar } 0,75\text{ promille av infångad koldioxid}$$

från Stockholms Express anläggning.

För fall 3 motsvarar detta:

$$\frac{15\,900\,000\text{ kg } CO_{2e}}{50\text{ år}} \approx 318\text{ ton } CO_{2e}/\text{år}, \text{ vilket är } 0,4\text{ promille.}$$

Tabell 5.8: Sammanställning av de olika klimatkompensations metoderna för fall 2 och fall 3.

	Fall 2	Fall 3	
	Konventionella	Klimatsmartare	
Totala utsläpp	30 100	15 900	ton CO _{2e}
Storlek solcellsanläggning	147 000	78 000	m ²
Antal vindkraftverk	5	3	st
Mängd Biokol	16 000	8 500	ton
Bio-ccs	0,75	0,40	‰ årligen

6 Diskussion

6.1 Fallstudie

Fallstudien visar att det finns klimatsmarta material på marknaden vilket kan bidra till att minska utsläpp av CO_{2e} i byggnadsskedet (A1-A5) vid utbyte av konventionella material. Gjord fallstudie antyder att ett projekt kan minska sina växthusgasutsläpp någonstans mellan 30 % till 70 % när materialen betong, stål och armering studeras.

För att nå nettonollutsläpp för ett sjukhus krävs det idag fortfarande en omfattande klimatkompensering. Sammanställningen av klimatkompensation, se tabell 5.8, visar på att fall 3 kräver ungefär hälften av åtgärderna mot fall 2. För optimal klimatkompensation bör flera återbetalningsmetoden kombineras vilket även LFM30 kräver.

6.2 Miljöpåverkan under byggskedet

En utmaning är att sjukhus är komplexa byggnationer med diverse krav, där bland annat höga krav ställs på brandsäkerheten. Det kan göra klimatarbetet ännu svårare jämfört med en vanlig byggnad där det kan vara betydligt lättare att till exempel installera solceller.

Då det finns en begränsad mängd återbrukat stål är det inte alltid möjligt att endast använda sig av återanvändning av stål. Vid större projekt, som ett sjukhus, kan ett alternativ vara att använda sig av en kombination av återbruk av stål och vanligt stål. Stålproducenter gör som tidigare nämnt satsningar på mer klimatsmart stål. Innan klimatneutralt stål introducerats fullt ut krävs dock såväl återbruk som kompensation för att sänka klimatpåverkan från stål idag.

Även om möjligheten finns att minska sin klimatpåverkan i byggskedet genom rätt material på rätt plats så tyder mycket på att för att nå nettonollutsläpp från material som betong krävs teknik som CCS. CCS-tekniken som är tillgänglig för drift idag är dyr och kan endast reducera utsläppen. I framtiden när tekniken är mer utvecklad kan CCS-tekniken förväntas kompensera 100 % av utsläppen.

Den nya versionen av SS 137003 möjliggör framställning av mer klimatsmart betong genom utbyte mot alternativa bindemedel. Ändringen tillsammans med CCS-tekniken utgör en god chans för klimatneutral betong till 2030.

6.3 Felkällor

Eftersom fallstudien baseras på en preliminär klimatkalkyl och endast baseras på de material som har mest miljöpåverkande såsom betong, stål och armering är det svårt att anknyta resultat till verkligheten för hel byggnad. Dock står betong, stål och armering för större delen av klimatpåverkan vid uppförandet av ett hus. Flerbostadshuset "Blå Jungfrun", som IVL gjort flertal klimatberäkningar på, är ett bra exempel. Cirka 80 % av utsläppen är från material (A1-A3), resterande 20 % från transport och byggproduktion (A4-A5). Uppdelningen på materialgrupper är 30 % från BY02 (trävaror, byggskivor, byggplåt) och 40 % från BY03 (Betong, -varor, bruk och armering). Resterande 30 % kommer från övrigt material (Larsson & Erlandsson, 2016).

Om studien i stället hade utförts med fullständig data skulle det ge ett mer representativt värde för verkligheten. Om alla material för projektet hade studerats skulle det skapat en bättre heltäckande bild av klimatpåverkan från byggskedet och hur det påverkas beroende på materialval.

Som nämnts vid tabell 5.2 finns det osäkerheter i Skanskas klimatkalkyl. Värdena för Armeringsnät och Betong C20/25 motsvarar i princip klimatneutrala material.

För att kunna få en bättre förståelse för hur vårdbyggnad 35 är uppbyggd både till form och utseende hade ritningar kunnat vara till hjälp, men på grund av sekretess var det inte möjligt att publicera sådana handlingar.

7 Slutsats

7.1 Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus?

Vilka rekommendationer från MSB påverkar ett klimatneutralt sjukhus?

De stora delarna är rekommendationerna kring brandskydd och beständighet vilket gör det svårt att idag bygg ett sjukhus i något annat än betong och stål. Montering av solceller på en sjukhusbyggnad blir begränsad då solceller har viss brandrisk samt kan hindra eventuell räddningspersonal vid brand. Solceller kan däremot monteras på icke kritiska delar kring sjukhuset, exempelvis parkeringsplats eller tillhörande administrationsbyggnad, vilket hade kunnat användas för viss klimatkompensering.

Vilka följder får LFM30:s metod på ett klimatneutralt sjukhus?

LFM30:s krav på att hälften av klimatpåverkan skall vara återbetalt när projektet står klart tillsammans med kraven på återbetalningsmetoderna skapar viss svårighet att klimatkompensera. Det kommer krävas en god planering och möjliga återbetalningsalternativ måste vägas mot varandra.

Går det att bygga ett klimatneutralt sjukhus idag?

Med goda designval, tillsammans med mycket återbruk och användning av klimatsmarta materialalternativ kan ett sjukhus med relativt låg klimatpåverkan uppföras. Utförs en god återbetalningsplan hade sjukhuset med stor sannolikhet kunnat bli klimatneutral efter 50 år.

Vilka innovationer kommer förverkliga/förenkla detta i framtiden?

Ännu klimatsmarta eller klimatneutral betong och stål kommer göra en stor skillnad på möjligheterna för ett klimatneutralt sjukhus. Om materialet redan är klimatkompenserat för innan det kommer till byggplatsen gör resterande återbetalningsarbete väldigt mycket enklare. Detta kräver dock att CCS-tekniken utvecklas och börjar användas vid materialtillverkningen.

7.2 Förslag på fortsatta studier

- MSB rekommenderar inte en bärande konstruktion i ett brännbart material som trä. Däremot anser Träguiden (2021) och Nilvér & Burström (2018) att en träkonstruktion har goda förmågor vid en eventuell brand, exempelvis bibehålla bärförmågan. Vanligen har träkonstruktioner även en lägre klimatpåverkan än en betongbyggnad. Det behövs en robust betongbyggnad för vissa av de mer kritiska avdelningarna (exempelvis IVA), men andra avdelningar av ett sjukhus kanske inte behövs anses lika kritiska. Att konstruera separata byggnader med trästomme där de “mindre kritiska” avdelningarna kan placeras skulle kunna reducera storleken på den “kritiska” betongbyggnaden. Detta skulle även tillåta installation av solceller på träbyggnaden samtidigt som det potentiellt kan ge ett bättre brandskydd då byggnaderna kan placeras för att hindra spridning. Görs detta kan det leda till en lägre klimatpåverkan för sjukhusområdet medan MSB:s rekommendationer till stor del följs om avdelningarna blir placerade med god motivering.
- Enligt MSB:s riktlinjer, avseende sjukhusbyggnader, bör samhällsviktiga byggnationer uppfylla vissa krav, stabil struktur, obrännbara material och väl beprövade metoder vid uppförandet. Detta kan försvåra byggandet av klimatsmarta sjukhus. En väg framåt kan vara en analys av den totala strukturen i området kring en samhällsviktig byggnad som i sig ger ett stort klimatavtryck. Genom uppförandet av klimatpositiva boenden, naturparker och anläggningar som genererar förnyelsebar energi kan den samhällsviktiga byggnaden vägas upp. En sådan strategi kräver dock ytterligare studier av insatser som kan behövas, exempelvis avvägningen mellan klimatbelastning och klimatnytta från omgivande byggnader och strukturer, eventuell lagstiftning som kan påverka samt de politiska beslut som behöver tas.
- Under arbetet uppkom frågan om vilket av karbonatisering och återbruk av betong är bäst för att sänka klimatpåverkan?
Ska betongen fördelas ned i små enheter för att få en stor yta som exponeras mot luft och karbonatiseras, som sedan användas det som exempelvis fyllnadsmaterial och därmed eventuellt skapa en möjlighet för att lagra kol?
Eller är det bättre att arbeta mot att återvinna betongen för att få en längre livslängd och dessutom spara på utsläpp då mindre ny betong skulle behövas för konstruktionen? Vad är bäst för klimatet? Påverkas karbonatiseringsprocessen vid återbruk av betong?

8 Litteraturförteckning

- Boverket. (n.d.). *Ordlista för klimatdeklaration*. Boverket. Hämtad Oktober 13, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/ordlista/>
- Boverket. (2019a). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Boverket. Hämtad April 22, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/>
- Boverket. (2019b). *Metodval för LCA*. Boverket. Hämtad April 22, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sah-ar-gors-en-lca/metodval-for-lca/>
- Boverket. (2019c). *LCA i ett tidigt skede*. Boverket. Hämtad April 22, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/lca-i-byggprocessen/lca-i-ett-tidigt-skede/>
- Boverket. (2020). *Indelning i byggnadsklass och verksamhetsklasser - PBL kunskapsbanken*. Boverket. Hämtad April 21, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-byggregler/brandskydd/byggnadsklass-och-verksamhetsklasser/>
- Boverket. (2021a). *Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn*. Boverket. Hämtad Mars 23, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>
- Boverket. (2021b). *Om Boverkets klimatdatabas - Klimatdeklaration*. Boverket. Hämtad Maj 11, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>
- Boverket. (2022). *Bygghälsan som ingår - Klimatdeklaration*. Boverket. Hämtad April 29, 2022, från <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/gor-sa-har/bygghalsan-som-ingar/>

Brandforsk. (2019). *Innovativa elsystem i byggnader – konsekvenser för brandsäkerhet* (Vol. 6).

Brandforsk.

https://www.brandskyddsforeningen.se/globalassets/brandforsk/rapporter-2019/brandforsk_innovativa_elsystem_rapport.pdf

Cementa. (n.d. a). *Byggbranschen om Slite CCS: ”En förutsättning för vår klimatomställning”*.

Hämtad April 28, 2022, från

<https://www.cementa.se/sv/byggbranschen-om-slite-ccs-en-forutsattning-for-var-klimatomstallning-0>

Cementa. (n.d. b). *Koldioxid återtas permanent ur luften med hjälp av karbonatisering*. Cementa.

Hämtad Maj 13, 2022, från <https://www.cementa.se/sv/karbonatisering-vad-ar-det>

Energimyndigheten. (n.d.). Statustujdatabas/Vindkraftsstatistik. Energimyndigheten. Hämtad Juli 6, 2022, från

https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Vindkraftsstatistik/Vindkraftsstatistik/EN0105_1.px/table/tableViewLayout2/

Energimyndigheten. (2018). Välj en anläggning som passar dina behov. Energimyndigheten. Hämtad Juli 6, 2022, från

<https://www.energimyndigheten.se/fornybart/solelportalen/hur-stor-anlaggning-passar-mig/valj-en-anlaggning-som-passar-dina-behov/>

Energimyndigheten. (2021a). *Koldioxidavskiljning och lagring (CCS)*. Energimyndigheten. Hämtad April 20, 2022, från <https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/>

Energimyndigheten. (2021b). Växthusgasberäkning. Energimyndigheten. Hämtad Juli 4, 2022, från <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/fragor-och-svar/vaxthusgasberakning/>

Energimyndigheten. (2022a). *Frågor och svar om CCS och stödsystemet*. Energimyndigheten.

Hämtad Maj 12, 2022, från

<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/fragor-och-svar-om-ccs-och-stodsystem-et/>

Energimyndigheten. (2022b). *Statligt stöd för bio-CCS - Klimat & miljö*. Energimyndigheten.

Hämtad April 20, 2022, från

<https://www.energimyndigheten.se/klimat--miljo/ccs/statligt-stod-for-bio-ccs/>

Energimyndigheten. (2022c). *H2 Green Steel förbereder för fossilfri stålproduktion i Boden*.

Energimyndigheten. Hämtad Maj 3, 2022, från

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/h2-green-steel-forbereder-for-fossilfri-stalproduktion-i-boden/>

Erlandsson, M., & Malmqvist, T. (2018). *Olika byggsystem av betong och trä där mix av material inklusive stål ger klimatfördela*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/olika-byggsystem-av-betong-och-tra-dar-mix-av-material-inklusive-stal-ger-klimatfordelar.html>

EU. (n.d.). *EU taxonomy for sustainable activities | European Commission*. European Commission.

Hämtad Maj 17, 2022, från

https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/banking-and-finance/sustainable-finance/eu-taxonomy-sustainable-activities_en

FEBY. (n.d.). Forum för Energieffektivt Byggande. Hämtad Maj 12, 2022, från <https://www.feby.se/>

FN. (n.d.). *Klimat*. Svenska FN-förbundet. Hämtad April 12, 2022, från <https://fn.se/klimat/>

Fossilfritt Sverige. (n.d.). *Betongbranschen*. Fossilfritt Sverige. Hämtad April 28, 2022, från

<https://fossilfrittsverige.se/roadmap/betongbranschen/>

Fossilfritt Sverige. (2018a). *Färdplan för Fossilfri konkurrenskraft Bygg- och Anläggningssektorn*.

<https://fossilfrittsverige.se/roadmap/bygg-och-anlaggningssektorn/>

Fossilfritt Sverige. (2018b). *Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft - Betongbranschen*.

<https://fossilfrittsverige.se/roadmap/betongbranschen/>

Fossilfritt Sverige. (2018c). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Stålindustrin*.

<https://fossilfritt Sverige.se/roadmap/stalindustrin/>

Fossilfritt Sverige. (2020). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft: Fordonsindustrin – tunga fordon*.

<https://fossilfritt Sverige.se/roadmap/fordonsindustrin-tunga-fordon/>

Gerhardsson, H., Andersson, J., & Thrysin, Å. (2020). *Återbrukets climateffekter vid byggnation - Handledning för klimatberäkningar i enlighet med EN 15978*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/aterbrukets-klimat-effekter-vid-byggnation----- --handledning-for-klimatberakningar-i-enlighet-med-en-15978.html>

Gode, J., & Kristoferson, K. (2011). *Förutsättningar för avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) i Sverige. En syntes av Östersjöprojektet*. IVL Svenska Miljöinstitutet.

<https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/forutsattningar-for-avskiljning-och-lagring-av-koldioxid-ccs-i-sverige.-en-syntes-av-ostersjoprojektet..html>

IEA. (2021). *Net Zero by 2050 - Net Zero by 2050*. IEA.

<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis - Summary for*

Policymakers (AR6 ed.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

IPCC. (2022a). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Summary for*

Policymakers. IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

IPCC. (2022b). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change - Summary for Policymakers*.

IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

Jernkontoret. (2021). *Slagg, en mycket användbar restprodukt*. Jernkontoret. Hämtad Maj 12, 2022, från

<https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/tillverkning-anvandning-atervinning/restprodukter/slagg/>

- Larsson, M., & Erlandsson, M. (2016). Byggandets klimatpåverkan. IVL.
<https://www.ivl.se/publikationer/publikationer/byggandetsklimatpaverkan.4.1ee76657178f8586dfc62e1.html>
- Leppäkoski, L., Marttila, M. P., Uusitalo, V., Levänen, J., Halonen, V., & Mikkilä, M. H. (2021). Assessing the Carbon Footprint of Biochar från Willow Grown on Marginal Lands in Finland. MDPI. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/18/10097/htm>
- LFM30. (n.d.). LFM30 – Netto noll CO2-utsläpp till 2030. Hämtad Mars 22, 2022, från <https://lfm30.se/>
- LFM30. (2021). *LFM30:s Klimatlöfte - Huvuddokument* (Version 1.4 ed.).
<https://lfm30.se/resultat-och-klimatredovisning/#1647535323054-0bb8925c-9557>
- LFM30. (2022a). *Klimatlöfte - Översikt* (Version 1.6 ed.).
<https://lfm30.se/resultat-och-klimatredovisning/>
- LFM30. (2022b). *LFM30:s Klimatlöfte - översikt* (Version 1.6 ed.).
<https://lfm30.se/resultat-och-klimatredovisning/>
- LFM30. (2022c). *Metod för klimatbudget* (1.6 ed.). <https://lfm30.se/resultat-och-klimatredovisning/>
- LFM30. (2022d). *Metod Klimatbudget: Kriterier på projektnivå* (1.6 ed.).
<https://lfm30.se/resultat-och-klimatredovisning/>
- Lützkendorf, T., & Frischknecht, R. (2020). *(Net-) zero-emission buildings: a typology of terms and definitions*. Building & Cities. <https://journal-buildingscities.org/articles/10.5334/bc.66/>
- MSB. (2021). *Den robusta sjukhusbyggnaden - En vägledning för driftsäkra sjukhusbyggnader*. Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap.
<https://www.msb.se/sv/publikationer/den-robusta-sjukhusbyggnaden---2021--en-vagledning-f-or-driftsakra-sjukhusbyggnader/>

- Naturskyddsföreningen. (2021). *Startsida Klimat, energi och transporter Vad säger den senaste IPCC-rapporten?* Naturskyddsföreningen. Hämtad April 11, 2022, från <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-sager-den-senaste-ipcc-rapporten/>
- Naturvårdsverket. (n.d. a). *Inrikes transporter, utsläpp av växthusgaser.* Naturvårdsverket. Hämtad April 11, 2022, från <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-inrikes-transporter/>
- Naturvårdsverket. (n.d. b). *Vad är Parisavtalet?* Naturvårdsverket. Hämtad April 12, 2022, från <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/vad-ar-parisavtalet/>
- Nilvér, K., & Burström, P. G. (2018). *Byggnadsmaterial: tillverkning, egenskaper och användning* (3:e uppl. ed.). Studentlitteratur.
- Nyberg, R., & Tidström, A. (Eds.). (2012). *Skriv vetenskapliga uppsatser, examensarbeten och avhandlingar* (Upplaga 2:2 ed.). Studentlitteratur.
- Pädam, S., Balian, D., Uppenberg, S., & Wadström, E. (2021). *Klimatneutral betong genom kravställning - Hinder och möjligheter.* Naturvårdsverket. <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/6900/klimatneutral-betong-genom-kravstallning/>
- Patel, R., & Davidson, B. (2011). *Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning* (Upplaga 4:2 ed.). Studentlitteratur.
- Regeringen. (2021). *Klimatmötet i Glasgow måste hålla 1,5 gradersmålet inom räckhåll.* Regeringen. Hämtad April 11, 2022, från <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/10/klimatmotet-i-glasgow-maste-halla-15-gradersmalet-inom-rackhall/>

- Region Skåne. (2022a). *Regionfastigheter*. Skane.se. Hämtad Maj 2, 2022, från
<https://www.skane.se/organisation-politik/om-region-skane/Organisation/regionfastigheter/>
- Region Skåne. (2022b). *Hållbart miljöarbete på byggområden*. skane.se. Hämtad April 28, 2022,
från
<https://www.skane.se/organisation-politik/bygg-fastighetsutveckling/hallbart-miljoarbete-byggomraden/>
- RISE. (2021). Infångad koldioxid – vägen till negativa utsläpp. Research Institutes of Sweden.
Retrieved Juli 27, 2022, från
<https://www.ri.se/sv/berattelser/infangad-koldioxid-vagen-till-negativa-utslapp>
- Science Based Targets. (n.d.). *Buildings*. Science Based Targets. Hämtad April 11, 2022, från
<https://sciencebasedtargets.org/sectors/buildings>
- SGBC. (2020). *NollCO2 - Ramverk*. Sweden Green Building Council.
<https://www.sgbc.se/certifiering/nollco2/anvandarstod-for-nollco2/manualer-och-ramverk-for-nollco2/>
- SGBC. (2022). *Miljöbyggnad 3.2 - Manual nybyggnad*. Sweden Green Building Council.
<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/anvandarstod-for-miljobyggnad/manualer-och-verktyg-for-certifiering-i-miljobyggnad/>
- SGBC. (n.d. a). *Vad är NollCO2? - Sweden Green Building Council*. Sweden Green Building Council. Hämtad April 27, 2022, från
<https://www.sgbc.se/certifiering/nollco2/vad-ar-nollco2/>
- SGBC. (n.d. b). *Vad är Miljöbyggnad? - Sweden Green Building Council*. Sweden Green Building Council. Hämtad Maj 12, 2022, från
<https://www.sgbc.se/certifiering/miljobyggnad/vad-ar-miljobyggnad/>

- SGBC. (n.d. c). *Manualutveckling av Miljöbyggnad 4.0 - Sweden Green Building Council*. Sweden Green Building Council. Hämtad Maj 17, 2022, från <https://www.sgbc.se/utveckling/manualutveckling-av-miljobyggnad-4-0/>
- SIS. (2006). *Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur* (SS-EN ISO 14040:2006 ed.). Svenska Institutet för Standarder. <https://www.sis.se/produkter/ledningssystem-e07b0fe8/ledningssystem-for-miljo/sseniso140402006/>
- SIS. (2011). *Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestanda - Beräkningsmetod* (SS-EN 15978:2011 ed.). Svenska Institutet för Standarder. <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnader/ovrigt/ssen159782011/>
- SIS. (2012). *Miljömärkning och miljödeklarationer – Egna miljöuttalanden* (SS-EN ISO 14021/A1:2012 ed.). Svenska Institutet för Standarder. <https://www.sis.se/produkter/ledningssystem-e07b0fe8/ledningssystem-for-miljo/ss-en-iso-140212017/>
- SIS. (2017). *Hållbarhet hos byggnadsverk - Miljödeklarationer - Produktspecifika regler för betong och förtillverkade betongprodukter* (SS-EN 16757:2017 ed.). Svenska Institutet för Standarder. <https://www.sis.se/produkter/byggnadsmaterial-och-byggnader/byggnadsmaterial/betong-och-betongprodukter/ss-en-167572017/>
- SSAB. (n.d.). *SSAB satsar på att lansera världens första fossilfria stål 2026*. SSAB. Hämtad Maj 3, 2022, från <https://www.ssab.com/sv-se/fossilfri/ssab-aims-to-hit-the-market-with-the-worlds-first-fossil-free-steel-in-2026>

- Stockholm Exergi. (n.d.). Bio-CCS – Fångar in och lagrar koldioxid. Stockholm Exergi. Retrieved Juli 7, 2022, från <https://www.stockholmexergi.se/minusutslapp/bio-ccs/>
- Söderqvist, H., & Erselius, G. (2020). Fjärrvärme med minusutsläpp 2019. Stockholm Exergi. <https://www.stockholmexergi.se/content/uploads/2020/07/Fj%C3%A4rrv%C3%A4rme-med-minusutsl%C3%A4pp-rapport-ink-bilaga-2020-07-02-slutlig-.pdf>
- Svensk Betong. (2017). *Betong och klimat - en rapport om arbetet för klimatneutral betong*. <https://www.svenskbetong.se/klimatrapport>
- Svensk Betong. (2018). *Betong och klimat*. Svensk Betong. <https://www.svenskbetong.se/hallbarhet/karbonatisering>
- Svensk Betong. (2022). *Klimatförbättrad betong* (Utgåva 2 ed.). <https://www.svenskbetong.se/component/content/article/2-ej-kategoriserad/1336-vagledning-klimatforbatttrad-betong-ny-utgava>
- Sveriges Miljömål. (2020). *Sveriges miljömål och de globala hållbarhetsmålen*. Sveriges miljömål. Hämtad April 12, 2022, från <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/sveriges-miljomal-och-de-globala-hallbarhetsmalen/>
- Träguiden. (2021). *Brandsäkerhet*. Hämtad April 29, 2022, från <https://www.traguiden.se/om-tra/brandsakerhet/>
- UNDP. (n.d.). *Sustainable Development Goals*. United Nations Development Programme. Hämtad Mars 23, 2022, från <https://www.undp.org/sustainable-development-goals>
- UNFCCC. (2016). *Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session* (FCCC/CP/2015/10/Add.1 ed.). <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/paris-climate-change-conference-november-2015/cop-21#eq-39>

UNFCCC. (2021). *A Beginner's Guide to Climate Neutrality*. UNFCCC. Hämtad April 26, 2022,
från <https://unfccc.int/blog/a-beginner-s-guide-to-climate-neutrality>

ZEB. (n.d.). *ZEB Definitions*. ZEB. Hämtad April 27, 2022, från
<http://www.zeb.no/index.php/en/about-zeb/zeb-definitions>

ZEB. (2016). *A Norwegian ZEB Definition Guideline* (ZEB Project report 29 – 2016 ed.).
<http://www.zeb.no/index.php/en/news-and-events/256-a-norwegian-zeb-definition-guideline>