



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 20048
Examensarbete 30 hp
December 2020



Klimatpåverkan och primärenergi- användning från en multihall i två plan

En livscykelanalys av Hästhagens sporthall
i Malmö

Lovisa Eriksson

REFERAT

Klimatpåverkan och primärenergianvändning från en multihall i två plan - en livscykelanalys av Hästhagens sporthall i Malmö

Lovisa Eriksson

Till följd av ökade utsläpp av växthusgaser har klimatförändringar blivit ett faktum och ett väldiskuterat ämne världen över. Parallellt med klimatfrågan behöver den allmänna folkhälsan gynnas, och med ett ständigt växande samhälle växer även efterfrågan på fler idrottsanläggningar. Då byggnader står för en betydande del av bidragen till den globala klimatpåverkan och primärenergianvändning blir idrottsanläggningars miljöpåverkan en allt viktigare fråga. Vilka typer av anläggningar som bör byggas för att främja den allmänna folkhälsan samtidigt som miljöpåverkan minimeras är en fråga som fler och fler av Sveriges kommuner börjar diskutera. Att bygga idrottsanläggningar som multihallar i flera plan är ett fenomen som undersöks allt mer och kan möjligen vara en potentiell lösning.

Syftet med detta examensarbete var att undersöka miljöpåverkanskategorierna klimatpåverkan och primärenergianvändningen från Hästhagens sporthall i Malmö. Hallen är byggd i två plan och innehåller därmed två fullstora gymnastikhallar staplade på varandra. Miljöpåverkan från denna multihall jämfördes sedan med den från en traditionell sporthall i ett plan. För att analysera miljöpåverkanskategorierna utfördes en livscykelanalys utifrån ISO-standarderna 14040 och 14044, och avgränsningar gjordes utifrån standarden för värdering och beräkning av byggnaders miljöprestanda, SS-EN 15978:2011. Därmed undersöktes endast modulerna A1-A5 i byggskedet, vilka innefattar produktion av byggmaterial, transport och konstruktion, samt modul B6 som hanterar energiförbrukningen i driftfasen. Materialen som studerades var de som utgör klimatskalet av Hästhagens sporthall och består främst av betong, tegel, isoleringsmaterial och fönster. I driftfasen granskades klimatpåverkan och primärenergianvändningen av fjärrvärme samt fastighets- och verksamhetsel. Resultaten visar att det är produktionen av material i modul A1-A3, samt fjärrvärmens i B6 som har störst utsläpp av CO₂-ekvivalenter och därmed bidrar mest till klimatpåverkan. Utslaget på multihallens antagna livslängd på 70 år har byggfasen en något större påverkan än driftfasen, 27 respektive 23 ton CO₂-ekvivalenter per år. Vad gäller energianvändning är det driftfasen som brukar majoriteten av primärenergien, 795 GJ per år, vilket är drygt tre gånger mer per år än de 254 GJ som byggfasen använder. I jämförelsen med en traditionell sporthall i ett plan framgår att Hästhagens sporthall i två plan är något mer energieffektiv och har en lägre klimatpåverkan per tillhandahållen aktivitetstimme. Miljöpåverkan från idrottsanläggningar är dock ett förbiset område och det krävs mer forskning för att kunna dra generella slutsatser om huruvida sporthallar i fler plan är mer miljövänliga än traditionella hallar.

Nyckelord: Multihall, sporthall, livscykelanalys, LCA, betong, byggnad, miljöpåverkan, klimatpåverkan, primärenergiförbrukning

ABSTRACT

Climate impact and primary energy use of a two-level multi-use sports facility - a life cycle assessment of Hästhagens Sporthall in Malmö

Lovisa Eriksson

Due to the increase in greenhouse gas emissions, the issue of climate change is now a well debated topic world-wide. Simultaneously, the municipalities in Sweden are constantly working on improving the public health and with a growing society the demand for new sports facilities is increasing. Since the construction and operation of buildings contribute to a major part of the global climate impact as well as primary energy use, the environmental impact of sports facilities is an important question. What sorts of buildings that are most beneficial to increase the health of the general public, and at the same time minimizing the environmental impact, is a question that a growing number of municipalities in Sweden are starting to discuss.

The aim of this thesis was to examine the climate impact and the primary energy use of Hästhagens sporthall in Malmö. The multi-use sports facility is constructed in two levels, putting two full-sized gymnasiums on top of each other. Its environmental impact was then compared to the impact of a traditional one-level gymnasium. To conduct this analysis, a life cycle assessment was performed according to the international standards ISO-14040 and 14044, and the definitions and boundaries of the study was set based on the standard SS-EN 15978:2011, defining the calculation method and assessment of environmental performance of buildings. Thus, modules A1-A5, which include production of building materials, transportation and construction, as well as module B6, which handles the energy use during operation, were examined. The materials that are included in the pre-use phase make up the shell of the building and consists mostly of concrete, brick, insulation and windows. In the operational or use phase, district heating and electricity use were studied. The results show that the production of materials, modules A1-A3, as well as the district heating have the highest emissions of CO₂-equivalents and that, if divided upon the total life expectancy of 70 years of the building, the pre-use phase has a slightly higher climate impact than the use phase, 27 versus 23 ton CO₂-equivalents per year. Regarding primary energy use, the use phase require 795 GJ per year, and has thus more than a three-fold impact than the pre-use phase, which only requires 254 GJ per year. Compared to a traditional one-level gymnasium, Hästhagens sporthall is somewhat more energy efficient and has a lower climate impact per hour performed activity. However, more research is needed to make more general conclusions about the possibility of multi-use facilities in multiple levels to be more environmentally friendly than one-level establishments.

Keywords: Multi-use facility, sports facility, gymnasium, life cycle assessment, LCA, concrete, building, environmental impact, climate impact, primary energy use

FÖRORD

Detta examensarbete är den sista biten av min utbildning som civilingenjör i miljö- och vattenteknik vid Uppsala universitet och Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Arbetet har utförts på företaget Ecoloop i Stockholm med Simon Magnusson som handledare. Torun Hammar på Institutionen för energi och teknik vid SLU har varit min ämnesgranskare. Jag vill rikta ett mycket stort tack till både Simon och Torun för vägledning och feedback under dessa 20 veckor. Er kunskap och olika infallsvinklar på mitt ämne har varit till stor hjälp!

Jag vill även tacka alla som hjälpt mig i min datainsamling och gett tillstånd till att publicera bilder och figurer; framför allt Anna Maria Wendt på Arkitektgruppen i Malmö, Thomas Horke på Malmö stad, Thomas Skjöld på Peab, Lars Sandgren på Här! samt Ola Svensson & Henrik Vinell på Strängbetong - som satte ihop ett underbart hjälpsamt dokument till mig med samtliga prefabricerade betongelement som ingick i byggnationen av Hästhagens sporthall. Ett stort tack till alla medarbetare på Ecoloop som kommit med spännande synpunkter på mitt examensarbete och bidragit med inspiration.

I ärlighetens namn har det varit lite klurigt att få ihop detta arbete hemifrån under en global pandemi, och jag vill naturligtvis även tacka mina vänner och familj för allt stöd, hjälp att tolka material och ritningar samt svar på mina ibland halvdumma frågor. Till alla mina pluggkompisar, tack för att ni gjort min tid i Uppsala så minnesvärd.

Sist vill jag faktiskt även tacka mig själv, du är *** klar nu!

Lovisa Eriksson
Uppsala, December 2020

Copyright © Lovisa Eriksson, Institutionen för energi och teknik,
Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU)
UPTEC W 20048, ISSN 1401-5765
Publicerad digitalt i Diva, 2020, hos institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala.
(<http://www.diva-portal.org/>)

POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING

Klimatpåverkan och primärenergianvändning från en multihall i två plan - en livscykelanalys av Hästhagens sporthall i Malmö

Lovisa Eriksson

I takt med att länder utvecklas och samhällen växer ökar utsläppen av växthusgaser och användning av energikällor. I princip all mänsklig aktivitet har idag utsläpp av gaser som koldioxid, metan och lustgas kopplat till sig. Varje växthusgas bidrar till en ökad temperatur i atmosfären och globala klimatförändringar. Även användning av primärenergi, från främst icke förnybara källor, bidrar till miljöförändringar. För gemene man kan dessa förändringar visa sig som exempelvis extra varma vintrar, lokala stormar och översvämningar. Byggbranschen står idag för en stor del av både klimatpåverkan och primärenergianvändningen, och därför har det blivit allt vanligare att undersöka byggnaders miljöpåverkan med hjälp av en livscykelanalys (LCA). Detta är en metod som studerar en produkt eller tjänsts totala miljöpåverkan, inom valda kategorier, under hela dess livstid, det vill säga från utvinning av råmaterial till dess att produkten slängs eller slutas användas.

Ett samtida problem, i och med en växande urbanisering, är platsbrist i städerna. Kommuner vill bygga fler bostäder för att ge plats till nya invånare, men hand i hand med detta går naturligtvis infrastruktur och ett mål om den allmänna folkhälsan. En ökad population ger en ökad efterfrågan på idrottsanläggningar, och kommuner måste då avgöra om bostäder eller sportanläggningar bör byggas på den tillgängliga marken. Med allt detta i åtanke var målsättningen med det här arbetet att undersöka klimatpåverkan och primärenergianvändningen från en multihall i två plan i Malmö, kallad Hästhagens sporthall. Multihallen innehåller två fullstora gymnastiksalarna som är byggda ovanpå varandra, och tar därmed endast upp lika mycket markyta som den gamla hallen i ett plan som stod där innan. Tanken var att nytänkande sporthallar som denna kanske kan hjälpa till att lösa en del av problematiken kring platsbrist och valet av bostäder eller idrottsanläggningar i städerna, och samtidigt möjligtvis ha en lägre miljöpåverkan än traditionella sporthallar. Arbetet syftar till att undersöka hur stor miljöpåverkan, i kategorierna klimatpåverkan och primärenergianvändning, sporthallen har, vilka processer som bidrar med störst utsläpp och energianvändning samt hur resultatet står sig i jämförelsen med en sporthall i endast ett plan.

Metoden som valdes för analysen var en LCA, och arbetet utgick från två internationella standarder, ISO-14040 samt ISO-14044, som beskriver den internationellt erkända metoden för att genomföra en livscykelanalys. För att kunna göra en transparent jämförelse med andra, vanliga sporthallar har systemgränser och genomförandet av beräkningsmetoden även grundats i standarden SS-EN 15978:2011. Den innehåller specifika riktlinjer för hur en LCA för byggnader bör utföras och hur livscykeln för byggnaden bör delas upp i olika delar, i standarden kallas dessa delar för moduler. De namnges från A1 till D och i det här examensarbetet har modulerna A1-A5 samt B6 valt att inkluderas. Övriga moduler har exkluderats då det enligt litteratur är de valda modulerna som bidrar med störst påverkan. A1 till A5 beskriver utvinning av råmaterial (A1), transport till fabrik (A2), tillverkning i fabrik (A3), transport till byggarbetsplatsen (A4) och konstruktion av byggnaden (A5). Alla dessa delar ingår i vad som i rapporten kallas för byggfasen. Modul B6 innefattar energiförbrukning i driftfasen och här har fjärrvärme, fastighets- och verksamhetsel undersöks. De material som är inkluderade i studien är främst de som ingår i sporthallens klimatskal, det vill säga det som krävs för att människor ska kunna vistas i byggnaden. På grund av Hästhagens lösning med två fullstora sportsalar ovanpå varandra krävs ett material som håller upp den stora spännvidden och tyngden. Därför har stora mängder betong använts, och utöver det ingår även tegel, isoleringsmaterial och fönster i klimatskalet.

Men hur gick då själva analysen till rent konkret? Jo, data börjades samlas in från företag och personer involverade i byggnationen av multihallen. För att kunna utföra beräkningar på miljöpåverkan krävs det att kvantiteter och typ av material är kända. Leverantörer, byggföretag, arkitekter och konstruktionsansvariga kontaktades för insamling av specifik data för Hästhagens sporthall. Utifrån ritningar kunde till exempel mängder för vissa material uppskattas. Utöver kvantiteter för vardera material krävdes även miljödata, som samlades in med hjälp av miljövarudeklarationer (EPD:er, från engelskans Environmental Product Declaration). Detta visade sig vara en svårighet då långt ifrån alla leverantörer producerar EPD:er för sina material, ofta på grund av bristfällighet

information om hur det bör göras på ett transparent sätt. Med hjälp av omvandlingsfaktorer, kallade karaktäriseringsfaktorer, kunde de olika utsläppen och energiförbrukningen som åtgått till tillverkningen av material räknas om till samma enhet, i detta arbete användes koldioxidekvivalenter samt gigajoule primärenergi.

När resultaten sammanställts visade det sig att byggfasen, närmare bestämt modul A1-A3, samt fjärrvärmens i driftfasen och modul B6 hade störst klimatpåverkan. Detta var väntat utifrån resultat i andra rapporter, men den höga andel som framför allt tillverkningen av materialen bidrog med förklaras främst i mängden betong som använts. Detta är ett material som kräver många resurser för att tillverkas, med avseende på energi till produktion men även inbundet i betongen, vilket ger ett högt koldioxidutsläpp per ton betong. Då klimatpåverkan slogs ut på antal år sporthallen är beräknad att användas var påverkan från byggfasen något större än den från driftfasen, 27 respektive 23 ton koldioxidekvivalenter per år. Beträffande primärenergianvändningen visade analysen att driftfasen kräver 795 gigajoule per år, vilket är upp emot tre gånger så stor som byggfasens användning, 254 gigajoule per år. Däremot stod byggfasen för en stor del av användningen av den icke förnybara primärenergien. För att jämföra multihallen i två plan med den traditionella sporthallen i ett plan användes koldioxidutsläpp per tillhandahållen aktivitetstimme samt per uppvärmd yta. För båda enheterna var Hästhagens sporthall något bättre, det vill säga om en person idrottar i en timme i Hästhagens sporthall är dennes koldioxidavtryck mindre än om personen hade utnyttjat sporthallen i ett plan. Skillnaderna mellan de båda sporthallarna är dock små och då miljöpåverkan från idrottsanläggningar verkar vara ett nytt område krävs mer forskning för att det ska vara möjligt att dra mer generella slutsatser gällande effektiviteten av att bygga sportanläggningar på höjden.

DEFINITIONER OCH BEGREPP

Multihall	En byggnad med flera hallar utformade för olika sporter. Kan bestå av flera sporthallar.
Sporthall	En eller flera hallar för bollspel samt gymnastik.
Idrottsanläggning	Samlingsnamn för alla olika typer av anläggningar för idrottsutövande.
EPD	Environmental Product Declaration. Kallas miljövarudeklaration på svenska och är en rapport över en viss produkt/material miljöpåverkan under definierade systemgränser.
LCA	Livscykelanalys. En iterativ process för att beräkna en produkt eller tjänsts miljöpåverkan genom hela dess livscykel.
LCI	Livscykelinventering. Den fasen av en LCA där datainsamling och omräkning till korrekt funktionell enhet sker.
LCIA	Miljöpåverkansbedömning. Tredje fasen av en LCA där den totala miljöpåverkan i respektive undersökt kategori sammanställs.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

REFERAT	I
ABSTRACT	II
FÖRORD	III
POPULÄRVETENSKAPLIG SAMMANFATTNING	IV
DEFINITIONER OCH BEGREPP	VI
1 INLEDNING	1
1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	2
1.2 AVGRÄNSNINGAR	2
2 TEORI	3
2.1 MULTIHALLAR	3
2.1.1 Österåker	3
2.1.2 Sundbyberg	3
2.2 HÄSTHAGENS SPORTHALL I MALMÖ	3
2.3 LIVSCYKELANALYS	8
2.3.1 Processerna i LCA	8
2.3.2 Hantering av el och primärenergi	11
2.3.3 Hantering av klimatpåverkan	12
2.3.4 LCA för byggnader	13
2.3.5 Standard för beräkningsmetod	13
2.4 MILJÖVARUDEKLARATIONER	14
3 METOD	15
3.1 DATAINSAMLING	15
3.2 SYSTEMBESKRIVNING	15
3.2.1 Modul A1 till A3 - Produktskede	16
3.2.2 Modul A4 - Transport	16
3.2.3 Modul A5 - Konstruktion	17
3.2.4 Modul B6 - Energihantering	17
3.3 INVENTERINGSANALYS	17
3.3.1 Markförberedande arbete	17
3.3.2 Tätspont	18
3.3.3 Betong	18
3.3.4 Stål och armering	19
3.3.5 Tegel	19
3.3.6 Fönster	19
3.3.7 Isoleringmaterial	20
3.3.8 Fjärrvärme	20
3.3.9 Elanvändning	21
4 RESULTAT	23
4.1 KLIMATPÅVERKAN	23
4.2 PRIMÄRENERGIANVÄNDNING	26
4.3 JÄMFÖRELSE MED TRADITIONELL SPORTHALL	29
4.4 KÄNSLIGHETSANALYS	30
4.4.1 Val av elmix	30

4.4.2	Byggnadens livslängd	32
5	DISKUSSION	34
5.1	KLIMATPÅVERKAN	34
5.2	PRIMÄRENERGIANVÄNDNING	35
5.3	METODVAL	36
5.4	YTTERLIGARE STUDIER	37
6	SLUTSATS	38
	REFERENSER	39
	OPUBLICERAT MATERIAL	43
	PERSONLIG KOMMUNIKATION	43

1 INLEDNING

Klimatförändringar till följd av utsläpp av växthusgaser är idag ett globalt problem som diskuteras häftigt både i politiska och vardagliga sammanhang. Sedan år 1850-1900, då den industriella revolutionen skedde, har den globala landtemperaturen ökat. Utsläpp av växthusgaser från användandet av fossila resurser till bland annat industri, fordon och infrastruktur har sedan dess bidragit till allt större klimatförändringar (IPCC 2019). I strävan att främja både en teknisk och social utveckling i världen har den mänskliga påverkan på klimatet blivit allt större. Den ökade temperaturen i atmosfären har till följd att klimatzoner förändras och ett skifte till allt fler arida klimat samt minskade polarklimat är nu ett faktum (IPCC 2019). För att anpassa sig, mildra samt motverka de klimatförändringar som har skett och som beräknas ske i framtiden skrev många av världens länder på Parisavtalet år 2015 (Naturvårdsverket 2020b). I och med påskriften förbinder sig länderna till att arbeta för att hålla ökningen av den globala medeltemperaturen under 2 grader, men helst inte överstiga 1,5 grader (Naturskyddsföreningen 2016). Avtalet innehåller även globala mål och riktlinjer för hur länder kan anpassa och förhålla sig till de klimatförändringar som sker för att minimera sin sårbarhet mot dessa. Att bygga upp en grön infrastruktur för att tackla påverkan som kan ske på bebyggelse och samhälle är en av de strategier som Sverige har beslutat att eftersträva till följd av Parisavtalet (Naturvårdsverket 2020a).

Ett samtida problem för länder världen över är den allmänna folkhälsan. Idrott och hälsa är ett koncept som ofta prioriteras i svenska kommuner men i samma takt som städer växer och blir alltmer tätbebyggda uppstår platsbrist för idrottsanläggningar. Ett sätt detta har uppdagats på är att sex kommuner i Stockholm gav i uppdrag till företaget Ecoloop att undersöka miljöpåverkan och nyttan av olika idrottsanläggningar runt om i staden. Detta för att få in underlag till vidare utveckling av Stockholms kommuner, och deras invånares hälsa, på ett hållbart sätt. De idrottsanläggningar som brukas idag tar ofta upp stor markyta och trots att en hall ofta kan användas för olika sporter krävs separata anläggningar för till exempel curling, fotboll och tennis. Detta innebär att efterfrågan på många olika anläggningar finns för att gynna den allmänna folkhälsan, vilket i sin tur innebär en stor markanvändning, på mark som byggföretag och kommuner istället skulle kunna använda till bostäder, jord- eller skogsbruk. I samtid med denna problematik har ett spännande koncept för nya idrottsanläggningar, Framtidens sporthall, börjat cirkulera. Detta är något som fem av Sveriges största idrottsföreningar jobbar med och det går ut på att med hjälp av innovativa lösningar inom volymeffektivitet och flerfunktionella byggnader och rum främja den svenska folkhälsan. Tanken är att varje rum i och utanför en idrottshall ska ha flera funktioner och bjuda in till rörelse (White Arkitekter u.å.).

Den rådande platsbristen i storstäderna gör det komplicerat för kommuner att prioritera huruvida bostäder eller idrottsanläggningar, samt vilken typ av idrottsanläggning, som bör byggas. Detta är ett problem som bland annat många kommuner i Stockholm arbetar med att lösa, tillsammans med undersökningar av olika idrottsanläggningar utförda av företaget Ecoloop. Lösningar som integrerar Framtidens idrotts hall och arbetar mer i det vertikala rummet istället för det horisontella kan vara ett möjligt alternativ för att underlätta för kommuner med platsbrist att kombinera och prioritera både bostäder och folkhälsan på ett effektivt sätt. Aspekter som en eventuell minskad materialåtgång för dessa byggnader och en hållbar struktur för en lång livslängd kan då vara av intresse att utreda. I Malmö byggdes nyligen en multihall som stod klar i februari 2019, bestående av två sporthallar ovanpå varandra. Hallen är väl planerad och byggd med avsikten att minska markanvändningen men maximera antal tillhandahållna aktivitetstimmar och är en av de första att byggas i Sverige (Horke 2020). Multihallen heter Hästhagens sporthall och brukas av skolor under dagtid samt föreningssporter, främst cheerleading och basket, under kvällar och helger (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.).

I takt med att samhället ställer om mot en hållbar framtid har livscykelanalyser (LCA:er) blivit en allt tydligare trend. Med hjälp av LCA kan en produkts eller tjänsts miljöpåverkan kvantifieras genom hela dess livslängd (Boverket 2019). I en livscykelanalys beräknas miljöpåverkan inom ramen för olika kategorier, som väljs specifikt i varje enskild studie. De kategorier som kan väljas är exempelvis klimatpåverkan, försurning, övergödning och energiförbrukning, och det går att avgöra var i livscykeln som den största miljöpåverkan sker (Boverket 2019). Även LCA:er för byggnader har börjat ta en allt större plats i byggprocessen. Då byggnader står för 40 % av den globala energiförbrukningen och 38 % av växthusgasutsläpp, vilket innebär att de bidrar till en betydande miljöpåverkan, är det viktigare än någonsin att försöka minimera de negativa effekterna. Med hjälp av en LCA

fås information om var i processen de största utsläppen och påverkan sker, vilket kan vara ett hjälpmedel under byggnation samt för framtida byggen (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018).

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Det övergripande syftet för detta examensarbete var att utgå från Hästhagens sporthall i Malmö för att undersöka miljöpåverkan från en multihall i flera plan och jämföra med en konventionell anläggning i ett plan. Rapporten syftar till att klargöra hur miljöaspekter påverkas både positivt och negativt, i en förhoppning att driva frågan om hållbart idrottande framåt. Den moderna sporthallen har en innovativ arkitektur och skulle kanske kunna vara vägledande för nya sporthallar runt om i Sverige, speciellt om både folkhälsan och miljöpåverkan visar sig påverkas positivt. Ett miljövänligt idrottande kommer med största sannolikhet att bli mer och mer aktuellt då klimatförändringar fortsätter att ske. Undersökningen genomförs därför med aspirationen att underlätta för beslutsfattare om hur samhället kan fortsätta utvecklingen av idrott på ett hållbart sätt. Specifika frågeställningar presenteras nedan.

- Hur stor är klimatpåverkan för byggnation och drift av en sporthall i flera plan?
- Hur stor är primärenergianvändningen från bygg- och driftfasen?
- Hur fördelar sig de olika processerna i bygg- och driftfasen till den totala klimatpåverkan och primärenergianvändningen?
- Hur förhåller sig resultatet för multihallen med två sporthallar ovanpå varandra med en motsvarande traditionell sporthall i endast ett plan?

1.2 AVGRÄNSNINGAR

Projektet är avgränsat till att endast undersöka Hästhagens sporthall i Malmö. Enbart bygg- samt driftfasen analyseras, och därmed exkluderas avvecklingsfasen. Detta dels för att begränsa examensarbetets storlek, dels av den anledningen att det under datainsamlingen framgick att miljöpåverkan för den sista fasen i byggnadens livslängd inte är av väsentlig storlek jämfört med de första två faserna. Produktion av material, konstruktion av byggnaden, drift och underhåll anses ha betydligt högre miljöpåverkan än rivning och avfallshantering (Liljenström et al. 2014), och därmed exkluderas dessa. Utöver detta är det även möjligt att byggnaden inte rivs utan byggs om till andra ändamål, vilket är ytterligare ett skäl till att avvecklingsfasen utelämnats från undersökningen. Jämförelsen i analysen kommer endast ske med en annan hall som är byggd i endast ett plan. Detta sker till största del i resultat och diskussion. Hallen som används i jämförelsen bör ha samma användningsområde som Hästhagens sporthall. Fokus ligger på att analysera om det går att se en skillnad till följd av byggnationen i det vertikala planet jämfört med en utspridning i det horisontella planet och om det eventuellt krävs flera olika byggnader för att uppnå samma funktion som Hästhagen levererar. För klimatpåverkan och energianvändning kommer uppmärksamheten främst att riktas mot de aspekter som presenterats ovan. I rapporten används ordet miljöpåverkan som ett samlingsnamn för klimatpåverkan och primärenergianvändning, övriga kategorier som även bidrar till den totala miljöpåverkan exkluderas därmed i dess mening.

2 TEORI

2.1 MULTIHALLAR

I Sverige finns väldigt få multihallar men för att ge en bild av hur de kan se ut presenteras två olika anläggningar nedan. Dessa korta beskrivningar av planerade multihallar med innovativa lösningar är de två, utöver Hästhagens sporthall, som hittades under litteratursök. I rapporten kommer Hästhagens sporthall refereras till som både sporthall och multihall, då den består av fler än en hall med syftet att fungera för flera olika sporter, vilket denna rapport definierar som en multihall. Dock är båda hallarna avsedda för bollsporter eller gymnastik, som här även definieras som sporthall.

2.1.1 Österåker

En ny multihall planeras att byggas i Österåker i området Åkers Runö. Hallen planeras vara i ett plan på 13000 m² och ska rymma sex olika sporthallar med plats för cheerleading, basket, bordtennis, friidrott, klättring, boule, gymnastik, trampolin och innebandy. Två av hallarna avses vara fullstora och speciellt anpassade för basket och andra bollsporter, samt kunna användas till skolidrott. Inom byggnaden ska det även finnas plats för åskådare samt café, gym, mötesplats och andra områden att umgås på. Totalt förväntas 2300 personer kunna vistas i lokalerna samtidigt, varav ungefär 300 aktivt idrottande, 100 funktionärer samt 1900 åskådare. Förberedande markarbete har redan påbörjats och multihallen förväntas stå klar under år 2022 med Armada kommunfastigheter och entreprenören In3prenör som byggnadsansvariga (Mynewsdesk 2020). E.ON Värme Sverige AB och E.ON Elnät Stockholm AB ska förse hallen med värme och el (Österåker kommun 2017).

2.1.2 Sundbyberg

I Sundbyberg planerades en ny typ av multihall i tre plan att byggas, på Sundbybergs IP (Stockholm Direkt 2020). I och med att staden växer ökar behovet och efterfrågan på fler idrottsanläggning för att främja folkhälsan, livskvalitet samt öka Sundbybergs attraktivitet, integration och sociala hållbarhet. Detta, samt behovet av kontinuerliga och kostsamma upprustningar av befintlig ishall med en hög energiförbrukning var drivande krafter bakom sporthallen (Sundbyberg Stad 2018a). Ursprungsplanen var att multihallen skulle ha stått klar efter årsskiftet 2020/2021 men på grund av för höga kostnader har projektet nu stoppats. En första kalkyl visade anläggningskostnader på upp mot 550 miljoner kronor, men efter ytterligare planering och fler noggranna beräkningar landade siffran istället på 780 miljoner kronor. Därmed var Sundbyberg Stad tvungna att stoppa bygget av multihallen (Stockholm Direkt 2020).

Originalplanen var att multihallen skulle bestå av tre plan. På bottenplanet var fyra curlingbanor samt parkeringsplats för 175 bilar tänkta att anläggas. I entréplanet var två ishallar, läktare för 300 personer, café samt omklädningsrum planerat och på översta våningen skulle en fullstor konstgräsplan för 11-mannaspel anläggas. En befintlig fotbollplan och en halvstor friidrottsanläggning skulle försvinna i och med bygget av multihallen men den tänkta fotbollsplanen på översta våningen hade frilagt yta i de mindre hallarna som finns i Sundbyberg under vinterhalvåret, då fotboll skulle ha kunnat spelas på konstgräsplanen året runt (Sundbyberg Stad 2018b). Utöver detta skulle andra sporter även kunna nyttjas på inomhusplanen, så som baseboll och lacross. Byggnaden planerades att ha mått på ungefär 110 x 70 x 28 meter och i förstudien till projektet föreslogs solceller på taket. Förslaget att anlägga flera funktioner på varandra härstammade i en vilja att utnyttja den begränsade ytan som fanns på Sundbybergs IP till så stor grad som möjligt, vilket betyder att detta projekt var möjligt inom den befintliga detaljplanen. En driftkostnad på 9 miljoner kronor per år (exklusive inventarie och personal) uppskattades från en förväntad storlek på 20 000 m² och en kostnad på 450 kronor per m² (Sundbyberg Stad 2018a). Nu när projektet är stoppat planeras istället separata anläggningar att byggas då detta anses vara billigare än att bygga samtliga idrottsanläggningar under samma tak (Stockholm Direkt 2020).

2.2 HÄSTHAGENS SPORTHALL I MALMÖ

I februari 2019 stod en ny multihall i två plan klar i Malmö, kallad Hästhagens Sporthall. Byggnaden består av två fullstora gymnastiksalor som båda kan delas upp och bilda totalt fyra mindre salar. Hästhagens Sporthall

används främst till skolaktiviteter under dagtid samt föreningsliv, främst cheerleading och basket, under kvällar. Utanför byggnaden finns ett utegym samt basketplaner som kan brukas av allmänheten (Malmö stad 2019b). Efter att hallen invigts blev den en finalist i Stadsbyggnadspriset, där juryns motivering bland annat tog upp användningen av beständiga material och konceptet att frigöra mer grönyta och gynna redan fullstora träd och vegetation i staden genom att stapla hallarna på varandra (Malmö stad 2019a).

Den nya byggnaden har byggts på samma plats som en gammal gymnastiksal stod, vilken var i dåligt skick och därmed revs till förmån för Hästhagens sporthall (Horke 2020). Endast ett annat alternativ för hallen undersöktes där den helt eller delvis skulle byggas under jord på samma fastighet som en av skolorna i närheten. På grund av markförhållanden och kostnader valdes detta bort och kvar blev alternativet för den nu befintliga hallen (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.). För att byggnadshöjden på sporthallen skulle passa in i resterande, redande existerande kvarter är byggnaden nedsänkt drygt 3 meter. All byggbar mark på fastigheten är använd vilket påverkade utformningen av byggnaden. Den totala bruttoarean är 5250 m² (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.) medan den uppvärma arean är 4850 m² (Adalberth & Rydenlund 2017). Likt byggnadshöjden arbetades det med fasaden för att sporthallen skulle passa in i kvarteret. Därför är den platsmurad i rödbrunt tegel och ett konstverk som satt på den gamla hallen har återanvänts och placerats på fasaden. Geometriska mönster syns på fasaden, enligt Figur 1 och 2, och har åstadkommit genom utdrag av tegel samt olika fogmetoder, trots att allt material har samma kulör (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.).



Figur 1: Norra fasaden av Hästhagens sporthall. Foto från och publicerad med tillstånd av Arkitektgruppen i Malmö (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.). Foto: Anna Maria Wendt

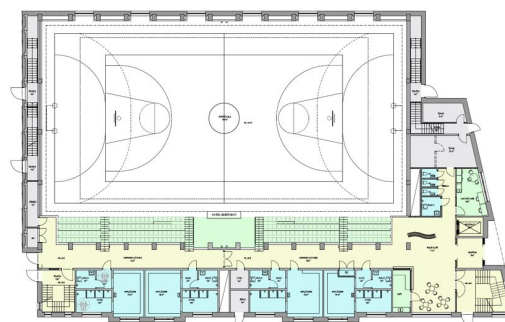


Figur 2: Östra fasaden och entrén av Hästhagens sporthall. Foto från och publicerad med tillstånd av Arkitektgruppen i Malmö (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.). Foto: Johannes Domeier

Inne i hallarna har vitlaserad björk använts som aukustikpanel och undertaken har försetts med extra isolering för att verka ljuddämpande. Den undre hallen är främst tänkt att användas av gymnasieelever under dagtid samt basket på elitnivå under kvällar och helger. Därmed har ett sportgolv i parkett använts, se Figur 3. Figur 4 visar den övre hallen, som är anpassad till att användas av grundskoleelever samt Malmös cheerleadingklubb. Här har ett kombielastikst golv installerats (Horke 2020). Multihallen innehåller, utöver de två sporthallarna, en foajé med café, omklädningsrum, gym samt föreningslokal. Båda sporthallarna har gott om fönster för att skapa en känsla av gemenskap mellan idrotterna som utövas inne med livet som pågår utanför (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.). Hästhagen håller i genomsnitt öppet 12 timmar per dag och maximalt får 1000 personer vistas i byggnaden samtidigt, vilket inkluderar 537 läktarplatser (Malmö stad 2020). Taket till hallen är belagt med ört-sedummatta vilken kan fördröja regnvatten och dessutom ökar grönytefaktorn (Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad u.å.).



(a)



(b)

Figur 3: Foto (a) samt ritning (b) av den undre hallen. Foto: Johannes Domeier. Källa: Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad (u.å.). Publicerad med tillstånd från Arkitektgruppen i Malmö.



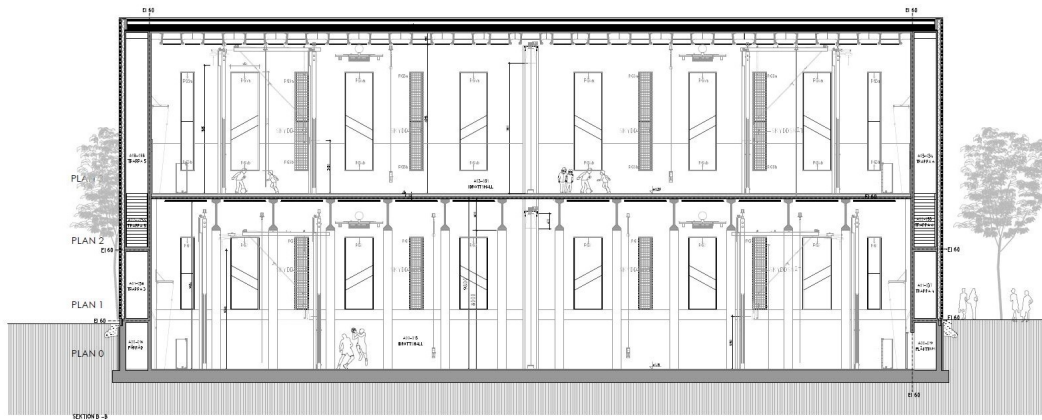
(a)



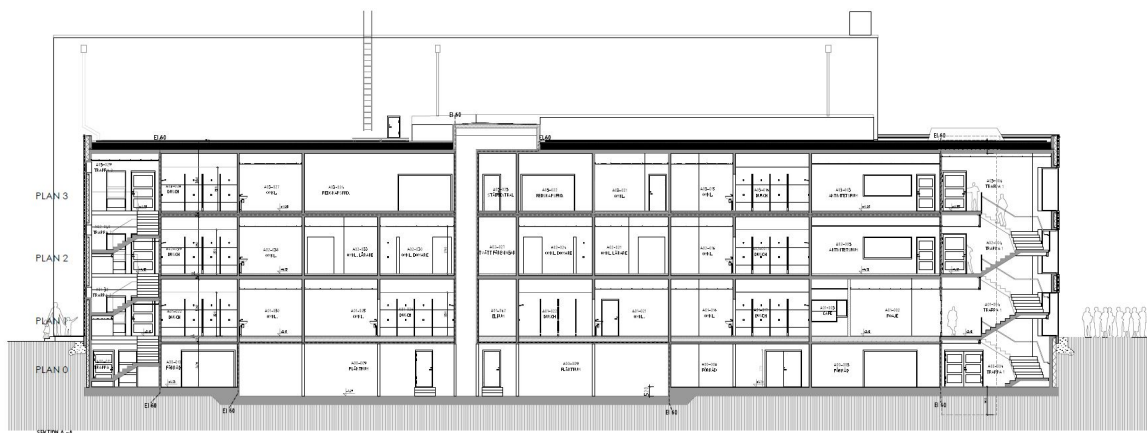
(b)

Figur 4: Foto (a) samt ritning (b) av den övre hallen. Foto: Johannes Domeier. Källa: Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad (u.å.). Publicerad med tillstånd från Arkitektgruppen i Malmö.

Enligt Horke (2020), som var projektledare för byggnationen av Hästhagens sporthall på Malmö stad, framgick att drivkraften bakom hallen var, som nämnt ovan, att de två skolorna i närheten behövde nya lokaler för idrottslektioner. Grunduppdraget kom därmed från Grundskoleförvaltningen och Gymnasieförvaltningen i Malmö. I och med att föreningar var aktiva i den gamla hallen som revs var även Fritidsförvaltningen involverade i planeringen av den nya hallen. Detta för att säkerställa att föreningslivet fick rätt förutsättningar för att kunna fortsätta bedriva sin verksamhet, så som rätt dimensionering av takhöjd. Denna behöver vara runt 9 meter för att cheerleadingklubben ska kunna hålla träningar i lokalen. Byggföretaget Peab användes som totalentreprenad i samverkan och företaget Strängbetong var ansvariga för stommen. Projekteringen för Hästhagens sporthall skedde i samråd med samtliga intressenter. Då det fanns en begränsad yta för hallen samtidigt som en högre aktivitetskapacitet än den gamla hallen krävdes menar Horke (2020) att två fullstora hallar ovanpå varandra var en given utformning av hallen. Problematik som uppstod till följd av detta innefattade främst hur konstruktionen skulle utformas för att klara av den stora spännvidden. Betong valdes som det huvudsakliga materialet då det ansågs kunna klara av tyngden från byggnaden och därtill spännvidden, samt då betong förväntades ha en längre livslängd än trä och stål. Något som var positivt i projekteringsens hållbarhetsperspektiv. De två hallarna ovanpå varandra ger dubbel så stor aktivitetsyta jämfört med den gamla hallen, inom samma upptagna markyta. I Figur 5 och 6 visas tvärsnitt av Hästhagens sporthall från den norra respektive södra sidan. Här ses även att den södra delen av hallen har en lägre takhöjd och där finns omklädningsrum samt andra gemensamma utrymmen. Sporthallarna ligger i den norra delen av multihallen, ut mot en trafikerad gata (Horke 2020).



Figur 5: Tvärsnitt av sporthallarna, från norra sidan av multihallen. Källa: (Arkitektgruppen i Malmö AB 2017). Publicerad med tillstånd från Malmö Serviceförvaltning.



Figur 6: Tvärsnitt av samtliga våningar i den lägre delen, från södra sidan av multihallen. Källa: (Arkitektgruppen i Malmö AB 2017). Publicerad med tillstånd från Malmö Serviceförvaltning.

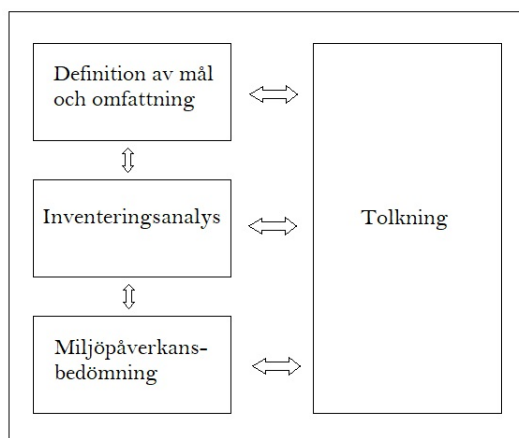
Anna Maria Wendt på Arkitektgruppen i Malmö var ansvarig arkitekt för bygget (Wendt 2020). Arkitekterna arbetade mycket med att integrera byggnaden i den befintliga miljön och skapa en kontakt mellan idrottarna inne i hallen med livet ute på gatan. Detta gjordes med de stora fönsterpartierna, som enligt Horke (2020) var specialtillverkade enligt arkitekternas önskemål. Från Arkitektfirman och Anna Maria Wendt har arkitekturritningar (A-ritningar) samlats in, och tillgång till konstruktionsritningar (K-ritningar) för grunden och källaren gavs från huvudkonstruktören Lars Sandgren på företaget Här!. Även Thomas Skjöld på Peab har tillhandahållit information och dokument kring själva byggnationen (Skjöld 2020).

2.3 LIVSCYKELANALYS

Hållbar utveckling definieras som att bestå av tre olika delar; ekonomiska, sociala och miljömässiga. När världens länder skrev på Agenda 2030 åtog de sig att från och med 2016 arbeta för att uppfylla 17 globala mål tills 2030. Dessa mål innefattar bland annat att utrota hunger och fattigdom, bevara och skydda mänskliga rättigheter och uppnå jämlikhet både mellan och inom länder. Hållbar utveckling är en central del för att uppnå samtliga mål och de tre delarna måste alla främjas för att detta ska ske (Regeringskansliet 2016). Ett sätt att utvärdera och värna om den miljömässiga aspekten av hållbar utveckling är att utföra en livscykelanalys. Detta är ett verktyg som används för att utvärdera en viss produkts möjliga miljöaspekter och påverkan från vaggan till graven, det vill säga från råmaterialutvinning, produktion och användande till avfallshantering. Metoden utgår från de europeiska standarderna ISO 14040 och 14044 och används således internationellt för att bedöma miljöpåverkan från olika produkter. Dessa är översatta till svenska och räknas därmed även som de svenska standarderna för livscykelanalys (SIS 2006b). En viktig faktor att ta hänsyn till vid användande av LCA är att metoden inte inkluderar de två andra hållbarhetsaspekterna, de sociala och ekonomiska. Om ett beslut ska baseras på metoden måste därmed även dessa utvärderas med hjälp av andra metoder (Grahl & Klöpffer 2014). Förutom att få en uppfattning om miljöpåverkan från hela processen används LCA ofta för att hitta så kallade "hot spots" under produktens livstid. Genom att utföra en LCA uppmärksammas samtliga delar av produktions- och användningskedjan och därmed kan det fastställas vilken del som har störst påverkan på miljön, det vill säga en hot spot. Fokus för att försöka minimera miljöpåverkan kan då läggas på denna delprocess (Matthews, Hendrickson & Matthews 2014).

2.3.1 Processerna i LCA

När en LCA genomförs är det viktigt att definiera systemet för att tydligt känna till systemgränser för vad som ska undersökas och inte. In- och utflöden för respektive process måste klargöras för att få ett komplett system (Matthews, Hendrickson & Matthews 2014). Ramverket för en LCA utgår från fyra olika delar som på ett iterativt sätt interagerar med varandra (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018). Dessa består av definition av mål och omfattning, inventeringsanalys, miljöpåverkansbedömning och tolkning (SIS 2006b). De fyra faserna visas i Figur 7 där de dubbelsidiga pilarna beskriver den iterativa processen mellan samtliga delar.



Figur 7: Schematisk skiss över en LCA:s ramverk. Inspirerad av (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018)

Mål och omfattning ska definieras tydligt och ska framföra vilken målgrupp resultaten är avsedda för, varför studien genomförs samt hur den ska tillämpas. Här ska även den funktionella enheten (FE) presenteras samt de systemgränser och allokeringmetoder som används. Det är viktigt att på djupet beskriva och motivera alla antaganden, krav och begränsningar som finns (SIS 2006a). Den funktionella enheten syftar till funktionen som LCA:n ska undersöka och ska utgöra en referens för in- och utflöden, vilket också innebär att den säkerställer att resultaten blir jämförbara med andra liknande system (SIS 2006b). Enheten ska vara förenlig med de mål och

den omfattning som fastställts för studien samt vara mätbar och tydligt definierad. I definition av mål och omfattning ska även de miljöpåverkanskategorier, kategoriindikatorer samt karakteriseringsmodeller som används i miljöpåverkansbedömningen anges (SIS 2006a).

För att avgränsa systemet som ska undersökas sätts systemgränser, vilka beskriver de processer, med respektive in- och utflöden, som ska ingå i studien. Det är viktigast att inkludera de processer som troligtvis har en stor påverkan på studiens resultat (SIS 2006b) samt att noggrant beskriva och motivera hur detaljerat dessa delprocesser ska undersökas. Ett sätt att avgränsa vilka in- och utflöden som ska inkluderas i studien är att använda sig av *cut-off* kriterier, vilket innebär att ett kriterium sätts för att avgöra vad som ska inkluderas och inte i analysen. Framför allt bör flöden för energi, massa och miljörelevans tas med, där *cut-off* kriteriet för massa samt energi oftast är då det kumulativa bidraget från inflöden är större än en viss procentsats. Denna procentsats bör sättas på en lämplig nivå samt motiveras tydligt. För miljörelevans bör kriteriet sättas så att de inflöden som bidrar med mer än en förbestämmd mängd bör inkluderas (SIS 2006a).

I inventeringsanalysen, som förkortas LCI för Livscykelinventering (*Life Cycle Inventory*), sker insamling av data för samtliga processer och beräkning av dessa för att relatera varje in- och utflöde till den funktionella enheten. Datan bör även valideras vilket kan ske genom exempelvis användandet av mass- eller energibalanser. Det är även i LCI:n som allokering av samtliga flöden förekommer (SIS 2006a). Allokering är en process i livscykelanalysen som tar hänsyn till att det oftast produceras flera produkter, utöver huvudprodukten, i tillverkningskedet. Detta kan vara biprodukter eller avfall, som eventuellt kan återvinnas. Allokering används då för att korrigera för de produkter som producerats men som inte är inkluderade i det undersökta systemet (SIS 2006b). För att ge ett så korrekt resultat som möjligt bör allokeringens metod väljas i enlighet med studiens mål och syfte (SIS 2006a). Det finns främst fyra olika sätt att allokera på och de presenteras nedan.

- Undvik allokering genom att dela upp den delprocess som ska allokeras i multipla processer (Finnveden et al. 2009).
- Undvik allokering genom att tillämpa systemexpansion så att systemet nu även omfattar de processer som är relaterade till biprodukterna (Finnveden et al. 2009).
- Använd fysikalisk allokering, vilket innebär att fördela miljöpåverkan så att den återspeglar det fysikaliska sambandet mellan samtliga produkter som producerats i processen (SIS 2006b).
- Ekonomisk allokering kan även användas. Detta betyder att miljöpåverkan bör fördelas för att avspegla respektive produkts ekonomiska värde (SIS 2006a).

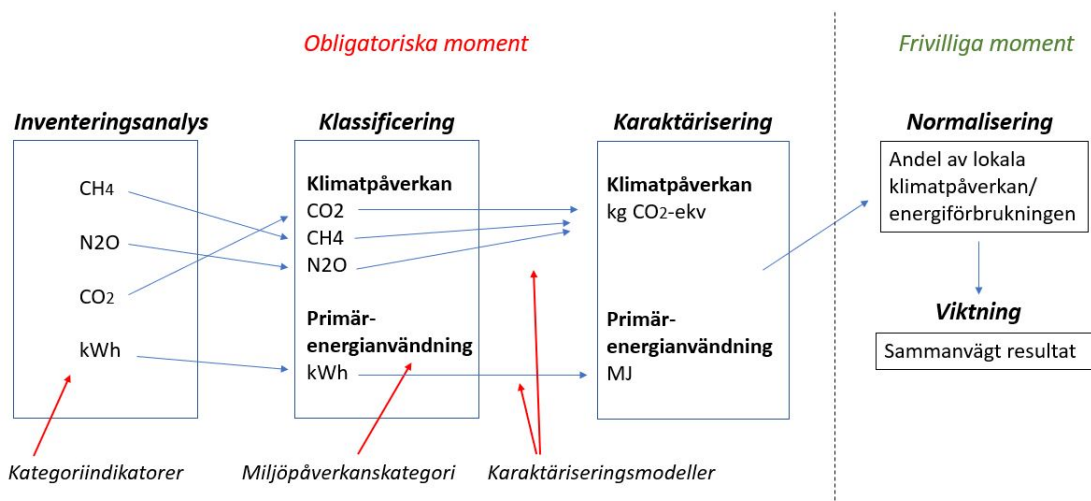
När det kommer till system med biprodukter eller avfall som går att återvinna talas det om slutna och öppna kretsar. I slutna kretsar sker ingen förändring av egenskaperna hos det återvunna materialet och det återvinns i samma system som det producerades i. I öppna kretsar förändras egenskaperna i materialet och det kan återvinnas i ett system skilt från det system som det producerats i. I båda fallen ska allokering med avseende på fysikaliska egenskaper ske i första hand, därefter ekonomiska egenskaper och sist bör allokering ske utifrån hur många gånger materialet kan användas efter återvinningen (SIS 2006a).

Nästa steg av analysen kallas miljöpåverkansbedömning, och förkortas LCIA för *Life Cycle Inventory Assessment*. I LCIA:n finns dels obligatoriska och dels frivilliga moment, som illustreras i Figur 8, där de obligatoriska momenten består av val av miljöpåverkanskategorier, kategoriindikatorer, karakteriseringsmodeller samt klassificering och karakterisering (SIS 2006a). Denna process bidrar till att tolka vilken påverkan resultatet från inventeringen har. Val av miljöpåverkanskategorier sker ofta i tidigare steg av livscykelanalysen, men i LCIA:n fastställs de och dessutom sker den så kallade klassificeringen där varje kategoriindikator (exempelvis metan eller lustgas) från inventeringen tilldelas vilken eller vilka miljöpåverkanskategori de påverkar (Finnveden et al. 2009). Därefter måste även karakteriseringsmodell väljas (SIS 2006a). Karakteriseringsmodellen bestämmer i sin tur vilka karakteriseringsfaktorer som används för att räkna om datan från inventeringen till en och samma enhet per funktionell enhet. En vanligt använd karakteriseringsmodell med faktorer för miljöpåverkanskategorin klimatpåverkan är IPCC:s Global Warming Potential för 100 år (GWP_{100}). Karakterisering omvandlar som

tidigare nämnt all indata från inventeringsanalysen till samma enhet för att därefter summera och få en total påverkan från samtliga kategoriindikatorer i den valda kategorin (Finnveden et al. 2009), enligt ekvation 1:

$$\text{kategoriindikatorns miljöpåverkan} = \text{karaktäriseringsfaktor} \cdot \text{kategoriindikatorns utsläpp} \quad (1)$$

För just klimatpåverkan används enheten kg CO₂-ekvivalenter (CO₂-ekv) per funktionell enhet, och i GWP₁₀₀ finns således faktorer som representerar hur stor påverkan varje växthusgas har jämfört med koldioxid under en 100-årsperiod (SIS 2006a).



Figur 8: Illustration av de obligatoriska samt frivilliga momenten i LCIA-processen. Exempel med kategoriindikatorerna metan (CH₄), lustgas (N₂O), koldioxid (CO₂) och kilowattimmar (kWh).

De två frivilliga momenten i LCIA:n kallas normalisering och viktning. Enligt ISO-standarden 14044 (2006a) innebär normalisering att resultatet av den sammanlagda miljöpåverkan sätts i förhållande till ett referensvärde. Detta betyder att normaliseringen förklarar en viss miljöpåverkanskategoris betydelse i förhållande till de andra kategorier som valts. Viktning i sin tur innebär att resultatet från den sammanlagda påverkan inom varje kategori sammanvägs till ett gemensamt resultat med hjälp av faktorer framtagna från värderingar eller politiska synsätt (SIS 2006a). Enligt samma ISO-standard är det dock inte tillåtet att använda viktning om resultatet ska förmedlas till allmänheten (Finnveden et al. 2009), detta på grund av att metoden grundar sig på värderingar och inte ren vetenskaplig fakta.

Den sista delen av ramverket för en LCA är tolkning av resultatet. Tolkningen ska sätta resultatet och känslighetsanalyser i förhållande till definition av mål och omfattning. Det är av stor vikt att detta presenteras på ett transparent sätt, det vill säga att både svagheter, styrkor och osäkerheter framhävs ordentligt (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018).

Generellt sett finns det två olika typer av LCA; bokföring/attribitional (ALCA) och konsekvens/consequential (CLCA). En ALCA undersöker de relevanta in- och utflödena som är väsentliga för en miljöanalys, i ett förutbestämt fast system och inom en viss tidsram. En CLCA beskriver istället hur dessa flöden kan komma att förändras på grund av förändrade beslut i processen (Ekvall et al. 2016). Vilken typ av LCA som används beror på vad analysen ska användas till. Om det är för att enkelt kunna jämföra två liknande produkter eller undersöka vilken del av processen som har störst miljöpåverkan är en ALCA mest användbar. En CLCA kan istället vara gynnsam att använda då ett beslut måste tas angående om en viss del i processen ska ändras. I sådana fall kan

en CLCA ge en indikation på hur miljöpåverkan kommer förändras till följd av en ändring tidigare i processen. Ytterligare en aspekt som skiljer de två olika metoderna åt är typen av data som används. Medeldata anses oftast vara lämplig att användas i en ALCA, vilket betyder att data för de faktiska fysiska flödena används. Marginaldata avser istället data över förändringar i flöden som sker i en CLCA (Ekvall et al. 2016). Detta arbete använder sig av en ALCA och analyserar därmed medeldata relaterad till Hästhagens sporthall.

2.3.2 Hantering av el och primärenergi

För att klargöra hur mycket energi som gått åt under en produkts livscykel används begreppet primärenergi (PE), vilket innebär den energi från primära källor som inte genomgått någon mänsklig omvandling, så som råolja och naturgas. Primärenergifaktorer (PEF) används som ett mått på hur mycket primärenergi som förbrukats i relation till den energi som nyttjats, då det sker förluster genom systemet när primärenergi omvandlas till nyttjad energi (Gode et al. 2011). Förhållandet mellan PE och PEF beskrivs i ekvation 2:

$$PE = PEF \cdot \text{nyttjad energi} \quad (2)$$

Då olika energikällor kan användas som primärenergi till samma nyttjade energi, exempelvis till fjärrvärme, är det viktigt att veta andel av vilka källor eller vilken elmix som används för att kunna beräkna miljöpåverkan från den totala energikonsumtionen. I Sverige brukas det oftast handla om ett val mellan den svenska och den nordiska elmixen, som skiljer sig i typ och andel primärenergi från olika källor (Gode et al. 2011). I denna rapport används specifik data för värme och el i den aktuella hallen och svensk samt nordisk elmix kommer att användas vid känslighetsanalyser för elen. Samtliga primärenergifaktorer för el är tagna från Miljöfaktaboken (Gode et al. 2011). De relevanta PEF presenteras i Tabell 1, där det går att avläsa att beroende på om svensk eller nordisk elmix används kan samma primärenergikälla ha olika PEF.

Tabell 1: Primärenergifaktorer för olika energikällor, MJ PE per MJ brukad energi. Källor: ¹ Gode et al. (2011) & ² E.ON (2019).

Energikälla	PEF
Diesel (5% RME) ¹	1,10
Fjärrvärme E.ON Malmö ²	0,29
Kraftvärme till värme i Sverige ¹	
Naturgas	1,09
EO3-S (eldningsolja)	1,11
Avfall	0,04
Avfallsgas/restgas	0,15
Vattenkraft	1,10
Vindkraft	0,05
Svensk medelelmix ¹	2,1
Vindkraft	0,05
Vattenkraft	1,10
Kärnkraft	2,92
Kondenskraft (från eldningsolja)	2,51
Kraftvärme el	1,74
El från bio (10%) & torv (90%)	0,38
El från gas	1,85
El från olja	2,23
El från kol & koks	2,29
Gasturbiner	2,07
Nordisk medelelmix ¹	1,74
Kärnkraft	2,92
Kol	2,26
Olja	2,19
Torv	2,06
Naturgas	1,97
Övrig termisk kraft	2,07
Vattenkraft	1,10
Vindkraft	0,05
Biobränslen	2,30
Avfall (50% hushåll, 50% verksamhet)	0,09

2.3.3 Hantering av klimatpåverkan

För beräkning av klimatpåverkan används som tidigare nämnt GWP₁₀₀ och karaktäriseringsfaktorererna i denna, se Tabell 2. Detta är alltså ett verktyg för att kunna väga samman olika komponenter som alla bidrar till klimatpåverkan till en och samma enhet. Metoden för att få fram GWP-faktorer utgår från ett matematiskt samband, närmare bestämt att integralen av den aktuella gasens strålningsförmåga divideras med integralen av koldioxidens strålningsförmåga. Dessa integreras över en specifik tidsperiod, som brukar vara 20, 50 eller 100 år. Standard för metoden är idag att integreringen sker över 100 år, och därav har GWP₁₀₀ blivit standard för beräkning av CO₂-ekvivalenter (IPCC 2013).

Tabell 2: Karaktäriseringsmodell enligt GWP₁₀₀ från IPCC (2013) kap 8.

Växthusgas	GWP ₁₀₀
CO ₂	1
CH ₄	34
N ₂ O	265

2.3.4 LCA för byggnader

Det särskiljs på LCA för byggnader och LCA för den byggda miljön, där den byggda miljön inkluderar byggnader, infrastruktur och aktiviteter kring och mellan byggnader medan LCA för byggnader riktar sig mot en enskild specifik byggnad (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018). I denna rapport läggs fokus på LCA för byggnader, vilket enligt Hauschild, Rosenbaum & Olsen (2018) vanligtvis innefattar produktion och transport för material, konstruktion, service för användning, luftkonditionering, elektricitet, vatten samt avfallshantering både under livstiden men även under nedvecklingsfasen. För denna typ av LCA finns specifika gränser för hur en analys bör utföras:

- Modellen fokuserar på en specifik byggnad eller byggnadstyp och strävar efter hög noggrannhet.
- Fokus ligger på hela livstiden av byggnaden, vilken oftast sätts till 50-80 år trots att de kan stå längre än så.
- Hög noggrannhet uppnås genom exakt data för den specifika byggnaden.

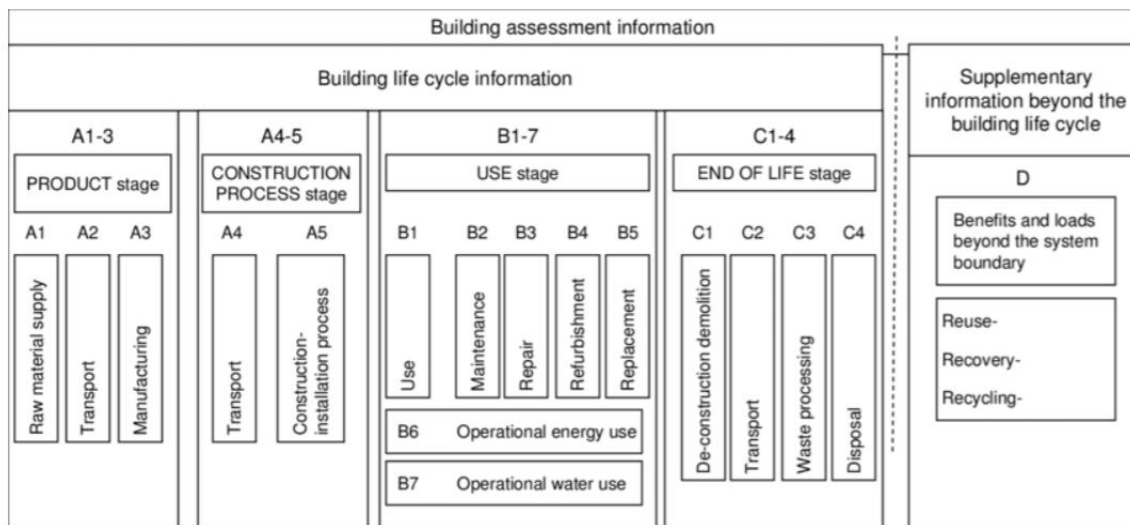
Olika standarder, så som den europeiska tillika svenska standarden SS-EN 15978:2011 (SIS 2011), finns för att generalisera processen med LCA och även då detta bidrar till en smidigare jämförelse mellan olika byggnader är det fortfarande svårt att genomföra en korrekt analys. Detta beror på att alla byggnader är unika och har olika specifika behov som behöver uppfyllas, till exempel med avseende på platsen, byggnadstyp, tekniska behov och krav från ägaren. Dessutom är inte systemgränser och specifika krav för den enskilda studien harmoniserade vilket också bidrar till en svårare jämförelse (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018).

LCA:er för byggnader brukar delas upp i tre olika faser; före användning, användning och efter användning, och varje fas byggs upp av olika underkategorier. Normalt brukar användarfasen utgöra den största delen av miljöpåverkan men i och med nya mer hållbara materialval och annan teknisk utveckling har förhållandet skiftat lite. Dessutom bidrar systemgränserna inom användarfasen mycket till hur stor miljöpåverkan blir. Framför allt är det viktigt att fastställa gränserna för varje livscykel, så som om underhåll ska ingå i användningsfasen eller inte samt vilka inventarier som ingår i respektive fas. Vilka inventarier ska inkluderas och på vilket sätt. Dessa bör fastställas i enighet med mål och omfattning av studien (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018).

Den långa livslängden i användarfasen av byggnader särskiljer dessa LCA:er från andra. Det innebär bland annat att miljöpåverkan från användar- och efteranvändarfasen är väldigt beroende av avgränsningen och det givna scenariot. Känslighetsanalyser för olika scenarier är dock inte speciellt vanliga i LCA:er för byggnader, med undantag för olika scenarier för den geografiska och tekniska omfattningen av el- och energiproduktionen. Vilken typ av elmix som används, exempelvis den nordiska eller europeiska elmixen, kan påverka resultatet avsevärt. Det är också viktigt att tänka på hur teknologin kommer förändras under byggnadens livstid och försöka integrera det i beräkningarna (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018). Just på grund av detta och kopplingen mellan materialval och energianvändning är primärenergiförbrukning och global uppvärmning eller klimatpåverkan två vanligt förekommande miljöpåverkanskategorier. Andra kategorier som inte är lika vanliga men som förekommer är bland annat försurning, övergödning, resursanvändning samt markanvändning (Hauschild, Rosenbaum & Olsen 2018).

2.3.5 Standard för beräkningsmetod

För att underlätta beslutsprocesser och ge en rättvis jämförelse av byggnaders miljöprestanda finns en europeisk standard, vilken även utgör den svenska standarden, SS-EN 15978:2011. Standarden specificerar egenskaper för den funktionella enheten, livstid och studietid samt delar in byggnadens livscykel i olika stadier, som benämns moduler. Modulerna, A till D, används för att sätta systemgränser och utgör en ram och mall för vilka delprocesser som bör inkluderas för att få en transparent jämförelse mellan olika byggnader (SIS 2011).



Figur 9: Grafisk bild över de olika modulerna i en byggnads livstid från standarden SS-EN 15978:2011. Använd med godkännande från SIS. Källa (SIS 2011)

Som beskrivs i Figur 9 utgör modulerna A1 till A3 produktskedet för material som används i konstruktionen av byggnaden, och innefattar allt fram tills fabriksporten. Mer specifikt står A1 för utvinning av råvaror, A2 för transport av råvaror till fabriken och A3 för tillverkning av byggmaterial samt produkter i fabrik. A4 och A5 är de moduler som täcker själva konstruktionsprocessen, det vill säga de inkluderar allt från det att material lämnar fabriken tills dess att byggnaden står klar. Modul A4 står för transport från fabrik till byggarbetsplatsen (samt förvaring om det krävs) samt transport av all utrustning och arbetsmaskiner. I modul A5 ingår systemgränserna för den faktiska konstruktionen och installationen av allt material till den färdiga byggnaden. Här är bland annat markarbete, arbete och transport på byggarbetsplatsen och avfallshantering inkluderat (SIS 2011).

B1 till B7 är modulerna som täcker användar- och driftfasen, vilket innefattar allt från att konstruktionen av byggnaden står helt färdig fram till rivning och nedmontering. B1 till B5 inkluderar delprocesser så som användning av installerade produkter, underhåll, reparationer och ersättning av material. B6 är modulen som hanterar all energianvändning under byggnadens livstid och vattenanvändningen täcks av B7. Efter driftfasen definieras slutstadiet med hjälp av C1 till C4. Detta stadie börjar när byggnaden inte längre är avsedd att ha någon ytterligare funktion. Nedmontering och rivning av byggnaden kan ses som en källa för material som kan återanvändas i andra processer eller återvinnas till energi. Här är det viktigt att ta hänsyn till utsläpp och miljöpåverkan från själva rivningen, transport av avfall till platsen där det blir processat och slutgiltig hantering av materialet. Material med effektiv energiåtervinning på 60 % eller mer räknas med som återvinningsbart material. Resurser som kan utvinnas och därmed ses som en fördel för miljön som kan komma från energiåtervinning av material, annan återvinning och återbruk ska tas upp i modul D (SIS 2011).

2.4 MILJÖVARUDEKLARATIONER

Miljövarudeklarationer, förkortas EPD *Environmental Product Declaration*, redovisar en produkts eller varus miljöpåverkan från främst tillverkningen. Det internationella systemet för EPD:er baseras på standarden ISO-14025 vilket bidrar till en transparent och rättvis jämförelse mellan olika produkter (Envirodec u.å.). Samtliga EPD:er ska enligt standarden använda samma karaktäriseringsfaktorer enligt CML-IA (Envirodec u.å.), vilket är ett datasystem som sammanställt faktorer för olika miljöpåverkanskategorier (Leiden University u.å.). Detta innebär att för klimatpåverkan används GWP₁₀₀ enligt IPCC (2013). Samtliga EPD:er använda i detta arbete har producerats enligt det internationella systemet och är därmed framtagna med hjälp av samma metod.

3 METOD

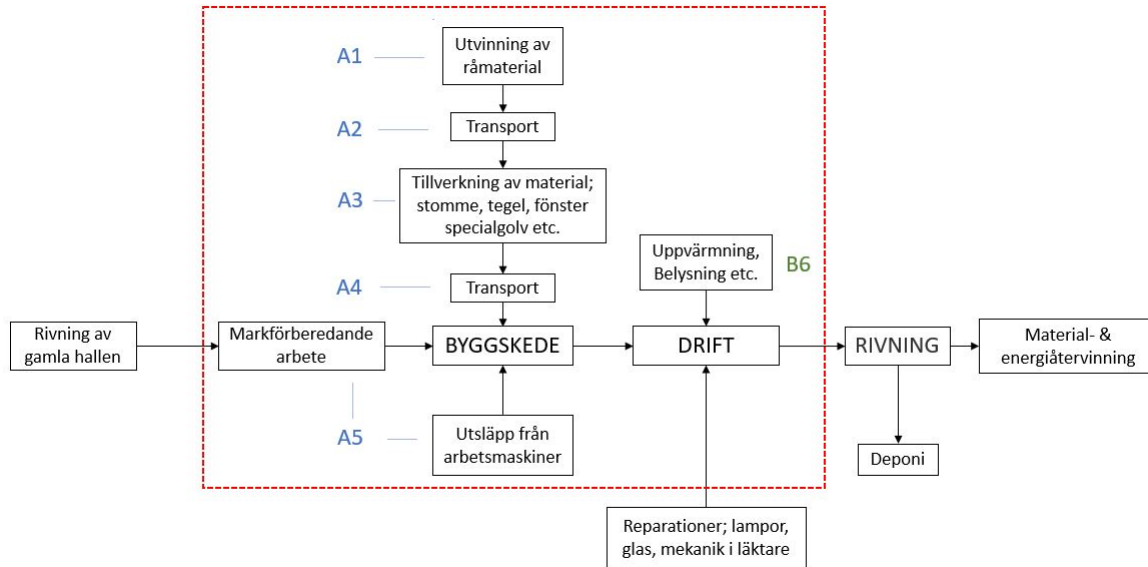
I denna rapport genomförs en LCA för en sporthall, och utgår från att generellt gälla den typ av multihall som byggs i flera plan, men baseras på data från Hästhagens sporthall i Malmö. Den primära funktionella enheten under beräkningarna sätts till hela byggnaden och därefter används även enheterna per år, uppvärmd kvadratmeter (m^2A_{temp}) samt antal tillhandahållna aktivitetstimmar. Hästhagen håller öppet 12 timmar per dag och 470 idrottande personer kan vistas i lokalerna samtidigt. Med en antagen beläggningsgrad på 25 %, då det kan förväntas vara rimligt att hallarna för det mesta inte används enligt full kapacitet, ger detta 514650 aktivitetstimmar per år. Med en tillhandahållen aktivitetstimme menas en person som utför en aktivitet i en timme. För att få en rättvis jämförelse mellan olika sporthallar är det även rimligt att ange primärenergikonsumtionen per öppettimme (Statens Energimyndighet 2009). De huvudsakliga miljöpåverkanskategorier som undersöks är klimatpåverkan och primärenergiförbrukning.

3.1 DATAINSAMLING

Datainsamlingen har fokuserat på klimatskalet för byggnaden, det vill säga det som krävs för byggnaden ska stå upp och att människor ska kunna vistas i byggnaden. Specifik information om Hästhagens sporthall har tillhandahållits genom telefonsamtal och mejlkontakt med Malmö stad (Horke 2020; Basim 2020), Arkitektgruppen (Wendt 2020), Peab (Skjöld 2020), Här! (Sydark konstruera 2019) samt Strängbetong (Svensson & Vinell 2020). Genom detta har information om anläggningstid, materialval och kvantiteter, utförda delprocesser i arbetet, hur byggnaden är konstruerad samt arkitekt- och konstruktionsritningar erhållits. Insamling för miljödata har främst skett med hjälp av EPD:er. Då analysen fokuserar på Hästhagens sporthall var det rimligt att använda de EPD:er som fanns för de specifika materialen från de leverantörer som faktiskt användes i bygget. Detta för att få en så noggrann analys av sporthallen som möjligt. De flesta miljövarudeklarationer hittades via EPD Norge (u.å.), som är en organisation som tillhandahåller verifiering, registrering och publicering av EPD:er enligt ISO-14025. Datan samlades i Excel där även beräkningar genomfördes. Mått på hela eller delar av byggnaden är beräknade och uppskattade från ritningar tillhandahållna av ansvarig arkitekt på Arkitektgruppen i Malmö samt huvudkonstruktör på Här! (tidigare Sydark Konstruera).

3.2 SYSTEMBESKRIVNING

Systemet som undersöks är begränsat till byggskedet (modul A1-A5) samt driften, där fokus endast läggs på energiförbrukning och modul B6. Anledningen till detta är att B6 är den modulen i driftfasen som bedömts ha den största påverkan på resultatet. Nedan visas en systembeskrivning över ett så kallat vaggatillgrav system för sporthallen med tre huvudsakliga processer i versaler; byggskedet, drift samt rivning. Till varje huvudprocess ingår många mindre processer, vilka visas i Figur 10.



Figur 10: Flödesschema över det studerade systemet, vilket avgränsas av den röda streckade linjen. Rivning av gamla hallen och en framtida rivning av Hästhagens sporthall är exkluderade i det studerade systemet. Inventarier så som sportutrustning och möblering inkluderas ej.

För att tydliggöra vad som har inkluderats i varje modul presenteras de nedan, med en kort beskrivning av den generella processen för deras respektive beräkningar. I inventeringsanalysen finns sedan mer detaljerade redovisningar av de specifika material och processer som undersökts för Hästhagens sporthall.

3.2.1 Modul A1 till A3 - Produktskede

I modulerna A1 till A3 behandlas som tidigare nämnt tillverkningen av byggmaterial. Miljödatan för dessa moduler är tagen från EPD:er från leverantörerna (i så stor mån som möjligt) för de material som använts i byggnationen av Hästhagens sporthall. Detta för att få så realistiska och specifika resultat som möjligt. Råvaruutvinning, transport till fabrik och tillverkningen i fabrik har i detta arbete behandlats som en gemensam process för att underlätta beräkningar. För att göra en så noggrann analys som möjligt delas byggnationen upp i olika sektioner; markförberedande, grund, stomme och fasad. I modul A1-A3 ingår material som utgör basen i grund, stomme och fasad. När dessa identifierats och utsläppsdata hittats undersöks även vilka kvantiteter som använts. De material som främst undersöks är bland andra olika typer av betong, tätspon, tegel, isoleringsmaterial och fönster.

3.2.2 Modul A4 - Transport

För beräkningar av miljöpåverkan från transporten i modul A4 har NTMcalc 4.0 Advanced från Network Transport Measures (Network for Transport Measures u.å.) använts. Från detta verktyg har primärenergien och CO₂-ekvivalenter på grund av transporter från fabrik till arbetsplats beräknats. Val av transportmedel, det vill säga typ av lastbil och i ett fall båt, valdes utifrån information given i EPD:erna från de specifika materialen. I NTMcalc 4.0 Advanced behövs ett antal val göras för att ställa in detaljerna kring transporten, så som antal ton material som behöver transporteras, vilket bränsle som används och typ av motor i lastbilarna. För samtliga transporter bestämdes bränsletyp till Diesel B5 - Swe, vilket innebär att 5 % förnybart drivmedel är inblandat i dieseln. Euro klass 6 användes som typ av motor för samtliga lastbilar där inte annat angavs på EPD:erna. Övriga parametrar bestämdes till att vara så generella som möjligt för att få en rättvis jämförelse mellan de olika materialen. Ett exempel är väggradient, vilken ställdes in till +0 %. Resultatet från NTM ger utsläpp av koldioxid, metan (CH₄) och lustgas (N₂O) som med hjälp av karaktäriseringsmetoden GWP₁₀₀ i Tabell 2 därefter räknas om till

CO₂-ekvivalenter. Beräkningsverktyget genererar även mängd drivmedel som används i transporten, och utifrån det kan primärenergiförbrukningen beräknas.

3.2.3 Modul A5 - Konstruktion

I modul A5 ingår allt som har med själva konstruktionen att göra. Mycket av datan som använts till analysen av A5 har tagits från EPD:erna, som anger miljöpåverkan för installation av det specifika materialet under konstruktionen. Till att börja med inkluderas det markförberedande arbetet, vilket innebär bortschaktning av befintlig jord och anläggning av återfyllningsmassor. Transporterna av schaktmassorna till och från byggarbetsplatsen hanteras i modul A4. Utsläpp och bränsleåtgång från arbetsmaskiner under bygget undersöks också. Från ett telefonsamtal med arbetschefen Thomas Skjöld (2020) på Peab framgick att byggnationen pågick under drygt 10 månader. Skjöld angav även att anläggningsmaskiner och mobilkranar drevs av diesel, större kranar använder el och handmaskiner samt andra maskiner som används inne i bygget drivs med hjälp av uppladdningsbara batterier. För energiinnehåll i bränslen samt koldioxidemissioner har siffror från Svenska Petroleum & Biodrivmedel Institutet (SPBI 2019) använts.

3.2.4 Modul B6 - Energihantering

Detta är fasen som i normala fall brukar utgöra den största delen av miljöpåverkan från byggnader, på grund av den långa livstiden. Hästhagens sporthall har en förväntad minsta livstid på 50 år men med förhoppning om 100 år (Horke 2020). Utifrån detta och det som tidigare fastställts i teorin för arbetet bestäms livstiden till 70 år. I en rapport från Energimyndigheten (2009) utreds vilka processer i idrottsanläggningar där den största energiåtgången sker, mätt i kWh per m² och år. För anläggningar som liknar Hästhagens, som i rapporten hänvisas till som idrottshallar, åtgår den mesta energin till fjärrvärme för uppvärmning och el (Statens Energimyndighet 2009). Av den el som inte används till värme åtgår den mesta energin till belysning och fläktar. En liten del går därefter generellt sett till bastu, pumpar och övrig verksamhet (Statens Energimyndighet 2009). Utifrån detta antas att det som främst bidrar till miljöpåverkan under driftfasen är uppvärmning med fjärrvärme samt elektricitet till belysning och tekniska system. I och med en byggnads långa livslängd förväntas tekniken för energiproduktion att utvecklas och förbättras i framtiden, men beräkningarna i denna rapport utgår från den teknik som finns tillgänglig idag.

3.3 INVENTERINGSANALYS

Under inventeringsanalysen har data samlats in för varje material eller delprocess, för både bygg- och driftfas. Nedan förklaras de olika elementen och dess specifika datahanteringen mer ingående. Då EPD:er redan använts sig av karaktäriseringsfaktorer för att ge resultat om primärenergi och koldioxidekvivalenter presenteras i slutet av inventeringsanalysen kvantiteterna för de olika materialen samt övrig insamlad data i Tabell 3. I Tabell 8 och 10, som återfinns i resultatet, kan den resulterade miljöpåverkan från samtliga material och delprocesser avläsas.

3.3.1 Markförberedande arbete

I det markförberedande arbetet ingår främst schaktning av jordmassor. För att beräkna utsläpp och energianvändning för detta behövs uppgifter om marksammansättningen under multihallen. Grundvattennivån ligger ungefär 3-3,5 meter ner från marknivå, på nivåerna +0 meter i söder samt -0,5 meter i norr. Förmodad berggrund finns på -3 meter (från grundvattennivån) i söder och -2 meter i norr. Enligt ett tekniskt PM uppger Bengtsson (2016) att den geotekniska undersökningen som genomfördes på området visar att marken består av tre olika jordlager; en mullhaltig ytjord, ett sandigt mellanlager och längst ned mot berggrunden ligger en vattenmättad lermorän. Samtliga lager uppskattas utifrån detta PM till att vara ungefär 2 meter tjocka var. Vid beräkningar för transport av jordmassorna är det bäst att använda densiteter för de olika jordarterna i opackat tillstånd, då den packade volymerna endast råder när jorden ligger vilandes i marken (Stripple 2001). Denna typ av mark klassas som schaktbarhetsklass 1 enligt Stripple (2001) vilket innebär att den är relativt lättarbetad. Totalt schaktades ungefär 14500 m³ jord bort och därefter fylldes det på med friktionsjord (Skjöld 2020). Friktionsjord består av torr

sand eller grus, där friktionkraften mellan partiklarna utgör hållfastheten i jorden (SGI u.å.). När sådan jord blir blöt minskar friktionskraften och därmed tappar jorden sin hållfastförmåga (SGI u.å.). Detta har inneburit en viss problematik vid grundläggningen av Hästhagens sporthall (Bengtsson 2016) då friktionsjord skulle fyllas på i en mark med relativt höga grundvattennivåer (Skjöld 2020). För att uppskatta mängden friktionsjord som behövdes för återfyllnad har antal ton jord beräknats utifrån densiteten för packad friktionsjord (torr sand med grus) och volymen, drygt 9000 m³, som den bör fylla. Därefter har densiteten för lös jord använts för att beräkna mängden som behövde transporteras dit, vilket resulterade i 10142 m³. För arbetet med schaktmassor har beräkningar utgått ifrån att grävmaskiner, hjullastare och dumper/anläggningsmaskiner har använts. Massorna antogs transporteras 50 km från byggarbetsplatsen i ett anläggningsfordon med kapacitet på 20-26 ton. Återfyllnadsmassorna antogs transporteras lika långt från upphämtning till byggarbetsplatsen.

3.3.2 Tätspont

För att stabilisera jordlagren i marken under och vid Hästhagens sporthall samt undvika grundvatteninträning i byggnaden användes som tätspont i stål. Sponten sattes så nära källarväggarna som möjligt i schaktgropen (Bengtsson 2016). Utifrån dimensioner på multihallen och antagandet att sponten satts 3 meter ut från källarväggen samt att den gått ned till berggrunden har mängd använd spont beräknats till 129 ton. Den har därmed antagits behövas vara 6 meter lång och gått runt hela sporthallen. Då leverantören för sponten till Hästhagen är okänd har data tagen från företaget Ferrometall AS från EPD-Norge, med tillverkning i Kina och transport samt mellanlagring i Horten i Norge.

3.3.3 Betong

Hästhagens sporthall består till väldigt stor del av olika typer av betong, en blandning av prefab-, platsgjuten- och grovbetong. Stommen, vilken består av väggar, tak och bärande lager, är en kombination av olika bjälklag, pelare och balkar i prefabbetong där samtliga element är tillhandahållna av Strängbetong. Insamling av kvantitetsdata för stommen har skett via samtal med Strängbetong. Enligt Svensson & Vinell (2020) på företaget har totalt 4507 ton betong brukats till stommen. Datan för betongen är främst tagen från EPD:er för 1 ton prefabricerad betong för respektive element, tillverkad av Strängbetong. Dessa inkluderar utvinning av råmaterial, transport till fabrik, produktion, transport till byggarbetsplats samt konstruktion. Här fås information om både koldioxidsekvivalenter och använd primärenergi i MJ.

Grunden, det vill säga den nedsänkta delen som utgör källarvåningen, nedre delen av ena sporthallen, fläktrum samt förråd, är byggd av platsgjuten betong. Längst ned finns ett tunt lager, 50 mm, grovbetong med kvalitet C25/30 och därefter har bottenplattan i ett tjockare lager, mellan 500 till 700 mm, vanlig vattentät betong C30/37 gjutits (Sydmark konstruera 2019). Siffrorna i kvaliteten på betongen anger dess hållfastighet, där det första numret anger cylinderhållfastheten och den andra betecknar betongens kubhållfastighet, båda i MPa (Svensk Betong u.å.). Även källarväggarna är platsgjutna i samma betong som den tjocka bottenplattan. Dimensionerna på dessa väggar är beräknade från K-ritningar och har uppskattats till 3 meter höga samt mellan 360 och 440 mm tjocka. Kvantiteterna av både grov- och vanlig betong har uppskattats utifrån dessa siffror, med ett pålägg på 10 %. Samtlig platsgjuten betong innehåller genomgående armering antingen i nät eller lösarmering (Sydmark konstruera 2019). Datan för miljöpåverkan från denna betong är tagen från Swerock AB (C30/37) samt Svensk betong (C25/30), där den sistnämnda gäller för diverse betongtillverkare i Sverige. Swerock har en fabrik i Malmö som ligger 10 km från byggarbetsplatsen. Båda betongsorter antas ha transporterats färdigblandade från denna fabrik till Hästhagens sporthall i betongbilar som rymmer 6 m³ med 80 % fyllnadsgrad, enligt informationen från EPD:erna. En sådan betongbil kan väga ungefär 24 ton (Husgrunder 2017), varvid detta har använts vid beräkning av transport i A4. Data för A5 saknas för den platsgjutna betongen.

3.3.4 Stål och armering

De miljövarudeklarationer som påträffats under examensarbetets gång för prefabricerat stål i konstruktioner innefattar många olika typer av stål. Därför har endast en EPD från Contiga AB för prefabricerade stålkonstruktioner använts för att bedöma miljöpåverkan från Hästhagens sporthall. Detta även på grund av att olika underentreprenörer har använts till olika typer av stål och därmed har det uppstått svårigheter i att identifiera de exakta typer av stål som finns. Till stommen användes knappt 7 ton stål och för grunden användes 95 ton armering.

Den främsta armering som använts är nät av typ NK500AB-W, övrig armering är av typ K500C-T (Sydark konstruera 2019). Dessa är vanligt förekommande typer av armering i Sverige och data för miljöpåverkan från tillverkningen, A1-A3, har tagits från en EPD från Celsa Steel Service (u.å.). Denna valdes då det är en stor leverantör av armering inom Sverige, med fokus på hållbarhet samt nationell tillverkning. För A1-A3 är klimatpåverkan 440 kg CO₂ per ton, vilket är något lägre än den som angavs i en EDP från Skanska (577 kg CO₂ per ton armering). I bottenplattan till Hästhagens sporthall användes en rullarmering som kallas Bamtec (Skjöld 2020), som bland annat tillverkas av Celsa Steel Service. Denna armering rullas ut vilket effektiviserar arbetet samtidigt som materialåtgången minimeras jämfört med vanlig nätarmering. Det betyder även att betydligt mindre mängd spillbitar uppstår (Celsa Steel Service u.å.). Enligt K-ritningarna för sporthallen användes armering med diameter som varierar från 8 till 32 mm endast i under- och överkant i bottenplattan samt i ytter- och innerkant för källarväggarna (Sydark konstruera 2019). Rullarmeringen kan tillverkas i olika bredder, från 1,7 meter till 14 meter. I beräkningarna har det antagits att en 13 meter bred rullarmering använts. Från ett exempel från Celsa Steel Service, då rullarmering med en diameter på 16 mm används, beräknas att sådan armering väger 1,58 kg/m, inklusive skarvar. Från K-ritningarna framgår att det till källarväggarna främst använts armering NK500AB-W av slag 10s150 (Sydark konstruera 2019), vilket innebär järnstänger med 10 mm diameter i ett rutnät av 150 x 150 mm rutor (Skjöld 2020). Utifrån detta samt ritningar på grunden har mängd armering beräknats.

3.3.5 Tegel

Hela fasaden på Hästhagens sporthall är täckt med rödbrunt tegel i danskt normalformat, och väggytan är uppskattad till totalt 2678 m² från A-ritningar (Arkitektgruppen i Malmö AB 2017). Siffror på miljöpåverkan för modulerna A1-A3 samt A5 har tagits från en dansk EDP (Randers Tegl A/S 2018) för detta typ av tegel, som tillverkas i Hammarhöj ungefär 383 km från Malmö. Teglet transporteras oftast i diesellastbilar, 20-26 ton, med 85 % lastkapacitet (Randers Tegl A/S 2018). I och med att fasaden till Hästhagens sporthall betsår av ett avancerat mönster går det, enligt Skjöld (2020), åt mer tegel än om det hade murats normalt. Densiteten för tegel ligger mellan 1600 och 2050 kg per m³ (Randers Tegl A/S 2018) och på grund av den större åtgången av tegel används 2050 kg per m³ i beräkningarna.

3.3.6 Fönster

Samtliga fönster i sporthallen är från företaget Schüco i fasadsystem FW 50+ SG. Fönstren har aluminiumram och en del av dem har även motorstyrda öppningsanordningar. Fönsterramarna ska ha ett uF-värde på maximalt 1 W per m² och Kelvin, vilket innebär att energi- eller värmeförlusten genom ramarna maximalt får vara 1 Watt per kvadratmeter fönster och temperaturskillnad. Fönstren har även krav på en ljudreduktion på upp till 44 dB (Arkitektgruppen i Malmö AB 2017). Samtliga fönster är väl integrerade i fasaden. Utifrån produktspecifikationen på Schüco hemsida för denna typ av fönsterfasad har dessa fönster (FWS 50 SG.SI) tre glas med en maximal paneltjocklek på 64 mm och en miljöprestanda som är i klass med passivhus (Schueco 2020). Speciellt vid tillverkningen av aluminiumramarna används mycket förnybar primäre energi och därför blir denna andel relativt hög jämfört med icke förnybara källor (Schüco International KG 2017). Fasadsystemet med fönster är producerade i Bielefeld i Tyskland (Schüco International KG 2017), och därefter antas att de frakts med lastbil till Rostock, varvid lastbilen transporteras på ett fartyg 158 km till Trelleborg. Därefter sker den vidare färden till Malmö med lastbil. Total körsträcka för lastbil är 358 km. Utifrån en densitet på 3-glasfönster från RM

Fönster (RM Snickerier AB u.å.) beräknas en ungefärlig vikt. Både lastbil- och båttransporten beräknas med hjälp av NTMcalc 4.0 Advanced. För fartygstransporten ställdes parametrar in efter avstånd, vikt för fönster samt lastbil (11 ton + 12 ton) och typ av fartyg (Ro-Ro ship). Bränslet valdes till MD 0,1% S och Tier III, enligt de miljörestriktioner som finns för norra Europa och Östersjön (Eriksson 2020). Övriga parametrar lämnades till de förinställda.

3.3.7 Isoleringsmaterial

Olika typer av isoleringsmaterial har använts i bygget men då kvantiteter av de olika sorterna inte framgått i dokumentationen har all isoleringsmaterial antagits vara av samma sort. Enligt K-ritningar har mycket mineralull av märket Rockwool använts, därför har data från en EPD för ROCKWOOL Nordics använts i beräkningarna. Ett 40 respektive 60 mm tjock lager av just detta isoleringsmaterial ligger i underkanten av bottenplattan (Skjöld 2020) och för taket har 30 mm Rockwool Toprock Takboard samt Toprock Lamell använts. 100 mm isoleringsmaterial av okänt ursprung har använts i ytterkant av källarväggar och 160 mm för resterande prefabricerade väggar (Sydark konstruera 2019). Det är alltså detta material som antas bestå av mineralull istället för cellplast eller annan isoleringslösning. Isoleringen i EPD:n har ett R_D -värde på 1 m² Kelvin per W och är 40 mm tjock, och för beräkningar har en densitet på 25 kg per m³ använts. Ett R_D -värde beskriver isoleringens värmeisoleringsförmåga, och ju högre värde desto effektivare material (Recticel insulation 2020). Vid transport av isolering är det, till skillnad från de flesta andra material, volymen och inte vikten som blir den begränsande faktorn. Till följd av detta har volym använts för parameterinställningar i NTMcalc 4.0 Advanced vid beräkningar av utsläpp från transporten i A4. Isoleringen antas ha tillverkats i Rockwools fabrik i Vamdrup i Danmark, enligt informationen i EPD:n. En lastbil med kapaciteten 20-26 ton och 85 % volymkapacitet antogs.

3.3.8 Fjärrvärme

Som konstaterats tidigare i rapporten används fjärrvärme för uppvärmningen av Hästhagen sporthall. Utifrån data från Svensk Fjärrvärme har beräkningar på 2008 års fjärrvärmeproduktion utförts. Alternativproduktionsmetoden mellan el och värme hade då redan genomförts som allokeringss metod, och därför har ingen allokering utförts i denna rapport. Alternativproduktionsmetoden ingår i EU:s kraftvärmedirektiv (2004/8/EC) och ger ett transparent och enhetligt resultat (Gode et al. 2011).

Boverkets byggregler (BBR) ställer krav för att en byggnad av denna kaliber ska ha en energianvändningen som understiger 85 kWh per m². Malmö stads egna krav, att hallen ska uppnå Miljöbyggprogan Syd nivå C, är att byggnadens användningen endast ska vara 90 % av BBR-kraven vilket därmed blir 76 kWh per m² (Adalberth & Rydenlund 2017). Multihallen har stått klar i ungefär 1,5 år vid denna rapportens upprättande och data för dess energiförbrukning har mottagits från Hästhagens tekniska fastighetsförvaltare. Dessa visar att under det första året i bruk, från maj 2019 till april 2020, användes totalt 186740 kWh fjärrvärme (Basim 2020), vilket utslaget på byggnadens bruttoarea blir 35,6 kWh per m². Inklusivt fastighetselen under samma period, som beskrivs närmare nedan, var multihallens specifika energianvändning 53,7 kWh per m². Detta innebär att Hästhagens sporthall understeg både BBR:s och Malmö stads krav på energianvändning. Energiförbrukningen för det första året i bruk används i beräkningarna då denna undersökning syftar till att genomföra en så aktuell analys av Hästhagens sporthall som möjligt. Validiteten av detta analyseras vidare i diskussionen.

Fjärrvärmerna levereras från E.ONs kraftvärmeverk i Malmö och prestanda och energimix från detta specifika verk är använda i beräkningen. Fjärrvärmerna från verket har en totalt klimatpåverkan på 118,9 g CO₂-ekvivalenter per kWh och den totala fjärrvärmerna har en PEF på 0,29 (E.ON 2020). Denna PEF är uträknad utifrån sammansättningen av energi som går in i verket och deras enskilda primärenergifaktorer. I stora drag används 75 % återvunna, 3 % förnybara och 22 % fossila källor som tillförd energi i värmeproduktionen (E.ON 2020). I beräkningar för primärenergiförbrukningen i denna rapport har de enskilda primärenergifaktorerna för vardera energikälla använts i så stor utsträckning som möjligt, se ekvation 2. I de få fall då PEF saknats har 0,29 använts. Beräkningarna har inte tagit hänsyn till att tekniken för fjärrvärme och uppvärmning av byggnader kan komma att ändras under sporthallens livstid.

3.3.9 Elanvändning

Elanvändningen för Hästhagens sporthall är uppdelad i fastighets- och verksamhetsel. I fastighetselen ingår all energi som används till de tekniska systemen i sporthallen (Basim 2020), så som elektricitet till ventilation och pumpar. Verksamhetselen utgör övrig el, det vill säga den inkluderar belysning, el till utrustning i kök och så vidare. På samma sätt som för fjärrvärmens används data från den faktiska användningen i sporthallen under perioden maj 2019 till april 2020. Enligt Basim (2020) använder Hästhagens sporthall 100 % förnybar el, och i denna rapport har därför elen antagits bestå av 100 % svensk vattenkraft.

I Tabell 3 nedan presenteras rådata som samlades in från EPD:er och kontakt med intressenter involverade i byggnationen av Hästhagens sporthall. Densiteter och emissionsdata som använts i beräkningar presenteras därefter i Tabell 4 och 5

Tabell 3: Sammanställning av data insamlad under inventeringen.

Element	Kvantitet	Enhet	Transport [km]
Markförberedande			
Schaktmassor (borttransporterat)	14666	m ³	50
Schaktmassor (återfyllnad)	10141	m ³	50
Grund			
Tätspont	1218	m ²	629
Betong C30/37	1562	m ³	10
Betong C25/30	96	m ³	10
Armeringsrullnät	4054	m ²	300
Lösarmering	554	m ²	300
Stomme - Prefabricerat			
Flänsbetong	73	ton	216
Håldäck	363	ton	216
I-formad balk	368	ton	216
Rektangulär balk	18	ton	216
Massiva bjälklagsplattor	763	ton	216
Rektangulär Pelare	302	ton	216
Bärande bjälklag	62	ton	216
Sadelformad TT-däck (tak)	264	ton	216
Massivvägg, Ytter eller inner	1399	ton	503
Isolerad massivvägg, Ytter eller inner	673	ton	503
Rak trappa	59	ton	351
Vilplan terazzo	5	ton	351
Fogbetong	157	ton	216
Varm- & kallformad konstruktionsrör (stål)	0,25	ton	216
Övrig stål	7	ton	216
Fasad			
Tegel	2678	m ²	383
Fönster, Schueco FW50+ SG	346	m ²	516
Isolering, stenull	744	m ³	279
Drift			
Fjärrvärme	186740	kWh/år	-
Fastighetsel	95576	kWh/år	-
Verksamhetsel	48057	kWh/år	-

Tabell 4: Sammanställning över densiteter använda i beräkningar. Källor: ¹Stripple (2001), ²Husgrunder (2017), ³Celsa Steel Service (u.å.), ⁴Kynningsrud (2015), ⁵ROCKWOOL Internationals A/S (2019), ⁶Randels Tegel A/S (2018) & ⁷RM Snickerier AB (u.å.).

Material	Densitet	Enhet
Mullhaltig jord ¹	1,68	ton/m ³
Sand/silt/lera ¹	1,84	ton/m ³
Lermorän, vatteförande skikt ¹	1,5	ton/m ³
Frikationsjord, opackad, torr ¹	1,72	ton/m ³
Frikationsjord, packad, torr ¹	1,93	ton/m ³
Betong, platsgjuten ²	2,35	ton/m ³
Armering ³	1,58	kg/m
Tätpont ⁴	106	kg/m ²
Isolering ⁵	25	kg/m ³
Tegel ⁶	2050	kg/m ³
Fönster ⁷	32	kg/m ³

I Tabell 5 har samtlig emissionsdata som använts i beräkningarna sammanställts. Hantering av bränslen för fjärrvärmens avser både transport till kraftvärmeverket och produktion av dem.

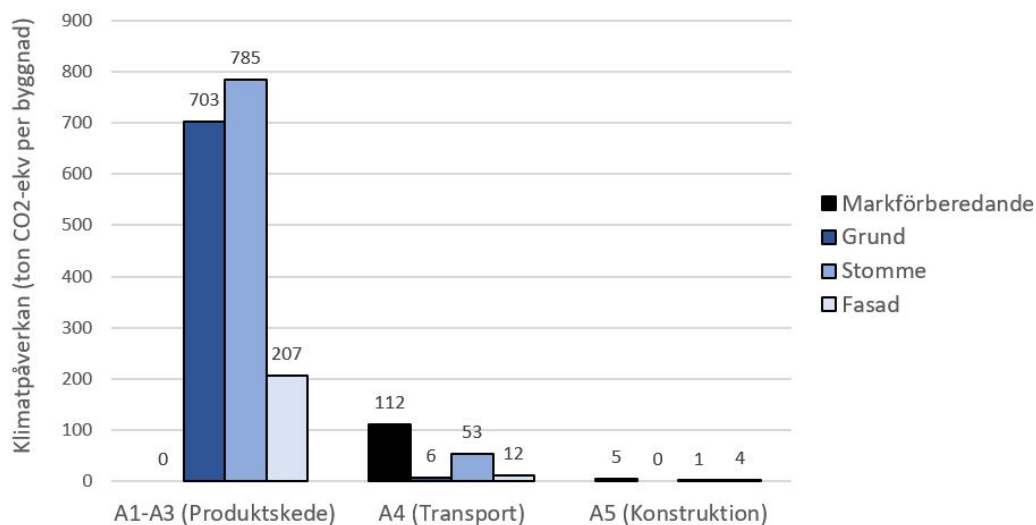
Tabell 5: Emissioner och energiinnehåll från olika energikällor. Emissionsdata för fjärrvärmens gäller för det specifika kraftvärmeverket i Malmö. Källor: ¹Gode et al. (2011), ²E.ON (2019) & ³SPBI (2019).

Källa	Värde	Enhet
Vattenkraft, svensk elmix ¹	4,5	g CO ₂ -ekv/kWh
Svensk elmix ¹	36,4	g CO ₂ -ekv/kWh
Nordisk elmix ¹	97,3	g CO ₂ -ekv/kWh
Fjärrvärme, förbränning ²	108,3	g CO ₂ -ekv/kWh
Fjärrvärme, hantering av bränslen ²	10,6	g CO ₂ -ekv/kWh
Energiinnehåll, Diesel 5 % RME ³	35,17	MJ/l
Omvandling 1 kWh till MJ	3,6	MJ/kWh

4 RESULTAT

4.1 KLIMATPÅVERKAN

För att enklare kunna undersöka vilka delar i processen av konstruktion och drift av Hästhagens sporthall som genererar den största påverkan på både klimatet och primärenergianvändningen delades byggfasen upp i fyra separata delar; markförberedande arbete, grund, stomme och fasad. Dessutom undersöktes de olika modulerna från standarden SS-EN 15978:2011. Resultaten visar tydligt att majoriteten av klimatpåverkan i byggfasen sker i modulerna A1-A3, det vill säga produktskedet innehållande utvinning av råmaterial samt produktion av de material som sporthallen består av. Dessa moduler står för totalt 1695 ton CO₂-ekvivalenter för hela byggnaden. Från Figur 11 framgår det även att det är grunden och stommen, till skillnad från det markförberedande arbetet och fasaden, som producerar mest koldioxidekvivalenter. Den klimatpåverkan som sker i modul A4 kommer från utsläpp av CO₂, CH₄ och N₂O från dieselförbrukningen i transportererna från fabriker till byggarbetsplatsen. Här är det transportererna som är kopplade till det markförberedande arbetet som genererar den största påverkan på klimatet, vilket beror på de stora mängder schaktmassor som behövdes transporteras. Trots detta står modul A4 endast för totalt 183 ton CO₂-ekvivalenter för hela byggnaden. Konstruktionen av multihallen, vilken innefattas av modul A5, genererar enligt Figur 11 10 ton CO₂-ekvivalenter och har därmed ingen större påverkan i jämförelse med produktskedet i modul A1-A3.



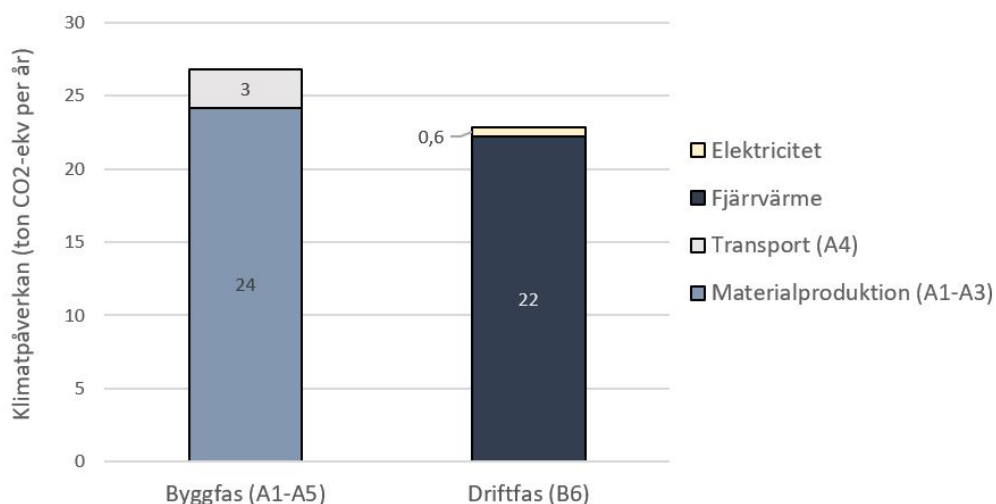
Figur 11: Diagrammet visar den totala klimatpåverkan i ton CO₂-ekvivalenter/byggnad från byggfasen av Hästhagens sporthall fördelat över modul A1-A5, samt uppdelat på markförberedande arbete, grunden, stommen och fasaden.

För driftfasen och modul B6 har främst tre poster som bidrar till miljöpåverkan undersökts. Under sporthallens totala livslängd är det fjärrvärmens som ger det största avtrycket på klimatet. Den svenska fjärrvärmens som produceras i Malmö har en klimatpåverkan på 1555 ton CO₂-ekvivalenter per hela byggnaden, vilket motsvarar 97 % av den totala påverkan från driftfasen och modul B6. Från fastighets- och verksamhetsdelen är de totala utsläppen för hela livstiden bara 30 respektive 15 ton CO₂-ekvivalenter, enligt Tabell 6.

Tabell 6: Totala beräknade utsläpp från driftfasen under hela byggnadens livslängd (70 år).

Process	Ton CO ₂ -ekvivalenter/byggnad
Fjärrvärme	1555
Fastighetsel	30
Verksamhetsel	15

När resultatet för klimatpåverkan från både bygg- och driftfasen slås ut på antal år som Hästhagens sporthall förväntas stå kvar, visar det att byggfasen (A1-A5) har en något större påverkan än driftfasen (B6), se Figur 12. Skillnaden mellan de olika faserna är knappt 4,5 ton CO₂-ekvivalenter per år. Det är även tydligt att det är produktskedet, eller materialproduktionen, och fjärrvärmens som bidrar med de största utsläppen. Elektriciteten har som tidigare konstaterat ingen stor påverkan men då den summeras med utsläppen från fjärrvärmens blir den totala klimatpåverkan från B6 knappt 23 ton CO₂-ekvivalenter per år. Denna fördelning i driftfasen kan bero på att Hästhagens sporthall använder 100 % förnybar el, vilken i denna studie antagits bestå av svensk vattenkraft med en emissionsfaktor på 4,5 g CO₂-ekvivalenter per kWh (Gode et al. 2011). Fjärrvärmens har däremot en sammanlagd emissionsfaktor på 119 g CO₂-ekvivalenter per kWh (E.ON 2020), där andelen fossila energikällor som går åt vid produktionen antas vara den största anledningen till den stora skillnaden mellan siffrorna. Den stora mängden betong som använts i konstruktionen av multihallen är den största bidragande faktorn till att byggfasen har en så pass hög, 27 ton CO₂-ekvivalenter, klimatpåverkan per år.



Figur 12: Fördelningen över den totala klimatpåverkan i CO₂-ekvivalenter per år fördelat på byggfas samt driftfas och deras respektive delprocesser. Notera att konstruktion (A5) inte är representerad i diagrammet då dess utsläpp var försumbara i jämförelse med de andra delprocesserna.

Totalt sett är klimatpåverkan från Hästhagens sporthall 3488 ton CO₂-ekvivalenter per hela byggnaden. Detta blir 49,8 ton CO₂-ekvivalenter per år, och delas detta upp på antal uppvärmda kvadratmeter visar resultatet på 10,3 kg CO₂-ekvivalenter per m²A_{temp}, enligt Tabell 7. Per uppvärmd kvadratmeter kan vara en smidig funktionell enhet att använda vid jämförelser med andra sporthallar eller byggnader. Då antal aktivitetstimmar per år uppskattats till 514650 timmar, visar resultatet att en person under en timmes aktivitet bidrar med en klimatpåverkan på knappt 97 g CO₂-ekvivalenter. Vänligen notera att storleksordningen på de olika funktionella enheterna varierar från ton till gram.

Tabell 7: Resultatet för klimatpåverkan uppdelat per olika funktionella enheter. Hästhagens sporthall har en uppvärmd area på 4850 kvadratmeter ($m^2 A_{temp}$) och 514650 aktivitetstimmar per år.

Funktionell Enhet	Bygghfas (A1-A5)	Driftfas (B6)	Totalt Hästhagens Sporthall
Ton CO ₂ /hela byggnaden	1888	1600	3488
Ton CO ₂ -ekv/år	27,0	22,9	49,8
kg CO ₂ -ekv/m ² $A_{temp} \cdot \text{år}$	5,6	4,7	10,3
g CO ₂ -ekv/aktivitetstimme	-	-	96,8

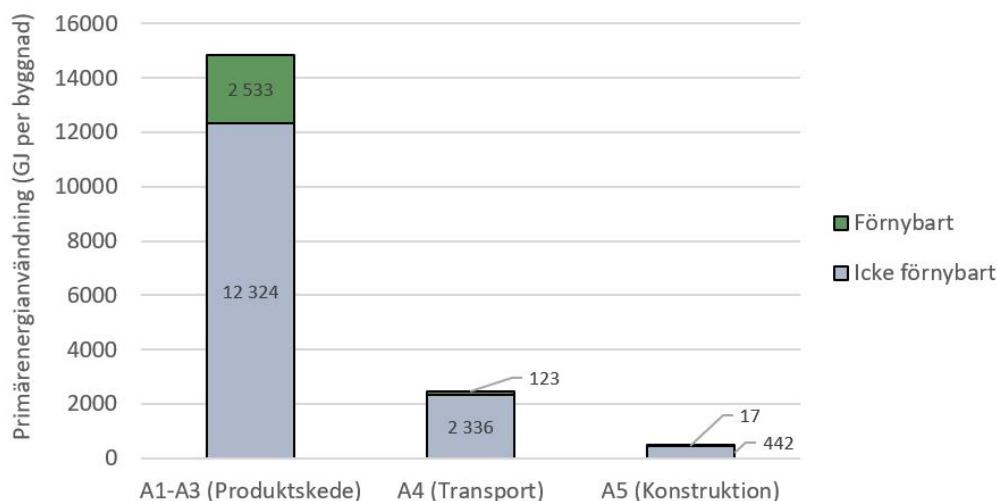
För en noggrannare fördelning av klimatpåverkan från respektive delprocess eller material presenteras resultatet från miljöpåverkansbedömningen i Tabell 8.

Tabell 8: Varje elements kumulativa totala klimatpåverkan från miljöpåverkansbedömningen fördelat över respektive modul. Där det står 0 är resultatet ihopräknat med elementet ovanför och streck (-) anger ingen data tillgänglig. Blankt utrymme betyder ingen påverkan i den aktuella modulen. **Enhet: ton CO₂-ekvivalenter per byggnad.**

Element	A1-A3	A4	A5	B6
Markförberedande				
Schaktmassor (samtliga)	-	112,3	5,4	
Grund				
Tätspont	255,6	2,9	-	
Betong C30/37	384,7	1,9	-	
Betong C25/30	20,9	0	-	
Armeringsnät	36,6	1,2	-	
Lösarmering	5,3	0	-	
Stomme - Prefabricerat				
Flänsbetong	13,7	0,6	0,04	
Håldäck	49,4	2,8	0,1	
I-formad balk	67,5	2,8	0,2	
Rektangulär balk	3,3	0,1	0,01	
Massiva bjälklagsplattor	121,4	5,8	0,4	
Rektangulär pelare	62,7	2,2	0,1	
Bärande bjälklag	9,8	0,5	0,03	
Sadelformad TT-däck (Tak)	55,6	2,0	0,2	
Massivvägg, Ytter eller inner	235,1	23,3	0,2	
Isolerad massivvägg, Ytter eller inner	112,7	11,9	0,02	
Rak trappa	10,0	0,7	0,05	
Slipad och polerad betong	0,8	0,06	0,004	
Varm- och kallformad konstruktionsrör	0,6	0,0002	0,002	
Övrig stål	16,4	0,05	0	
Fogbetong	25,4	-	-	
Fasad				
Tegel	146,7	8,2	1,1	
Fönster, Schueco FW50+ SG	39,8	0,4	-	
Isolering, stenull	20,7	2,9	2,5	
Drift				
Fjärrvärme				1554,8
Fastighetsel				30,1
Verksamhetsel				15,1

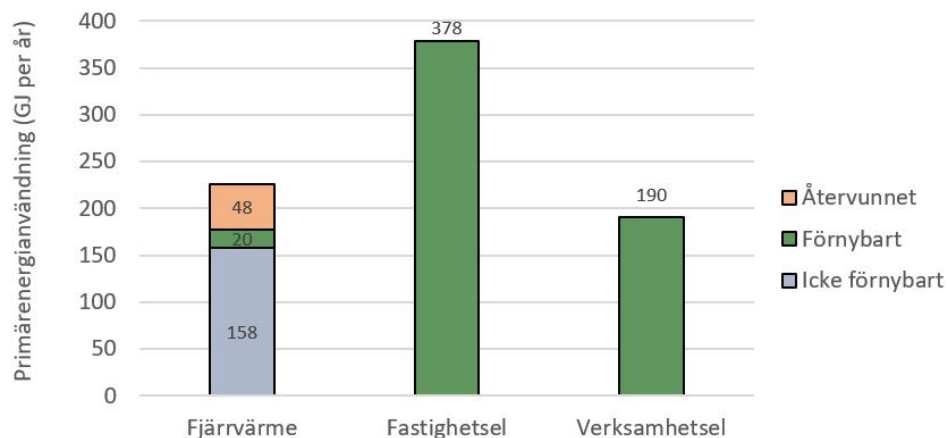
4.2 PRIMÄRENERGIANVÄNDNING

Vad beträffar primärenergianvändningen (PE-användningen) visar resultatet för byggfasen på liknande fördelning över modulerna som resultatet av klimatpåverkan har. Även här är det produktskedet, A1-A3, som har störst påverkan med en PE-användning på knappt 15000 GJ för hela byggnaden under hela livslängden, se Figur 13. Transporterna i A4 kräver resurser på knappt 2500 GJ, vilket motsvarar ungefär 14 % av totala energianvändningen för byggfasen, medan modul A5, konstruktionen av sporthallen, endast bidrar med 2,6 % av resursförbrukningen. Majoriteten av primärenergien som används är icke förnybar, vilket visas av de gråa sektionerna i Figur 13. Den förnybara primärenergien utgör endast 15 % av den totalt använda energin. Energin som är inkluderad i beräkningarna är både sådan som använts i processen för tillverkning, som energibärare, men även energikällor som gått in i själva materialet. Anledningen till att A1-A3 utgör en så pass stor del beror på mängden betong som brukats.



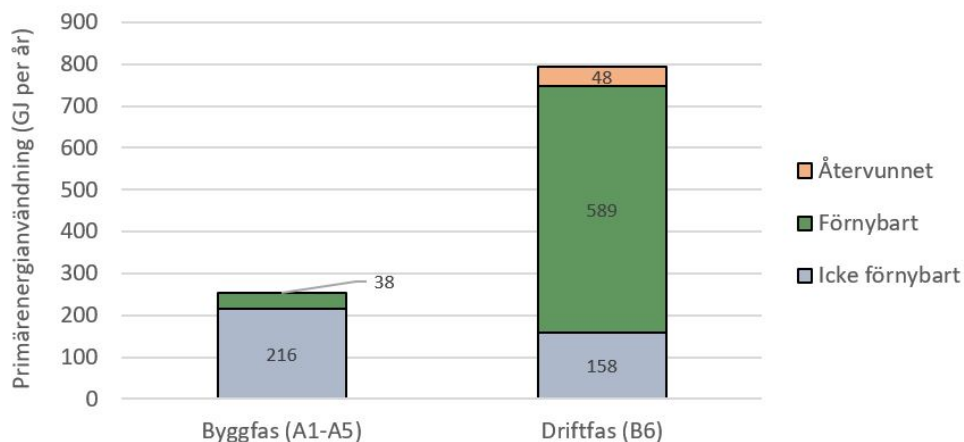
Figur 13: Fördelning över primärenergianvändningen i byggfasen, uppdelat i förnybart och icke förnybart för modulerna A1-A5. De gråa partierna motsvarar icke förnybar primärenergi, vilken utgör den största delen av PE-användningen.

Under driftfasen är det, som tidigare nämnt, fjärrvärmens, fastighets- och verksamhetselen som utgör de stora posterna i miljöpåverkan. Bland dessa är det fastighetselen som kräver mest resurser, 378 GJ primärenergi per år. Både fastighets- och verksamhetselen antas utgöras av svensk vattenkraft och är 100 % förnybar. Trots att energiförbrukningen för fjärrvärmens i sporthallen (i kWh per år) är nästan dubbelt så stor som fastighetselens förbrukning kräver fjärrvärmens mindre primärenergi. Detta beror på att vattenkraftens PEF är 1,1 (Gode et al. 2011), vilket är högre än de flesta PEF för de olika energislagen som används för produktionen av fjärrvärmens (presenterades i Tabell 1). Enligt ekvation 2 ger ett högre PEF en högre primärenergianvändning. Som Figur 14 visar utgörs dock en stor del, 70 %, av fjärrvärmens primärenergianvändning av icke förnybara källor.



Figur 14: Fördelningen av icke förnybar, förnybar och återvunnen primärenergiförbrukning per år i driftfasen, B6, uppdelat på fjärrvärme, fastighetsel samt verksamhetsel.

När bygg- och driftfasen jämförs visar resultatet tydligt att driftfasen, B6, har en nästan fyra gånger större primärenergianvändning än byggfasen, se Figur 15. Av byggfasens 254 GJ per år består hela 85 % av icke förnybar primärenergi, medan driftfasens andel icke förnybara källor endast är 20 %. Dock kräver modul B6 totalt 795 GJ primärenergi per år. Den återvunna delen på 48 GJ per år härstammar från fjärrvärmens och det specifika kraftvärmeverket i Malmö, och utgörs till största del av avfall och spillvärme. I andra termer motsvarar byggfasens PE-användning 70 MWh primärenergi per år medan driftfasen motsvarar 220 MWh primärenergi per år.



Figur 15: Den totala primärenergiförbrukningen i GJ per år uppdelat i icke förnybar, förnybar och återvunnen primärenergi. Diagrammet visar fördelningen inom och mellan bygg- och driftfaserna.

För Hästhagens sammanlagda livslängd, inklusive både bygg- och driftfas, används totalt 73412 GJ primärenergi (Tabell 9), varav 36 % kommer från icke förnybara källor, 60 % från förnybara källor (som främst utgörs av vattenkraft) och resterande 4 % består av återvunnen material. Det återvunna materialet kommer uteslutande från fjärrvärmens och består till största del av avfall, spillvärme och avfalls- och restgas. I Tabell 9 presenteras

även det övergripande resultatet för övriga funktionella enheter. Det är viktigt att notera att de två första enheterna presenteras i GJ medan primärenergien per uppvärmd kvadratmeter och per aktivitetstimme presenteras i MJ. 2,0 MJ motsvarar 0,56 kWh primärenergi per aktivitetstimme utförd av en person.

Tabell 9: Resultatet för primärenergianvändningen uppdelat per olika funktionella enheter. Hästhagens sporthall har en uppvärmd area på 4850 kvadratmeter ($m^2 A_{temp}$) och 514650 aktivitetstimmar per år.

Funktionell Enhet	Bygghfas (A1-A5)	Driftfas (B6)	Totalt Hästhagens Sporthall
GJ/hela byggnaden	17774,6	55637,4	73412,0
GJ/år	253,9	794,8	1048,7
MJ/ $m^2 A_{temp} \cdot \text{år}$	52,4	163,9	216,2
MJ/aktivitetstimme	-	-	2,0

För en noggrannare fördelning av primärenergianvändningen från respektive delprocess eller material presenteras resultatet från miljöpåverkansbedömningen i Tabell 10.

Tabell 10: Varje elements kumulativa totala primärenergianvändning från miljöpåverkansbedömningen fördelat på varje modul. Där det står 0 är resultatet ihopräknat med elementet ovanför och streck (-) anger ingen data tillgänglig. Blankt utrymme betyder ingen påverkan i den aktuella modulen. **Enhet: GJ per byggnad.**

Element	A1-A3	A4	A5	B6
Markförberedande				
Schaktmassor (samfliga)		1455,8	77,6	
Grund				
Tätspont	3828,4	38,0	-	
Betong C30/37	2258,6	25,3	-	
Betong C25/30	283,8	0	-	
Armeringsnät	578,9	15,5	-	
Lösarmering	84,2	0	-	
Stomme - Prefabricerat				
Flänsbetong	115,3	7,2	1,5	
Håldäck	313,8	39,2	4,9	
I-formad balk	513,3	39,7	7,6	
Rektangulär balk	28,1	1,7	0,4	
Massiva bjälklagsplattor	964,3	74,8	15,2	
Rektangulär pelare	470,0	27,9	5,6	
Bärande bjälklag	78,4	6,1	1,2	
Sadelformad TT-däck (Tak)	270,1	25,8	7,8	
Massivvägg, Ytter eller inner	1569,5	300,4	7,6	
Isolerad massivvägg, Ytter eller inner	1106,2	153,5	287,9	
Rak trappa	119,2	9,3	3,7	
Slipad och polerad betong	9,2	0,7	0,3	
Varm- och kallformad konstruktionsrör	7,5	0,02	0,003	
Övrig stål	199,1	0,6	0,09	
Fogbetong	-	-	-	
Fasad				
Tegel	2073,6	107,7	5,1	
Fönster, Schueco FW50+ SG	628,2	4,6	-	
Isolering, stenull	329,0	38,2	32,3	
Drift				
Fjärrvärme				226,0
Fastighetsel				378,5
Verksamhetsel				190,3

4.3 JÄMFÖRELSE MED TRADITIONELL SPORSTALL

Från en rapport som undersöker sex olika typer av idrottsanläggningar på uppdrag av kommuner i Stockholms län, framgår att en vanlig sporthall i ett plan med maximal kapacitet på 200 personer har en total klimatpåverkan på 1032 ton CO₂-ekvivalenter under en livslängd på 40 år (Regnell et al. 2020). Detta innebär 25,8 ton CO₂-ekvivalenter per år, vilken bör ställas i kontrast mot Hästhagens totala 49,8 ton CO₂-ekvivalenter per år. Enplanshallen har därmed en hälften så stor klimatpåverkan jämfört med denna studies undersökta sporthall i två plan, sett till hela byggnaden per år. Detta är föga förvånande då Hästhagens sporthall är betydligt större än enplanshallen. Det är dock intressant att undersöka fördelningen över bygg- och driftfasen. För sporthallen undersökt av Regnell et al. (2020) bidrar byggfasen endast med 7,3 ton CO₂-ekvivalenter per år medan driftfasen står för en betydligt större andel, 18,6 ton CO₂-ekvivalenter per år. Skillnaden mot byggfasen för Hästhagens sporthall är därmed upp mot 20 ton CO₂-ekvivalenter per år, vilket är en stor differens. En viss skillnad i utsläpp per år från byggfasen var väntad i och med att det naturligtvis går år mer material att bygga en multihall med drygt dubbel så stor kapacitet. Driftfasen för den traditionella sporthallen i ett plan är desto

närmare klimatpåverkan från denna studies undersökta multihall. Från Hästhagens sporthall är utsläppen från driften 22,9 ton CO₂-ekvivalenter per år, vilket endast är drygt 4 ton CO₂-ekvivalenter mer än för enplanshallen.

Enplanshallen antas ha en total yta på 1800 m² (Regnell et al. 2020). Fördelat på arean och under en förväntad livstid på 40 år blir klimatpåverkan 14 kg CO₂-ekvivalenter per år och kvadratmeter, vilket jämfört med Hästhagens sporthall (10,3 kg CO₂-ekvivalenter per år och kvadratmeter) är knappt 4 kg CO₂-ekvivalenter högre. Rapporten från Regnell et al. (2020) visar även på att den undersökta sporthallen i ett plan tillhandahåller 7074 aktivitetstimmar per ton CO₂-ekvivalenter. Siffran för antal aktivitetstimmar är framtagen på samma sätt som den som presenteras i resultatet för denna rapport, med en beläggningsgrad på 25 %. Beräknas detta om till samma funktionella enhet som presenteras i resultatet för denna rapport blir klimatpåverkan 141 g CO₂-ekvivalenter per aktivitetstimme, det vill säga 45 gram CO₂-ekvivalenter mer per timme än Hästhagens klimatutsläpp.

Då inte många LCA:er har utförts på sporthallar har en jämförelse för validering av resultatet skett med ett flerbostadshus byggt i betong. Undersökningen analyserade samma moduler som denna studie, det vill säga A1-A5 i byggfasen samt B6 i driftfasen för en livslängd på 50 år. Resultatet visade att flerbostadshuset hade en klimatpåverkan på 652 kg CO₂-ekvivalenter per m²A_{temp} samt krävde 25 GJ primärenergi per m²A_{temp} (Liljenström et al. 2014). Resultatet i detta examensarbete presenteras på samma sätt men per år, och då detta korrigeras blir multihallens miljöpåverkan 721 kg CO₂-ekvivalenter per m²A_{temp} samt 15 GJ primärenergi per m²A_{temp}. Miljöpåverkan för de båda betongbyggnaderna är av samma storleksordning och därmed anses resultatet i denna studie vara rimligt.

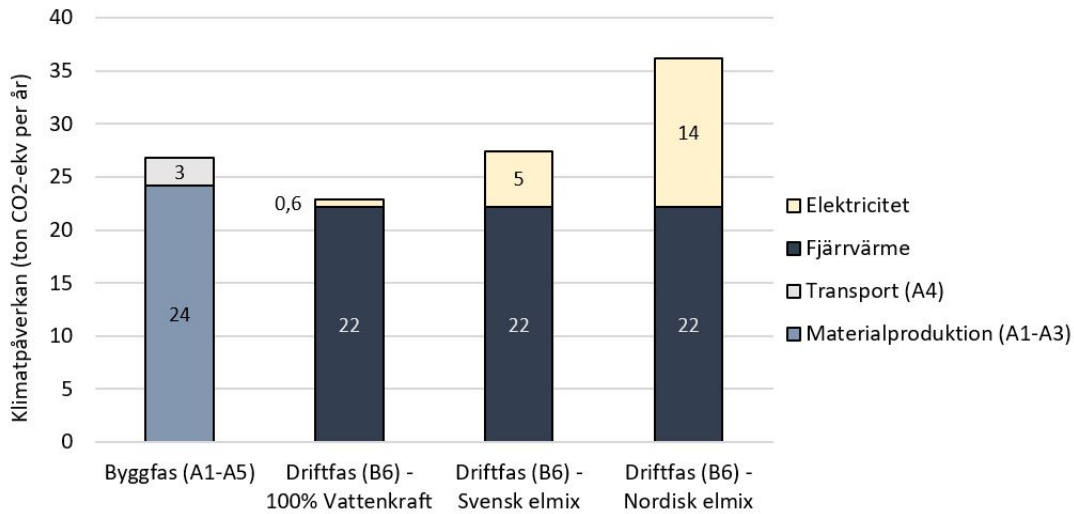
För att sätta storleksordningen på resultaten som presenteras i denna rapport i förhållande till något som gemene man har enklare att förstå används en villas energiförbrukning på ett år. En svensk medelvilla på 150 kvadratmeter har en genomsnittlig energiförbrukning på ungefär 20000 kWh per år (Energimarknadsbyrån 2020b). Om fjärrvärme används för uppvärmning av huset utgör denna 15000 kWh (Energimarknadsbyrån 2020a) och resterande 5000 kWh per år åtgår således till elförbrukning. För att få en så rättvis jämförelse med Hästhagens sporthall som möjligt antas elektriciteten bestå av vattenkraft och fjärrvärmens komma från samma kraftvärmeverk i Malmö. Utifrån detta scenario blir den totala primärenergianvändningen för en medelvilla 70 kWh per uppvärmd kvadratmeter och år. Resultatet för Hästhagens sporthall visar att samma siffra är 216 MJ per uppvärmd kvadratmeter och år, vilket motsvarar 60 kWh per uppvärmd kvadratmeter och år. Om hallen analyseras i sin helhet är dess primärenergiförbrukning ungefär 291000 kWh per år, vilket svarar mot 28 medellors primärenergianvändning per år.

4.4 KÄNSLIGHETSANALYS

Känslighetsanalyser som utförts på resultaten presenteras nedan, valda parametrar som har testats är val av elektricitet/elmix samt livslängd på byggnaden. Resultaten presenteras i grafer för den funktionella enheten miljöpåverkan per år, men naturligtvis påverkas även resultatet för övriga funktionella enheter.

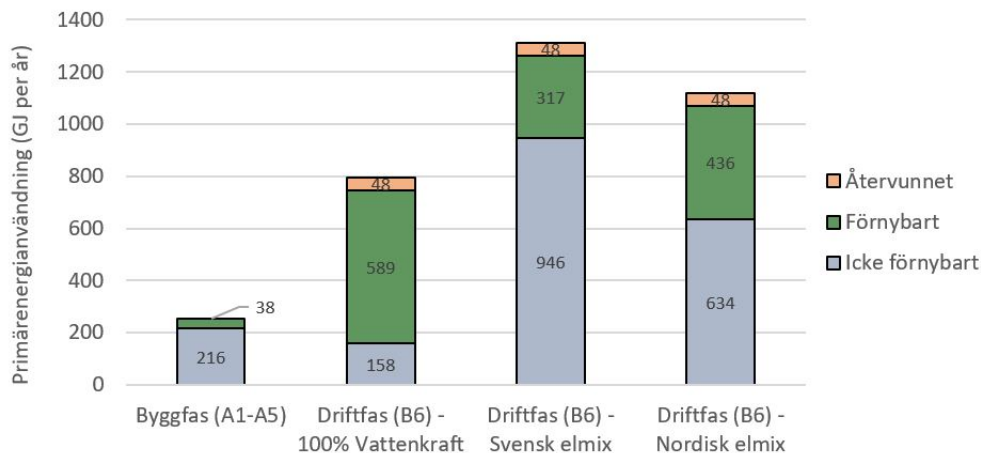
4.4.1 Val av elmix

Val av elektricitet bidrar till en relativt stor skillnad i klimatutsläpp per år. I denna studie har elen antagits komma från svensk vattenkraft, och då detta ändras till svensk eller nordisk elmix syns en ökning av den totala klimatpåverkan från driftfasen per år, se Figur 16. Då nordisk elmix används ökar CO₂-utsläppen mest, till 36 ton CO₂-ekvivalenter per år. Detta ger en skillnad på drygt 13 ton per år, jämfört med den svenska elmixen som endast ger en skillnad på drygt 4 ton CO₂-ekvivalenter per år i förhållande till det nuvarande scenariot med vattenkraft. Emissionsdata för beräkning av ton koldioxidutsläpp från svensk vattenkraft, svensk elmix och nordisk elmix är tagna från Miljöfaktaboken (Gode et al. 2011). Emissionsdata från andra rapporter kan skilja sig från dessa och ger således även ett annat resultat. Dock visar denna känslighetsanalys att resultatet för klimatpåverkan från driftfasen är relativt känsligt för val av elmix, då ett skifte från vattenkraft till nordisk elmix ger en ökning av koldioxidutsläpp på 59 %.



Figur 16: Skillnaden i ton koldioxidutsläpp per år beroende på val av elmix. Första och andra stolpen, Bygghfas (A1-A5) och Driftfas - 100% Vattenkraft, visar resultatet för denna studie medan Driftfas - Svensk elmix och Driftfas - Nordisk elmix visar skillnaden då fastighets- och verksamhetsdelen utgörs av respektive elmix.

När det kommer till primärenergiförbrukningen ser det lite annorlunda ut, då den svenska elmixen bidrar till en högre energianvändning jämfört med den nordiska elmixen, se Figur 17. Det är främst användningen av icke förnybara resurser som ökar. Detta medför att driftfasen skulle använda 1311 GJ per år jämfört med 795 GJ per år då vattenkraft används, det vill säga en ökning med 65 %. Driftfasens primärenergianvändning med svensk elmix blir då drygt fem gånger så stor per år jämfört med bygghfasens. Då nordisk elmix används till fastighets- och verksamhetsdelen ökar PE-avändningen istället med 40 %.



Figur 17: Skillnaden i GJ förnybar och icke förnybar primärenergi per år beroende på val av elmix. Första och andra stolpen, Bygghfas (A1-A5) och Driftfas - 100% Vattenkraft, visar resultatet för denna studie medan Driftfas - Svensk elmix och Driftfas - Nordisk elmix visar skillnaden då fastighets- och verksamhetsdelen utgörs av respektive elmix.

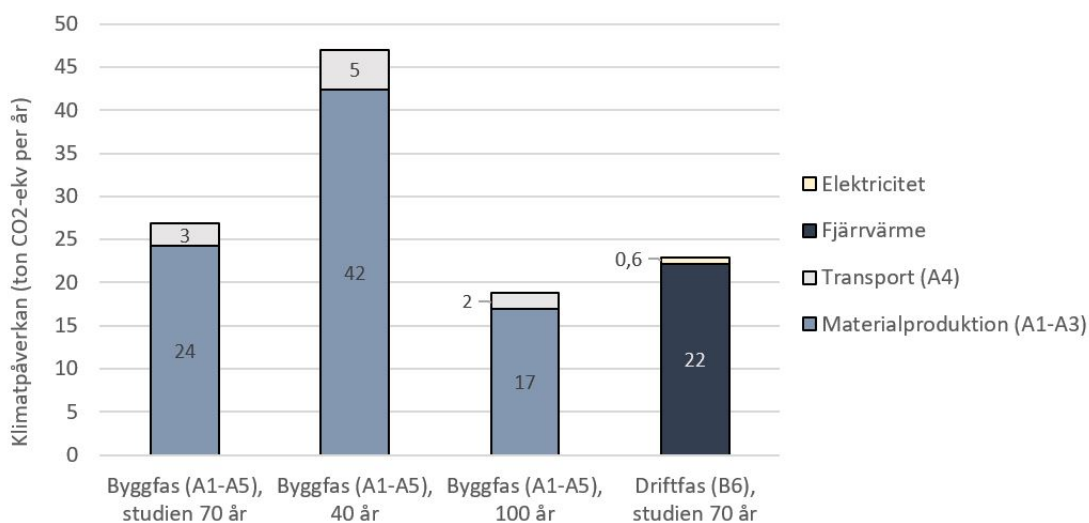
Känslighetsanalysen visar att resultatet varierar kraftigt beroende på vilken typ av energi och elmix som används vid beräkningar.

4.4.2 Byggnadens livslängd

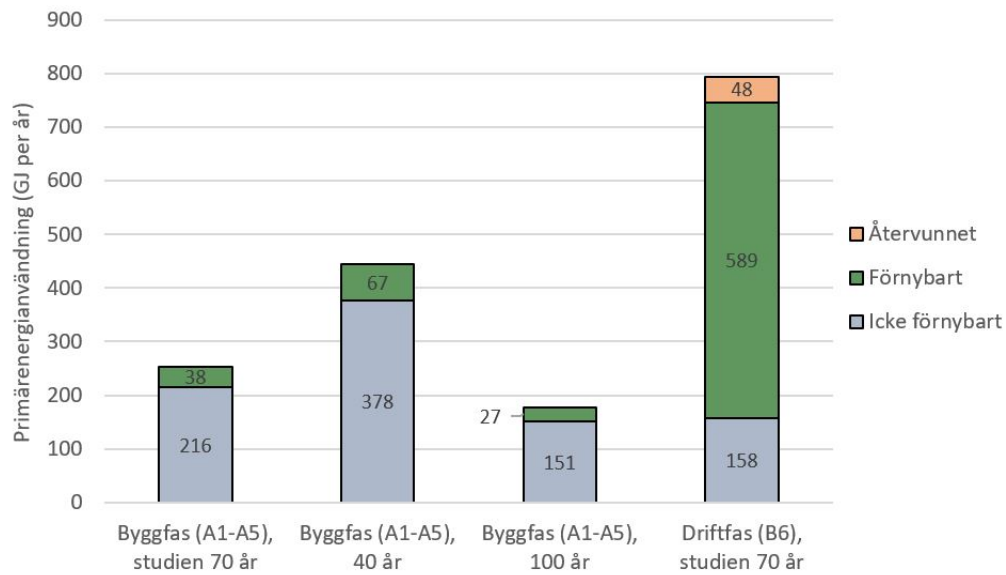
En byggnads livslängd spelar stor roll för framför allt miljöpåverkan från byggfasen (A1-A5); ju längre byggnaden står kvar desto mindre blir utsläppen per år. Vad beträffar klimatpåverkan ökar utsläppen av koldioxidekvivalenter från byggfasen med 74 % om livslängden förkortas från 70 till 40 år, se Figur 18. Detta skulle även innebära att byggfasens (modulerna A1-A5) klimatpåverkan blir dubbelt så stor som driftfasens (B6) klimatpåverkan per år, vilket är en betydelsefull skillnad mot studiens verkliga resultat. Då livslängden istället ökas till 100 år minskar de årliga utsläppen med 30 %.

Vad gäller primärenergianvändningen per år ökar och minskar naturligtvis byggfasens energianvändning med samma procentsatser som vid klimatpåverkan, enligt Figur 19. Dock förblir byggfasens bidrag alltid mindre än driftfasen, och det skulle krävas att sporthallen hade en livslängd på endast 22 år för att de två faserna skulle ha en liknande PE-användning.

Analysen visar att även med avseende på livslängd är resultatet känsligt för förändringar, framför allt då livslängden minskas till 40 år. För klimatpåverkan skiftar då fördelningen mellan de två faserna till att byggfasens påverkan blir betydligt större än driftfasen. Detta bör tas hänsyn till vid tolkning av resultaten.



Figur 18: Känslighetsanalys av byggnadens livslängd och dess utsläpp av ton CO₂-ekv per år. Denna studies resultat baseras på en livslängd på 70 år, vilket den första och sista stapeln visar för bygg- respektive driftfasen. Den andra stapeln (Byggfas (A1-A5), 40 år) visar klimatpåverkan från byggfasen om livslängden minskar till 40 år medan den tredje stapeln (Byggfas (A1-A5), 100 år) visar koldioxidutsläppen per år om byggnadens livslängd ökar till 100 år.



Figur 19: Känslighetsanalys av byggnadens livslängd och dess primärenergianvändning i GJ per år. Denna studies resultat baseras på en livslängd på 70 år, vilket den första och sista stapeln visar för bygg- respektive driftfasen. Den andra stapeln (Bygghfas (A1-A5), 40 år) visar PE-användningen från byggfasen om livslängden minskar till 40 år medan den tredje stapeln (Bygghfas (A1-A5), 100 år) visar GJ per år om byggnadens livslängd ökar till 100 år.

5 DISKUSSION

5.1 KLIMATPÅVERKAN

Fokus har i denna rapport riktats på klimatpåverkan från Hästhagens sporthall. Sporthallen är i grund och botten helt uppbyggd av betong, vilket är ett material som kräver en stor mängd icke förnybara resurser för att produceras, som i sin tur genererar höga utsläpp av växthusgaser. Det är tydligt från resultaten av analysen att produktionen av allt material (modul A1-A3) står för en betydande del, 49 %, av klimatpåverkan och de koldioxidutsläpp som sker i samband med byggnationen och driften. Då sporthallen består av två fullstora gymnastikhallar ovanpå varandra krävs att en stor spännvidd hålls upp, och för att klara av detta valde projektgruppen i Malmö att använda betong. Detta ansågs ha en högre hållfasthet för att hålla upp hallarna än om trä och stål skulle användas. Resonemanget i detta är relevant och rimligt, och en intressant fråga som inte tas upp i denna rapport är hur utsläppsdata skulle förändras om dessa andra, mer (miljö)hållbara, material skulle ha använts. Enligt Andersson et al. (2013) har betongbyggnader en förmåga att ta upp CO₂ under sin livstid. Artikeln beskriver att både de teoretiska och uppmätta resultaten visar på att 17 % av de totala utsläppen från betongproduktion i Sverige togs upp av byggnader år 2011. Om detta, som kallas karbonatisering, kan appliceras på Hästhagens sporthall innebär det en betydelsefull minskning av dess klimatpåverkan, och det vore ytterligare en intressant aspekt att undersöka närmare för att ge en ännu mer korrekt bild av sporthallens nettokoldioxidutsläpp.

Det är därmed modul A1-A3 som står för de främsta utsläppen för hallen. Varken transport i modul A4 eller konstruktion i A5 har en betydande del sett till modulerna A1-A3, de står för knappt 10 respektive 0,6 % av klimatpåverkan från byggfasen. Trots att det blir en del långa transporter verkar de inte spela så stor roll i det större sammanhanget. För samtliga transporter har diesel med 5 % RME använts, men i Sverige används idag även en relativt stor mängd HVO100 i lastbilar och om fler parametrar hade kunnat justeras vid beräkning av transporter i NTMCalc 4.0 hade transporternas påverkan antagligen minskat ännu mer. Ytterligare en parameter som genererar en osäkerhet i resultatet är att viss data saknas för modul A5, främst utsläpp från arbetsmaskiner vid anläggningen av grunden till hallen, så som nedsättning av tätspon, arbetet med armering och platsgjutning av betong. Naturligtvis hade andelen för den totala miljöpåverkan från modul A5 då ökat men det är dock troligt att även om denna data kunnat inkluderas hade det inte påverkat slutresultatet i så stor mån. Tidigare studier som analyserat byggnader utifrån ett livscykelperspektiv visar på samma trend, att det främst är produktskedet (A1-A3) som står för en betydande del av utsläppen som påverkar klimatpåverkan. Enligt Liljenström et al. (2014) stod A1-A3 för 84 % av klimatpåverkan i byggskedet av ett flerbostadshus i betong. Motsvarande siffra för Hästhagens sporthall är 89 %.

Utöver betongen och övrigt material som använts i multihallen står fjärrvärmens för en stor del av utsläppen av växthusgaser, som tillsammans ackumuleras till koldioxidekvivalenter. Klimatpåverkan från denna process beror naturligtvis på vilket kraftvärmeverk som producerar fjärrvärmens och vilken sammansättning av primärenergi som används i just det specifika verket. För noggranna analyser av en viss byggnad eller situation är det viktigt att använda emissionsdata från det verket som producerar fjärrvärmens, men om en mer allmän analys utförs kan genomsnittsdatabaser från samtliga kraftvärmeverk i Sverige användas. Detta bidrar som sagt till en skillnad i resultatet (Gode et al. 2011) och en intressant aspekt att undersöka vidare är att jämföra detta kraftvärmeverk i Malmö med andra runt om i Sverige för att se denna potentiella skillnad. Olika kraftvärmeverk bör därmed även bidra till en osäkerhet i jämförelsen med enplanshallen, villan och flerbostadshuset i betong.

Vid jämförelsen med sporthallen i endast ett plan visade resultaten att multihallen i två plan är något effektivare vad gäller mängd CO₂-utsläpp per år och kvadratmeter. Denna funktionella enhet valdes då den anses ge en någorlunda rättvis jämförelse mellan två byggnader med ungefär samma funktion. När resultatet slås ut per kvadratmeter uppvärmd yta i byggnaden visar utkastet till rapporten från Regnell et al. (2020) att enplanshallen genererar en klimatpåverkan på 14 kg CO₂-ekvivalenter medan tvåplanshallen i Malmö orsakar en klimatpåverkan på ungefär 10 kg CO₂-ekvivalenter. Detta är dock ingen stor skillnad och skulle enkelt kunna förklaras med olika beräkningsmetoder, vilka material och aspekter som beslutats att inkluderas i analysen och var systemgränser dragits. Utifrån diskussioner med författarna till rapporten från 2020 är dock metodvalen till synes relativt lika mellan enplans- & tvåplanshallen. Däremot har olika EPD:er använts vilket därmed genererar

en skillnad i resultatet då dessa ofta är specifikt framtagna av en leverantör för ett visst produktionssätt av ett material. Det bedöms ändå inte som att skillnaden på 4 kg CO₂-ekvivalenter per uppvärmd kvadratmeter och år mellan de två sporthallarna kan bidra till en generell slutsats om att sporthallar i flera plan skulle ha en mindre klimatpåverkan än traditionella sporthallar. Sett till den funktionella enheten per aktivitetstimme är utsläppen från Hästhagens sporthall 45 g CO₂-ekvivalenter lägre, vilket motsvarar att den skulle vara 31 % mer effektiv per aktivitetstimme. Till viss del kan detta förklaras i det enkla faktum att multihallen har beräknats ha öppet två timmar längre per dag än enplanshallen, men även om detta justeras är multihallen i Malmö knappt 18% effektivare sett till gram CO₂-ekvivalenter per aktivitetstimme. Kanske kan denna skillnad tyda på ett visst positivt utslag vad gäller frågan om en sporthall i flera plan kan vara mer miljöeffektiv än om samma nytta fördelas på ett antal sporthallar i endast ett plan. En faktor som är viktig att ta upp i diskussionen kring aktivitetstimmar är beläggningsgraden. I rapporten, och även i den från Regnell et al. (2020), har en beläggningsgrad på 25 % antagits. För Hästhagens sporthall finns inget belägg för denna siffra utan den är helt enkelt bara antagen. Om den verkliga beläggningsgraden hade använts eller om ett annat värde antagit hade detta antagligen påverkat resultatet för gram CO₂-ekvivalenter per aktivitetstimme avsevärt.

Ytterligare två faktorer som bidrar till en osäkerhet i jämförelsen mellan de två sporthallarna är dess respektive geografiska plats samt den data som använts för energiförbrukningen. Då Hästhagens sporthall ligger i Malmö och enplanshallen är placerad i Stockholm skiljer sig årsmedeltemperaturen enligt SMHI (u.å.) med 2 grader. Att den genomsnittliga temperaturen är 2 grader varmare i Malmö än i Stockholm bör påverka energiförbrukningen för enplanshallen, som därmed bör förbruka fler kWh i fjärrvärme än om den hade varit placerad i Malmö. Utöver skillnad i klimat spelar även konstruktion och isolering roll, då en dåligt isolerad hall möjligtvis kan ha en högre energiförbrukning än en energieffektiv sporthall även då den geografiskt sett ligger i ett varmare område. Klimatzoner och mer detaljerade analyser av konstruktioner för de båda hallarna är dock inget som varit möjligt att undersöka i detta examensarbete. Den andra faktorn som genererar en osäkerhet i jämförelsen mellan multihallarna är den data som användes för energiförbrukningen. Då denna studie syftar till att påvisa Hästhagens miljöpåverkan så noggrant som möjligt har energiförbrukningen för dess första år i drift använts, det vill säga största delen av 2019 och början av 2020. Detta kan anses som ej representabel data då det inte är en generell siffra och den inte tar hänsyn till om 2019 var ett varmt eller kallt år. För enplanshallen har istället en generell siffra för sporthallar från Energimyndigheten använts (Regnell et al. 2020). Eventuella framtida klimatförändringar som kan bidra till en ändrad energiförbrukning har inte inkluderats i den här studien.

5.2 PRIMÄRENERGIANVÄNDNING

Primärenergien är endast presenterad i icke förnybar, förnybar och återvunnen (för fjärrvärmen) energi. För samtliga material användes EPD:er som inte visade fördelningen av de olika energikällorna. Detta hade dock varit intressant att undersöka och dessutom gett en större inblick i den faktiska primärenergien som används. En bredare och mer djupgående analys av de olika energikällorna hade kunnat sätta resultatet i ett annat perspektiv. Energi-användningen i byggfasen följer samma treden som sågs i resultatet för klimatpåverkan, nämligen att modulerna A1-A3 bidrar med störst åtgång av energi, främst icke förnybar. På samma sätt som för koldioxidutsläppen är den väldigt stora mängden använd primärenergi en konsekvens av all betong som användes till stommen och grunden. I A4, transporten till byggarbetsplatsen, har dieseln energiinnehåll beräknats, varav 5% består av RME. Även om ett mer förnybart drivmedel hade använts hade det inte heller påverkat PE-användningen avsevärt just på grund av det stora bidraget från A1-A3. Däremot är det driftfasen som står för den största påverkan vid jämförelse mellan de olika faserna. Malmö stads val att bara använda 100 % förnybar energi till Hästhagens sporthall ger ett positivt utslag av en låg mängd icke förnybar energi, en del som i detta specifika fall endast kommer från fjärrvärmen. En faktor som bidrar till en osäkerhet i jämförelsen mellan byggfasen och driftfasen är att primärenergianvändningen är framräknade med olika metoder i de olika faserna. Byggfasen är framräknad från data från EPD:er och därmed är det oklart vilka PEF som använts. För att få ett mer korrekt förhållande mellan de båda faserna borde byggfasens primärenergianvändning ha beräknats med samma PEF som användes i driftfasen, som presenterades i Tabell 1. Dock fanns det ej utrymme för detta inom ramen för det här examensarbetet.

Valet av 100 % förnybar el kan vara en förklaring till att sporthallens primärenergianvändning per uppvärmd kvadratmeter till och med är lägre än en genomsnittlig villas. Primärenergien för en medelvilla är uträknade utifrån samma scenario som för Hästhagens sporthall och är tänkt att ge läsaren en bättre uppfattning om den faktiska förbrukningen, då de stora siffrorna som presenteras i diagrammen kan vara svåra att tolka. Den undersökta sporthallen i två plan har en årlig primärenergiförbrukning på 60 kWh per uppvärmd kvadratmeter, vilket är väldigt snarligt villans förbrukning på 70 kWh. Denna energiförbrukning inkluderar endast motsvarande driftfasen för en villa och exkluderar således byggfasen. Att Hästhagens energikonsumtion är snarlik eller till och med mer effektiv än en villas visar dels att resultatet är rimligt men även att designen av konstruktionen av de två hallarna i två plan kanske har bidragit till en mer energieffektiv byggnad. Denna jämförelse måste dock tolkas med försiktighet i och med att de två olika byggnaderna är tillämpade för olika ändamål, ett boende och en kommersiell byggnad, och detta har naturligtvis även en påverkan på uppvärmningskrav och energianvändningen. Ett alternativ för att minska påverkan från sporthallens driftfas kan vara att använda ytan på taken till förmån för solceller, som därmed skulle kunna producera elektricitet och möjligtvis minska elanvändningens påverkan på primärenergi då dess PEF är betydligt mindre än vattenkrafts (Gode et al. 2011).

Som känslighetsanalysen visar är resultatet för Hästhagens sporthall miljöpåverkan känsligt vad gäller val av både livstid och elmix. Vid användning av nordisk elmix istället för ren vattenkraft ökar koldioxidutsläppen från driftfasen (B6) med drygt 60% och om svensk elmix väljs ökar istället primärenergianvändningen per år med knappt 65%. Dessa stora fluktuationer medför att resultatet, vad gäller både när det står på egen hand men även i jämförelse med andra analyser, måste tolkas med detta i åtanke. Om rättvisa och transparenta jämförelser ska utföras eller om resultatet ska användas som ett typ av beslutsunderlag för kommuner och beslutsfattare måste denna aspekten inkluderas. Även när det kommer till förändring av livslängd för byggnaden varierar resultatet mycket. Koldioxidutsläppen per år för byggfasen mer än fördubblas om livslängden minskar till 40 år jämfört med om byggnaden håller i 100 år. Ungefär samma förändring syns i primärenergien, GJ per år. Det vill säga att ju längre tid byggnaden används desto större blir bidraget från driften, och ännu viktigare är det att minska energianvändningen för att minimera byggnadens miljöpåverkan. Utöver det, tyder så stora variationer på ett instabilt resultat som är känsligt för de specifika omständigheterna för just denna byggnad.

5.3 METODVAL

Generella aspekter som kan vara intressanta att diskutera är problematiken kring att jämföra miljöprestandan för olika byggnader. Den europeiska tillika svenska standarden SS-EN 15978:2011 ger en generell vägledning över hur en LCA bör utföras på en byggnad och hur de olika processerna från produktion till rivning bör delas upp i olika moduler. Dock är det upp till varje undersökning att avgöra mer specifikt vilka moduler som faktiskt tas med och mer exakt vad som bör inkluderas i dessa, exempelvis om endast de stora materialgrupperna ska studeras. En studie som enbart tagit med dessa, så som denna studie, kommer skilja sig från en studie som även baserat beräkningar på hur många skruvar och pluggar som använts. Var systemgränser sätts och hur noggrant och djupgående analysen går kommer påverka resultaten, och göra det svårare att jämföra olika byggnaders miljöpåverkan med andra. Detta är även en fråga om att miljödata för byggmaterial finns tillgängligt, en fråga som Boverket (2015) uppmärksammat. Data om hur olika byggmaterial påverkar miljön kan vara svår att hitta och därför behövs fler riktlinjer och information till tillverkare för att de ska kunna generera dokumentation kring sina produkter (Boverket 2015). Detta har varit ett problemområde som uppstått även i detta arbete, då begränsningar i tillgänglig data begränsat vilka material som kunnat inkluderas. Exempel på sådana material är sportgolven i hallarna.

En ytterligare aspekt som är viktig att diskutera är den funktionella enheten som används. Enligt statens Energimyndighet (2009) är det för idrottsanläggningar rimligt att jämföra primärenergianvändningen per öppetimme, men även att undersöka miljöpåverkan per verksamhetsyta, det vill säga den yta som faktiskt används till aktivitet, så som sporthall, bassäng eller gym. En passande funktionell enhet för en sporthall bör ge en rättvis bild av resultatet för studiens syfte. För en sporthall, eller idrottsanläggning i allmänhet, finns därmed många parametrar att beakta. Detta arbete har inkluderat flera funktionella enheter för att resultaten ska kunna tolkas

och jämföras på ett så korrekt sätt som möjligt. Miljöpåverkan per aktivitetstimme inkluderar multihallens öppettimmar, men ger också en absolut siffra för vad en person som utövar aktivitet i en timme har för klimat- och primärenergipåverkan. Detta kan ge en rättvis jämförelse mellan idrottsanläggningar med samma funktion, men det är möjligt att just den funktionella enheten blir missvisande då hallar anpassade för olika sporter jämförs, exempelvis en ishall och en sporthall. Funktionella enheter som istället tar upp miljöpåverkan per kvadratmeter eller år kan vara relevanta att använda då syftet endast är att jämföra två byggnaders prestanda med varandra. Men för idrottsanläggning måste typ av aktivitet som utförs och dess påverkan på folkhälsan också inkluderas för att ge en rättvis bedömning eller för att kunna användas till beslutsunderlag för kommuner och myndigheter. Frågan är dock om det är möjligt att hitta ett objektiva sätt att göra detta på eller om just denna sociala aspekt måste bedömmas individuellt och baseras på värderingar.

De mest relevanta funktionella enheterna som presenteras i detta arbete anses vara per uppvärmd kvadratmeter och år samt per aktivitetstimme. Dessa tar hänsyn till storlek, livstid samt öppettimmar och möjliggör en objektiv jämförelse mellan olika hallar.

5.4 YTTERLIGARE STUDIER

Som framhävts tidigare i rapporten är Hästhagens sporthall främst byggd i betong för att, enligt Horke (2020) klara den stora spännvidden och tyngden från en fullstor sporthall ovanpå en annan. I planeringen av sporthallen beslutades att trä och stål inte har samma styrka att klara av den stora spännvidden. Anledningen till att denna problematik fanns är naturligtvis att Hästhagens är byggd i två plan. Innebär då detta att det i allmänhet är svårare att övergå till mer hållbara byggmaterial för sporthallar i flera plan och att sporthallar blir mer miljövänliga om den totala arean sprids ut på markytan? Detta resonemang bör ställas mot markanvändning och åtgång. En sporthall i flera plan tar onekligen upp mindre markyta än om samma sporthall med samma funktioner hade spridits ut på endast ett plan. För just Hästhagens sporthall fanns ingen annan aktuell plats att bygga på då den ersatte en redan befintlig idrottshall på samma ställe. Det är främst viktigt att undersöka marktillgång om en helt ny sporthall ska byggas. Nyttor som finns i kolsänkor i mark och skog, eller Sveriges självförsörjandegrad med hjälp av jordbruksmark, kan omintetgöras då nya byggnader upprättas på dessa platser. Markanvändning är en viktig miljöaspekt som inte undersöks i denna studie men som naturligtvis är intressant att analysera vidare. En funktionell enhet som exempelvis inkluderar både aktivitetstimmar och upptagen markyta skulle vara en tänkvärd infallsvinkel att studera beträffande jämförelsen mellan sporthallar i flera plan och vanliga, traditionella sporthallar i ett plan.

Ytterligare en fråga som tagit upp kort tidigare är hur en jämförelse mellan olika typer av sportanläggningar kan utföras. Här måste kanske den sociala aspekten och målet att uppnå en allmänt bra folkhälsa tas med i beräkningarna, något som denna rapport inte har inkluderat. Om miljöpåverkan från idrottsanläggningar ska kunna användas som en del av ett beslutsunderlag för kommuner när val görs angående vilka konstruktioner som ska anläggas, måste de sociala aspekterna inkluderas och vägas mot miljöpåverkan. Även de ekonomiska aspekterna är naturligtvis viktiga att ta hänsyn till, något som inte heller tagits upp i detta examensarbete. Från litteraturstudien framgår att den stora multihallen som planerades i Sundbyberg skulle kosta upp mot 800 miljoner kronor och kontraktsumman för Hästhagens sporthall låg på 113 miljoner kronor (Skjöld 2020). Den sistnämnda summan är exklusive skatter men det påvisar ändå en stor skillnad i investeringskostnad. Naturligtvis beror detta på utformningen av multihallarna, och den i Sundbyberg planerades att vara betydligt mer omfattande än Hästhagens i det avseendet att multihallens skulle innehålla ishallar, curlingbanor och en konstgräsplan. En intressant vinkel är att undersöka skillnaden i anläggningskostnader för en enplanssporthall och en flerplanshall och hur stor del byggandet i det vertikala rummet har på kostnadsskillnader.

6 SLUTSATS

Klimatpåverkan för Hästhagens sporthall är 10 kg CO₂-ekvivalenter per m²A_{temp} och år och hallens primärenergianvändning ligger på 216 MJ (60 kWh) per m²A_{temp} och år (för multihallen första år i drift). För klimatpåverkan är det modulerna A1-A3 (produktion av material) som står för 48 % av sporthallens totala växthusgasutsläpp samt fjärrvärmen i driftfasen (modul B6), vilken släpper ut hela 44 % av alla CO₂-ekvivalenter. Beträffande primärenergianvändningen är det tydligt att det är driftfasen (B6) och energikonsumtionen under byggnadens liv som ger störst påverkan. Här är det vattenkraften till fastighets- och verksamhetselen som kräver mest primärenergi i absoluta tal, men fjärrvärmen använder mer icke förnybar PE, totalt 15 % av den totala primärenergianvändningen. För både bygg- och driftfasen är det dock modulerna A1-A3 samt A4 som bidrar med störst påverkan av icke förnybar energi, närmare 21 %.

Jämförelsen med en traditionell sporthall i ett plan visar att Hästhagens sporthall är lite effektivare vad gäller klimatpåverkan per tillhandahållna sporttimmar, och genererar även mindre koldioxidutläpp per uppvärmd kvadratmeter. Denna studie visar på att det kan finnas vissa klimatvinster med att bygga sporthallar i fler plan, men det behövs mer forskning inom området för att kunna dra generella slutsatser, då detta resultat endast jämför två individuella och specifika sporthallar. Det finns många parametrar att ta hänsyn till när miljöprestandan av en sporthall i två plan jämförs med en enplanshall, exempelvis högre konstruktionskrav som bidrar till en ökad användning av betong. Resultatet visar därmed att det är materialval och energieffektivisering av sporthallen som kan minska dess miljöpåverkan. Det är viktigt att säkerställa och planera redan i projekteringsfasen för en energieffektiv byggnad för att minska dess primärenergianvändning ytterligare och på så sätt förbättra dess miljöprestanda.

Känslighetsanalysen kan möjligtvis ge en fingervisning till kommuner och myndigheter om vilken typ av energi som bör användas för att drastiskt minska en multihalls miljöpåverkan. Däremot beskriver den även hur känsligt resultatet är för just detta val, samt förändringar av parametrar som byggnadens livslängd.

REFERENSER

- Andersson, R., Fridh, K., Stripple, H. & Häglund, M. (2013). Calculating CO₂-Uptake for existing Concrete Structures during and after Service life. *Environmental Science & Technology*, (47), ss. 11625–11633.
- Boverket (2015). *Byggnaders klimatpåverkan utifrån ett livscykelerspektiv: Forsknings- och kunskapsläget*. (2015:35). Karlskrona: Boverket.
- Boverket (2019). *Introduktion till livscykelanalys (LCA)*. Boverket. Tillgänglig: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [2020-11-09].
- Celsa Steel Service (u.å.). *Rullarmering*. Celsa Steel Service. Tillgänglig: <https://celsa-steelservice.se/produkter/rullarmering/> [2020-10-14].
- Celsa Steel Service AB (2020). *Environmental Product Declaration - Steel reinforcement products for concrete*. Tillgänglig: <https://www.environdec.com/Detail/?Epd=8545> [2020-10-05].
- Contiga AB (2019). *Environmental Product Declaration - Prefabricerade stålkonstruktioner*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311591-1573811642/EPDer/Byggevarer/StÄlkonstruksjoner/NEPD-1928-851_Prefabricerade-stalkonstruktioner.pdf [2020-09-24].
- Ekvall, T., Azapagic, A., Finnveden, G., Rydberg, T., Weidema, B. P. & Zamagni, A. (2016). *Attributional and consequential LCA in the ILCD handbook. The International Journal of Life Cycle Assessment*. 21 3, s. 293–296.
- Energimarknadsbyrån (2020a). *Fjärrvärme - pris och kostnad*. Energimarknadsbyrån. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/fjarrvarme/fjarrvarmeavtal-och-kostnader/fjarrvarme-pris-och-kostnad/> [2020-11-12].
- Energimarknadsbyrån (2020b). *Normal elförbrukning och elkostnad för villa*. Energimarknadsbyrån. Tillgänglig: <https://www.energimarknadsbyran.se/el/dina-avtal-och-kostnader/elkostnader/elforbrukning/normal-elforbrukning-och-elkostnad-for-villa/> [2020-11-12].
- Environdec (u.å.). *Characterisation factors for default impact categories - The International EPD® System. The International EPD System*. Tillgänglig: <https://www.environdec.com/Creating-EPDs/Steps-to-create-an-EPD/Perform-LCA-study/Characterisation-factors-for-default-impact-assessment-categories> [2020-11-13].
- Environdec (u.å.). *The International EPD® System - The International EPD® System*. The International EPD System. Tillgänglig: <https://www.environdec.com/> [2020-11-13].
- E.ON (2020). *Miljövärden 2019*. Tillgänglig: <https://www.eon.se/fjarrvarme/miljopaverkan> [2020-09-10].
- EPD Norge (u.å.). *Home*. EPD Norge. Tillgänglig: <https://www.epd-norge.no/> [2020-12-04].
- Ferrometall AS (2019). *Environmental Product Declaration - Steel sheet piles*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1310069-1552900295/EPDer/Byggevarer/StÄlkonstruksjoner/NEPD-1730-708_Steel-sheet-piles.pdf [2020-10-05].
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. & Suh, S. (2009). Recent Developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, (91), ss. 1–21.
- Gode, J., Martinsson, F., Hagberg, L., Öman, A., Höglund, J. & Palm, D. (2011). *Miljöfaktaboken 2011 - Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transport*. Stockholm: VÄRMEFORSK Service AB.
- Grahl, B. & Klöpffer, W. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. Weinheim, Germany: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K. & Olsen, S. I., utg. (2018). *Life Cycle Assessment: Theory and Practice*. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3.
- Husgrunder (29 maj 2017). *Allt om betongbilar*. Husgrunder.com. Section: Betong. Tillgänglig: <https://www.husgrunder.com/betong/allt-om-betongbilar/> [2020-10-19].

- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change - Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*. [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)] Cambridge, United Kingdom och New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC (2019). *Land-climate interactions. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- Kynningsrud (2015). *Stålspons och stålrör*. Tillgänglig: <https://www.kynningsrud.no/wp-content/uploads/2015/09/Stalspons-och-stalror-pr-2015.pdf> [2020-10-14].
- Leiden University (u.å.). *CML-IA Characterisation Factors*. Leiden University. Tillgänglig: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors> [2020-11-20].
- Liljenström, C., Malmqvist, T., Erlandsson, M., Fredén, J., Adolfsson, I. & Larsson, G. (2014). *Byggproduktionens miljöpåverkan i förhållande till driften - Livscykelberäkning av klimatpåverkan och energianvändning av ett nyproducerat flerbostadshus i betong med lågenergiprofil. (C32)*. Stockholm: IVL. Tillgänglig: <https://www.ivl.se/publikationer/publikation.html?id=1050> [2020-11-11].
- Malmö stad (2019a). *Hästhagens idrottscenter, finalist Stadsbyggnadspriset 2019*. Tillgänglig: <https://malmo.se/Sa-arbetar-vi-med.../Stad-och-trafik/Stadsbyggnadspriset/Hasthagens-Idrottscenter-finalist-Stadsbyggnadspriset-2019.html> [2020-06-26].
- Malmö stad (2019b). *Malmö får en ny sporthall - eller faktiskt två!* Tillgänglig: <https://malmo.se/Service/Kultur-och-fritid/Nyheter-Kultur-och-fritid/2019-03-24-Malmo-far-en-ny-sporthall---eller-faktiskt-tva.html> [2020-06-25].
- Malmö stad (2020). *Boka sporthallar och gymnastiksalor*. Tillgänglig: <https://malmo.se/Service/Kultur-och-fritid/Boka-anlaggningar/Boka-sporthallar-och-gymnastiksalor.html> [2020-11-13].
- Matthews, H. S., Hendrickson, C. T. & Matthews, D. H. (2014). *Life Cycle Assessment: Quantitative Approaches for Decisions That Matter*. Open access textbook.
- Mynewsdesk (2020). *Nu ska vi bygga för 13 000 kvadratmeter rörelseglädje i Österåker!* Tillgänglig: https://www.mynewsdesk.com/se/osterakers_kommun/pressreleases/nu-ska-vi-bygga-foer-13-000-kvadratmeter-roerelseglaedje-i-oesteraaker-3007750 [2020-06-22].
- Naturskyddsföreningen (2016). *6 frågor om Parisavtalet*. Tillgänglig: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faqparisavtalet> [2020-12-02].
- Naturvårdsverket (2020a). *Vad är klimatanpassning?* Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Parisavtalet/Vad-ar-klimatanpassning/> [2020-11-08].
- Naturvårdsverket (2020b). *Vad är Parisavtalet?* Tillgänglig: <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-internationellt/Internationellt-miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/Parisavtalet/Vad-ar-Parisavtalet/> [2020-11-08].
- Network for Transport Measures (u.å.). *Network for Transport Measures*. Network for Transport Measures. Tillgänglig: <https://www.transportmeasures.org/en/> [2020-12-04].
- Randers Tegl A/S (2018). *3rd Party Verified EPD - RT 150*. Tillgänglig: <https://www.randerstegl.se/se/epd-overview> [2020-09-23].

- Recticel insulation (2020). *Vad är R-värde och hur beräknas det?* | *Recticel Insulation*. Tillgänglig: <https://www.recticelinsulation.com/sv/vad-ar-r-varde-och-hur-beraknas-det> [2020-11-13].
- Regeringskansliet (2016). *Agenda 2030 för hållbar utveckling*. Publisher: Regeringen och Regeringskansliet. Tillgänglig: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/globala-malen-och-agenda-2030/agenda-2030-for-hallbar-utveckling/> [2020-12-03].
- RM Snickerier AB (u.å.). *Vikttabell fönster dörrar*. Tillgänglig: <https://www.rm.se/sv/kundservice/leverans/forsaljningsvillkor/vikttabell/> [2020-10-19].
- ROCKWOOL Internationals A/S (2019). *Environmental Product Declaration - ROCKWOOL stone wool thermal insulation*. Tillgänglig: <https://cdn01.rockwool.se/siteassets/o2-rockwool/dokumentation-och-certifikat/dokumentation/epd-miljodeklaration/epd--miljodeklaration.pdf?f=20200220064027> [2020-10-20].
- Schueco (2020). *Fasader*. Tillgänglig: <https://www.schueco.com/se/arkitekter/produkter/fasader> [2020-10-19].
- Schüco International KG (2017). *Umwelt-produktdeklaration: Schüco FWS 50 B x H: 3050 x 3050 mm*. Tillgänglig: <https://epd-online.com/PublishedEpd/Detail/10055> [2020-10-05].
- SGI (u.å.). *Jords hållfasthet - SGI*. Statens geotekniska institut. Tillgänglig: <https://www.swedgeo.se/sv/kunskapscentrum/om-geoteknik-och-miljogeoteknik/geoteknik-och-markmiljo/jordmateriallara/skjuvhallfasthet/> [2020-10-21].
- SIS (2006a). *SE-EN ISO 14044:2006 Miljöledning - Livscykelanalys - Krav och vägledning*. ISO 14044:2006. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS (2006b). *SS-EN ISO 14040:2006 Miljöledning - Livscykelanalys - Principer och struktur*. ISO 14040:2006. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- SIS (2011). *SS-EN 15978:2011 Hållbarhet hos byggnadsverk - Värdering av byggnaders miljöprestanda - Beräkningsmetod*. SS-EN 15978:2011. Stockholm: Svenska institutet för standarder.
- Skanska inköp Sverige AB (2020). *Environmental Product Declaration - Rebars: Baltic region*. Tillgänglig: <https://www.epd-norge.no/stal-aluminiumskonstruksjoner/rebars-baltic-region-article2487-323.html> [2020-10-05].
- SMHI (u.å.). *Sveriges klimat*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/sveriges-klimat/sveriges-klimat-1.6867> [2020-12-07].
- SPBI (2019). *Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp*. Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet. Tillgänglig: <https://spbi.se/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/> [2020-10-21].
- Statens Energimyndighet (2009). *Energianvändning i idrottsanläggningar - Förbättrad statistik för lokaler, STIL2*. (ER 2009:10). Eskilstuna: Statens energimyndighet. Tillgänglig: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?resourceId=104142>.
- Stockholm Direkt (2020). *För dyr nota stoppar planerna på multihall*. Sundryberg Direkt. Library Catalog: www.stockholmdirekt.se Section: nyheter. Tillgänglig: <https://www.stockholmdirekt.se/nyheter/for-dyr-nota-stoppar-planerna-pa-multihall/reptej!Chc2P30L@MspuHN2RUVswQ/> [2020-06-23].
- Stripple, H. (2001). *Life Cycle Assessment of Road - A Pilot Study for Inventory Analysis*. Göteborg: IVL. Tillgänglig: <https://www.ivl.se/download/18.343dc99d14e8bb0f58b734e/1445515385608/B1210E.pdf> [2020-09-23].
- Strängbetong AB (2019a). *Environmental Product Declaration - Betongbalk RB, FB, FB/H*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311990-1578394067/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1988-879_Betongbalkar-RB-FB-FB-H.pdf [2020-09-23].

- Strängbetong AB (2019b). *Environmental Product Declaration - Betongpelare RP*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311794-1575901328/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1959-866_Betongpelare--RP-.pdf [2020-09-21].
- Strängbetong AB (2019c). *Environmental Product Declaration - Betongtrappa i Terazzo*. Tillgänglig: https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2019/12/16154104/NEPD-1975-872_Betongtrappa-i-Terazzo.pdf [2020-09-24].
- Strängbetong AB (2019d). *Environmental Product Declaration - Betongväggar (V)*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311800-1575901472/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1960-867_Betongvagnar-V.pdf [2020-09-23].
- Strängbetong AB (2019e). *Environmental Product Declaration - Håldäcksbjälklag (HD/F)*. Tillgänglig: https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2019/05/20152337/EPD_HÄäldÄd' ck_21022019.pdf [2020-09-21].
- Strängbetong AB (2019f). *Environmental Product Declaration - Isolerade Betongväggar (VI)*. Tillgänglig: https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2020/01/08070229/NEPD-1998-882_Isolerade-Betongvagnar-VI-.pdf [2020-09-23].
- Strängbetong AB (2019g). *Environmental Product Declaration - Massivt förspänt bjälklag (RDF)*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1311984-1578393724/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1986-877_Massivt-forspant-bjalklag--RDF-.pdf [2020-09-22].
- Strängbetong AB (2020a). *Environmental Product Declaration - Spännbalk RBF, FBF, FB/FH, IBF, SIB*. Tillgänglig: https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2020/05/04150703/NEPD-2153-977_Spannbalk-RBF-FBF-FB-FH-IBF-SIB.pdf [2020-09-23].
- Strängbetong AB (2020b). *Environmental Product Declaration - TT-bjälklag och STT-takelement*. Tillgänglig: https://cdn.strangbetong.se/wp-content/uploads/2020/01/10123706/NEPD-2005-886_TT-bjalklag-och-STT-takelement.pdf [2020-09-23].
- Sundbyberg Stad (2018a). *Förstudie Sundbybergs idrottsplats - Multifunktionsanläggning*. Stadsledningskontoret, Kultur- och fritidsförvaltningen samt Stadsmiljö- och serviceförvaltningen. Tillgänglig: <https://www.sundbyberg.se/download/18.6e49a56c1668b58b1672135e/1540216288416/Forstudie-Multifunktionsanlaggning-2018.pdf> [2020-06-30].
- Sundbyberg Stad (2018b). *Unik idrottsanläggning byggs i Sundbyberg*. Tillgänglig: https://www.sundbyberg.se/download/18.240ae633163db97cb85c6d33/1529994969183/NYTT_Juni_2018_268x392.pdf [2020-06-23].
- Svensk Betong (u.å.). *Val av betongkvalitet och exponeringsklass - Svensk Betong*. Tillgänglig: <https://www.svenskbetong.se/bygga-med-betong/bygga-med-platsgjutet/statik/parkeringshus/bjalklag/val-av-betongkvalitet-och-exponeringsklass> [2020-09-29].
- Svensk Betong (2017). *Environmental Product Declaration - Betong för bjälklag inomhus, klimatförbättrad*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/137265-1490684061/EPDer/Byggevarer/Betongvarer/NEPD-1297-419_Betong-f--r-bj--lklag-innomhus--klimatf--rb--ttrad.pdf [2020-10-05].
- Swerock AB (2020). *Environmental Product Declaration - Sweexp55 C30/37*. Tillgänglig: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1313394-1588669197/EPDer/Byggevarer/Ferdig%20betong/NEPD-2041-914_Betong%281%29.pdf [2020-09-29].
- White Arkitekter (u.å.). *Framtidens idrottshall - konceptprogram | White Arkitekter*. White Arkitekter Sverige. Section: Kultur & fritid. Tillgänglig: <https://whitearkitekter.com/se/forskning-utveckling/framtidens-idrottshall/> [2020-11-08].
- Österåker kommun (2017). *Detaljplan för Österåkers Multihall - Österåkers kommun, Stockholms Län*. Samhällsbyggnadsförvaltningen. Österåker. Tillgänglig:

<https://docplayer.se/109955292-Detaljplan-for-osterakers-multihall-osterakers-kommun-stockholms-lan.html> [2020-06-23].

OPUBLICERAT MATERIAL

Adalberth, K. & Rydenlund, M. (2017). *Bygghandling; Borgar Young - Sporthall, Malmö - Energi*. Prime Project AB.

Arkitektgruppen i Malmö AB (2017). *Arkitekturritningar*. I samverkan med Malmö stad Stadsfastigheter.

Arkitektgruppen, Studio Sueca & Malmö Stad (u.å.). *Hästhagens sporthall - Kv Excellensen 4*.

Bengtsson, J. (2016). *Tekniskt PM*. Peab Anläggning AB - Geoteknik.

Regnell, F., Magnusson, S., Frosth, S. & Faskunger, J. (2020). *Hållbart idrottande och rörelse: Kostnader och klimatpåverkan från idrottsanläggningar (utkast)*. Ecoloop AB.

Sydark konstruera (2019). *Konstruktionsritningar*. Sydark konstruera, numera Här!

PERSONLIG KOMMUNIKATION

Basim, R. (2020). *Energiförbrukning Hästhagens sporthall*. Teknisk fastighetsförvaltare, Malmö Stad. [Mejl].

Eriksson, S. (2020). *Fartygsbränsle*. [Telefonsamtal].

Horke, T. (2020). *Hästhagens sporthall*. Projektansvarig på Malmö Stad. [Telefonsamtal].

Skjöld, T. (2020). *Hästhagens sporthall - konstruktionsinfo*. Peab. [Mejl].

Svensson, O. & Vinell, H. (2020). *Exjobb Miljöpåverkan sporthallar - Hästhagens*. Strängbetong. [Mejl].

Wendt, A. M. (2020). *Exjobb - miljöpåverkan från multihallar*. Arkitektgruppen i Malmö. [Mejl].