



**TRÄDGÅRDSSTÄDER
OCH HÅLLBARHET**

Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys

2020 | 12

TRÄDGÅRDSSTÄDER OCH HÅLLBARHET

Bostadssektorns LCA, känslighetsanalys

Författare: Efstathia, Vlassopoulou, Anthesis

Granskad av: Agneta Persson, Anthesis

2020-10-07

Rapport 2020:12

www.anthesis.se

Sammanfattning.....	4
1. Inledning	5
1.1 Bakgrund	5
1.2 Syfte	6
1.3 Genomförande.....	6
2. Åtgärder.....	9
2.1 Förändringar i några <i>materialval</i> för Linnea småhus. Justering av LCA.....	9
2.2 Förändringar i den hustypen - LCA	9
2.3 Förändringar i den fastställda planeringen för trädgårdsstaden	9
2.4 Utvärdering av den nya trädgårdsstadens hållbarhetsprestanda utifrån CityLab-indikatorer..	11
3. Resultat och analys	13
3.1 Känslighetsanalys för Linneas livscykelns utsläpp	13
3.2 Livscykelanalys för de olika bostadstyperna i trädgårdsstaden	14
3.3 Stadsdel - gemensamt utsläpp	15
3.4 Jämförelse mellan den nya trädgårdsstaden och den ”gamla kompakta staden” från examensarbetet och den nya tät kompakt stad som uppnår GYF krav med hjälp av gröna tak	17
4. Diskussion	21
5. Slutsatser.....	22
6. Appendix	25
Referenser	30

SAMMANFATTNING

Denna studie utgör en fortsättning på examensarbetet ”Stadsutformning och hållbarhet: En jämförelse mellan lågt byggda ”trädgårdsstäder” och högt byggda ”kompakta städer” i förortsområden genomfört under våren 2019 (Vlassopoulou, 2019). I examensarbetet planerades två stadsutformningar med placering i samma förortsområde (64,6ha i Sundbyberg kommun) och med samma GYF (större än 0,5 enligt lokalt krav). De båda utformades med flera identiska bostadshus, representativa för respektive stadsform - småhus i trä (Linnea från Älvsbyhus) och flerbostadshus i betong (Blå Jungfrun kvarter) för den trädgårdsliknande respektive kompakta stadsdelen - och med tillräckliga (för respektive antal invånare) tjänster och anläggningar, enligt Sweden Green Building Councils hållbarhetscertifieringssystem CityLabs minimikrav.

Syftet med denna fortsatta studie har varit att utvärdera alternativa material, hustyper och fastställda planeringar i de två stadsutformningar som studerades i examensarbetet. Detta gjordes för att se hur dessa förändringar kan påverka hållbarhetsprestandan - särskilt miljömässiga hållbarhet. Fokus har varit på bostadssektorns koldioxidavtryck under livstiden samt på den relativa jämförelsen av livscykelutsläpp från bostäder i tre fastställda planeringar - den ”gamla kompakta staden”, en ny trädgårdsstad och en nya tät kompakt stad. CityLabs indikatorer utgör i studien en ram för aspekter som utvärderas, och ger också de minimikrav som krävs för att ett distrikt ska klassas som hållbart.

De förändringsåtgärder som har gjorts i denna studie har inkluderat materialförändringar för Linnea småhus, användning av en blandning av låga bostadshustyp i den nya trädgårdsstaden (friliggande småhus i 1½- och 1¾- plan, 2-plansradhus, 4-vånings flerbostadshus, alla hustyper i trä) samt förtätning av den gamla kompakta staden för att skapa en tätbebyggd - riktig kompakt stadsdel där kraven för GYF>0.5 bibehålls med hjälp av gröna tak. Alla stadsutformningar utformades med tillräckliga (för respektive antal invånare) tjänster och anläggningar, enligt CityLabs minimikrav för hållbarhet.

Resultatet visar att materialvalet spelar en stor roll för den miljömässiga hållbarhetsprestandan av bostäderna, samt att det finns en samband mellan utsläpp från tillverkningsskede och driftsskede beroende på materialvalet och hustyp. Vidare visade resultatet att den emissionsfaktor som används för el (residualmix) som används vid tillverkningen av byggnadsmaterial och -komponenter kan göra en stor skillnad för storleken på koldioxidutsläppen från tillverkningsskedet.

Slutligen är studiens slutsats att den nya trädgårdsstaden presterar bättre än de två andra analyserade stadsutformningarna både per person och per stadsdel när det gäller miljömässiga hållbarhet och tillhandahållande av grönområden i närheten även om den nya tätare kompakta staden rymmer ungefär två gånger fler invånare än den nya trädgårdsstaden.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

Urbanisering och klimatförändringar är två av samtidens viktigaste frågor. Många har försökt definiera vilket som är det mest hållbara sättet att organisera städer och samhällen för att möjliggöra för den ökade befolkningen att leva i städer som är klimatvänliga, socialt attraktiva och ekonomiskt hållbara. Under de senaste åren har den ”kompakta stadsmodellen”¹ uppfattats som idealisk i syfte att stärka stadsutformningens miljömässiga hållbarhet sedan många studier har visat att flerfamiljshus i betong uppväger småhus i trä, när det gäller den driftenergi som används under byggnadens livstid. Inom den akademiska världen har det dock förekommit diskussioner huruvida förtätning innebär hållbart byggande. I nuläget har utsläpp relaterade till ”inbyggd energi” (”embodied energy”)², fått uppmärksamhet sedan den relativa betydelsen av alla livscykelsteg har blivit högre (Gustavsson & Joelsson, 2010) och det är inom detta fält som småhus vinner mark avseende miljömässig hållbarhet. Enligt rapporten *Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings* (Simonen, Rodriguez, & Catherine De Wolf, 2017) står enfamiljshus för ungefär 50 % mindre ”inbyggd energi-relaterade” växthusgasutsläpp; och många studier har visat att byggnader i trä minskar byggbranschens klimatpåverkan. Frågan om hur hållbara städer ska utformas kan dock inte besvaras genom att endast titta på klimatpåverkan av enskilda byggnader. Därför behövs forskning om hållbarhetsprestanda för en hel stadsdel som är byggd antingen som en ”kompakt stad” eller som en ”trädgårdsstad”.

Denna studie är en fortsättning på examensarbetet ”Stadsutformning och hållbarhet: En jämförelse mellan lågt byggda ’trädgårdsstäder’ och högt byggda ’kompakta städer’ i förortsområden”, genomfört under våren 2019 (Vlassopoulou, 2019). I examensarbetet byggdes en standarduppsättning av de båda alternativen upp imaginärt med placering i samma förortsområde (64,6 ha i Sundbybergs kommun). De två typexemplen utformades med identiska bostadshus och i enlighet med nu använda hållbarhetskriterier; båda alternativen designades för att inkludera tillräckliga - för deras respektive antal invånare - tjänster och anläggningar enligt CityLabs minimikrav för hållbarhet, och en grönytefaktor³ (GYF) på minst 0,5 enligt lokala krav från Sundbyberg kommun (Sundbybergs stads översiktsplan, 2013). Bostäderna utgjordes av representativa byggnader av den vanligaste typen av bostadshus (enfamiljshus Linnea i trä för den trädgårdslänkande stadsdelen och flerfamiljshus i betong för den kompakta staden). Resultaten från LCA-studien för Linnea-huset (det 1-plans småhus som användes) visade på driftfasen som främsta ”hot spot” för små husets klimatpåverkan; därefter följde utsläpp från produktion av den betong som används för grundläggningen och takbeläggningen (A1-3), där dessa delar också utgör de största bidragande delarna till själva konstruktionens globala uppvärmningspotential (Global Warming Potential, GWP). Hållbarhetsprestandan för de två stadsdelarna utvärderades med verktyget CityLab (utvecklat av SGBC⁴). Resultatet visade att kriterier relaterade till befolkning- och bostadstäthet (mötesplatser, serviceutbud) förbättrar prestanda för kompakta städer medan kriterier relaterade till klimatpåverkan från byggande och tillhandahållande av grönområden i närheten förbättrar prestanda för trädgårdsstäder. Den ”kompakta staden” rymmer visserligen mer än dubbla invånarantalet jämfört med ”trädgårdsstaden”, men den har också ett mer

¹ Enligt den ”kompakta stadsmodellen” ska staden förtätas genom att tillföras flervåningshus och förstärka befintlig infrastruktur, med det huvudsakliga syftet att ”lösa sina egna problem inom sina egna gränser och undvika användning av mer mark” (Vale, 2009)

² Uttrycket ”inbyggd energi” (”embodied energy”) kan förklaras som den energi som används under utvinning, bearbetning av råvara, tillverkningsmaterial och komponenter samt den energi som används i de olika processerna under konstruktion och rivning. (Morini, Ribeiro, & Hotza, 2019)

³ GYF = Grönytefaktor, förhållandet mellan area med växtlighet och det totala landområdet.

⁴ SGBC = Sweden Green Building Council. CityLab för stadsdelar: ett relativt nytt svenskt hållbarhetscertifieringsverktyg för stadsdelar (Remissversion, april 2019).

än tre gånger högre koldioxidutsläpp än ”trädgårdsstaden”. Koldioxidavtrycket per invånare är också större i den ”kompakta staden”, ungefär 30 %. (Vlassopoulos, 2019)

1.2 Syfte

Syftet med denna studie har varit att ändra några av de antaganden som användes i den första rapporten (examensarbetet), och att genomföra en känslighetsanalys för att se hur dessa kan påverka prestandan; samt att identifiera om det finns bättre alternativ när det gäller miljömässig hållbarhet. Några alternativ till vissa material som används i Linnea småhus har analyserats och det trädgårdsstadsområde som nu har analyserats inkluderar flera varianter av låga bostadshustyp, fristående enfamiljshus i 1½ och 1¾ våningar, 2-plansradhus samt flerbostadshus i trä i fyra våningar, med tillhörande trädgårdar. Därmed bildades en riktig trädgårdsstad som har jämförts med en ”kompakt stad” med byggnader av betong med tänkt lokalisering i förortsområde.

1.3 Genomförande

Baserat på examensarbetets resultat beslutades att några av examensarbetets rekommendationer angående förbättring av stadsdelars hållbarhetsprestanda samt vissa andra materialförändringar skulle studeras för att se hur klimatavtrycket under hela livstiden påverkas.

Uppdraget har genomförts i följande 4 steg:

1.3.1 Steg 1 - Val av förändringsåtgärder för småhuset Linnea

- Grundläggningen ändrades från kryppgrund till betongplatta av typisk eller klimatförbättrad betong
- Betongtakpannor ersättes med tegeltakpannor
- Solceller installerades ovan tegeltakpannor

1.3.2 Steg 2 - Samling av jämförbara LCA-data från tillverkarna av alla de hustyper som används i den nya trädgårdsstaden - CO₂-utsläppsberäkningar

Alla antaganden som har använts i respektive bostäders LCA beskrivs på ett samlat i Appendix III.

- Antaganden för småhus och radhus

De LCA-antaganden som gjordes i examensarbetet har bibehållits; dvs Green House Gas (GHG)⁵:

- utsläpp från diesel: 87 g CO_{2e}/MJ
- el utsläppfaktor: 102g CO_{2e}/kWh
- utsläppfaktor för fjärrvärme: 62g CO_{2e}/kWh
- utsläpp från tillfälliga installationer och energianvändning är försumbara för prefabricerade småhus och har därför uteslutits (dvs A5.3,4 medräknas inte för småhus)
- de viktigaste och mest CO₂-intensiva underhållsåtgärder som krävs i 50 år livstid antas vara: fasadmålning, fönster och dörrar målning vart 10:e år, fönster och fönsterdörrar utbyte vart 30:e år och elutrustning (även om det senare inte beräknas).
- Utsläpp från elutrustning antas vara 13,9kg CO_{2e}/m²A_{temp} för produktionskedet för alla småhus. Det medräknas inte i de LCA-värden som presenteras i sektion 4.2 och 4.3, men tas med i 4.4 för jämförelses skull (med den kompakta staden).

⁵ Green House Gas (GHG): växthusgas. Relation mellan växthusgasutsläpp och koldioxidekvivalenter: <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-fran-markanvandning/>

- Slutskedet tar inte hänsyn till användande av elutrustning.
- Stegets A5.1 (Spill, emballage och avfallshantering) utsläpp antas vara $3 \text{ kg CO}_{2e}/\text{m}^2 A_{temp}$, (samma som småhuset Linnea i examensarbetet) medan steget A5.2 (Byggarbetsplatsens fordon maskiner och apparater) utsläpp antas vara $6,77 \text{ kg CO}_{2e}/\text{m}^2 A_{temp}$ (samma som Linnea i examensarbetet)
- Beräkningsmetod för småhus och radhus:

Programvaran BECE (Basic Energy and CO₂ Emissions for Buildings) (Wallhagen, Glaumann, & Malmqvist, 2011) användes för beräkningar av skeden A1-3. För resterande skeden genomfördes beräkningar för hand och de baserades på data från byggföretagen, information från litteraturen, eller uppskattningar baserade på data från andra konstruktioner.

Antaganden och beräkningar för flerbostadshuset:

LCA-data för flerbostadshuset "Hus X", ett 4-våningar flerbostadshus i trä med 20 lägenheter, har beräknats av bostadsföretagets hållbarhetsexpert och har använts här efter justering till uppdragets krav för likvärdiga byggsystem. Justeringarna omfattar uteslutning av utsläpp från markarbete och material samt justering av den geografiska justeringsfaktorn för att motsvara Stockholms energianvändning (istället för Malmös). Det bör nämnas att Hus X moduler producerades i Estland. Detaljerad information om de antaganden som har använts redovisas i Appendix II. Alla material ingår i LCA-värdena, inklusive grundläggningsmaterial, men inte elinstallationer. För att resultatet för driftsfasen ska vara jämförbart med resultatet för de andra bostadstyperna användes samma emissionsfaktorer för driftsfasen även för Hus X. (Fjärrvärme: $0,062 \text{ kg CO}_{2e}/\text{kWh}$; El: $0,102 \text{ kg CO}_{2e}/\text{kWh}$). När det gäller underhåll, utbyte och slutskedet har inga beräkningar gjorts, men en faktor på 5 % har lagts till för osäkerheter, underhåll och utbyte.

- Byggnadsdelar som ingår i beräkningarna är:
 - Stomme & stomkomplettering
 - Ytter- och innerväggar; pelare, bjälklag/balkar, undergolv
 - Grundläggning
 - Tak
 - Takstomme, taktäckning; takfot och gavlar, yttertak övrigt, innertak
 - Fönster, dörrar
- LCA - steg som beräknas är:
 - Produktskede (A1-3); Byggproduktionsskede (A4-5)
 - Användningsskede (B2, B4, B6)
 - Slutskede (C1-4)
- Funktionella enheten är: $\text{CO}_2\text{-ekvivalenter}/\text{m}^2 A_{temp}$ för 50 år

1.3.3 Steg 3 - Placering av alla låga bostadshus i Sundbyberg

De olika låga bostadstyperna har antagits vara placerade i samma stadsdel som användes i examensarbetet (64,6 ha i Sundbyberg kommun). Antalet bostäder har bestämts utifrån en iterativ process genom anpassning av den återstående marken - exklusive marken som används för nödvändiga tjänster, transportinfrastruktur samt gröna (GYF=0,5 bibehålls) och offentliga utrymmen - till ett, utifrån givna kriterier, maximalt antal enhetliga bostäder. Bostädernas fördelning har bestämts vara:

- Antal villor (1 ½ plan, 1 ¾ plan): 40 % av det totala antalet byggnader
- Antal radhus: 30 % av det totala antalet byggnader
- Antal 4-våning flerbostadshus: 30 % av det totala antalet byggnader

1.3.4 Steg 4 - Analys

Verktøget CityLab har använts för den här uppgiften eftersom det möjliggör en helhetsbedömning av områdenas hållbarhetsprestanda och eftersom det baseras på ett begränsat antal indikatorer (för miljömässig såväl som social hållbarhet), vilket underlättar användningen. Dessa indikatorer utgör i studien en ram för aspekter som utvärderas, och ger också de minimikrav som krävs för att ett område eller stadsdel ska klassas som hållbart. Utvärderingen av de två stadsutformningarna utifrån respektive CityLab-indikator genomfördes antingen kvantitativt (där det ansågs genomförbart inom tiden för projektet) eller kvalitativt. Analysen av respektive indikator har baserats på en systematisk sammanställning av litteratur, statistik, kommunala data och/eller beräkningsverktyg. Alla indikatorer har utvärderats så detaljerat som möjligt, men fokus i uppdraget ligger på bostadssektorns koldioxidavtryck. (Vlassopoulou, 2019)

2. ÅTGÄRDER

2.1 Förändringar i några *materialval* för småhuset Linnea. Justering av LCA

- Tak: (istället för takplåt med betongpannor som användes i examensarbetet)
 - Tegeltak
 - Solceller ovan tegeltakpannor
- Grundläggning: (istället för kryppgrund som användes i examensarbetet)
 - Platta på mark av typisk betong
 - Platta på mark av klimatförbättrad betong

2.2 Förändringar i hustypen småhus - LCA

2.2.1 Nya typer av småhus

Alla småhus har betongplatta för grundläggning och betongtakpannor på yttertaket.

- **HOME #601:** ett friliggande 1½ plans hus (villa) i trä tillverkat av Trivselhus. $A_{temp} = 157 \text{ m}^2$ och energiberäkningar genomförs för 3,5 invånare.
- **TRANAN:** ett friliggande 1¾ plans hus i trä, tillverkat av Fiskarhedenvillan. $A_{temp} = 176 \text{ m}^2$ och energiberäkningar genomförs för 3,5 invånare.
- **Lägenhet 02-1003:** ett radhus i två plan inom ett av Körsbärsdalens radhus, tillverkad av OBOS. Radhuslängan består av 4 likadana radhus på 120 m². Radhusets $A_{temp} = 122 \text{ m}^2$ och energiberäkningar genomförs för 3,5 invånare.

2.2.2 4-våning flerbostadshus i trä (volymelement)

- **Hus X:** ett 4-vånings flerbostadshus i trä. $A_{temp} = 1\,655,6 \text{ m}^2$ som består av 20 lägenheter.

2.3 Förändringar i den fastställda planeringen för trädgårdsstaden

Trädgårdsstaden designades för att inkludera tillräckliga - för den respektive antal invånare- tjänster och anläggningar, enligt CityLabs minimikrav för hållbarhet, och en tillräcklig grönytefaktor (GYF) på minst 0,5 enligt lokala krav från Sundbyberg kommun (Sundbybergs stads översiktsplan, 2013). Varje småhus som valdes rymmer 4 personer och flerbostadshuset rymmer 64 personer. Det bör nämnas att HOME#601 och TRANAN har ett extra sovrum, men betraktas som gästrum. Det antas att det finns plats till 0,25 bil/person dvs plats till 1 bil per småhus och 16 bilar per flerbostadshus.

- Tomten för **HOME#601** antas omfatta 700 m² (varav 14 % upptas av huset och resten utgörs av privat trädgård bortsett, från 7 % som används för carport och övrigt bruk), det betraktas som ett friliggande småhus.
- Tomten för **TRANAN** antas omfatta 500 m² (varav 22 % upptas av huset och resten utgörs av privat trädgård bortsett, från 12 % som används för carport och övrigt bruk), det betraktas som ett friliggande småhus i grupp.
- Tomten för **OBOS** bestående av fyra radhus på 120 m² vardera antas omfatta 1 000 m² (varav 32 % upptas av radhuset och resten utgörs av privat trädgård bortsett, från 9,2 % som används för övrigt bruk). Angående bilparkeringsplatser, var det bestämt att de förläggs på en plats nära bostadsområdet, något som också var valt i det ursprungliga projektet i Brf Körsbärsdalen⁶. (här finns även plats för besöks- och handikapparkeringar). Baserat på arean för en typisk

⁶ Brf Körsbärsdalen, etapp 1. <https://www.obos.se/sok-bostad/brf-korsbarsdalen/>

parkeringsruta (12,5 m²/plats)⁷ samt den ytterligare area som behövs för bilarna att komma in och ut ur parkeringsområdet, beräknades den totala area som används för bilparkeringen av radhuset invånare.

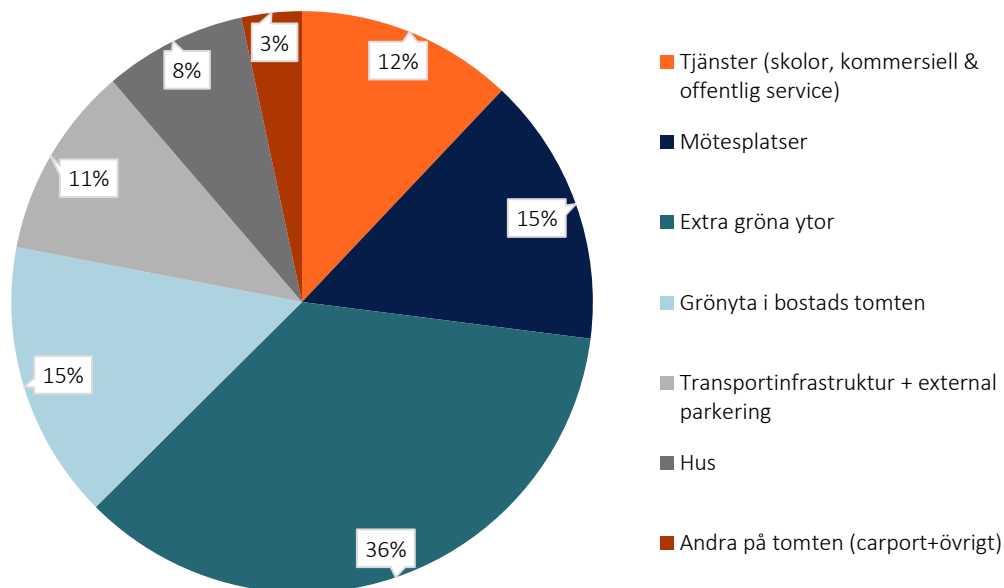
- Tomten för **Hus X** antas omfatta 1 700 m² (varav 35 % upptas av huset och resten utgörs av trädgårdar bortsett, från 15 % som används för övrigt bruk). Om parkeringsplatser skulle ingå skulle de ligga under markplan. Dock har markarbete och material till ett sådant parkeringsutrymme inte medräknats i fas 1 (hus LCA) - det står bara som antagande för uppdragets fas 2 som är kvartersinriktad.

I Tabell 1 presenteras de huvudsakliga egenskaperna för den nya trädgårdsstaden, och i Figur 1 redovisas markanvändningen för området.

Tabell 1 - Byggnader som ingår i trädgårdsstaden och huvudsakliga egenskaperna

Bostads namn	Tillverkare	Atemp (m ²)	Boarea(m ²) /invånare	Antal byggnader	Antal invånare	Typ av byggnader
HOME#601	Trivselhus	157	37,25	42	168	Friliggande småhus
TRANAN	Fiskarhedenvillan	176	43,25	42	168	Friliggande småhus i grupp
OBOS radhus	OBOS	488	30	16	252	4 radhus
Hus X	Konfidentiellt	1 656	23	63	4 032	20 lägenheter i flerbostadshus

Andel av bebyggd mark - trädgårdsstad



Figur 1 - Trädgårdsstadens markanvändning

⁷ (Ljones, 2015)

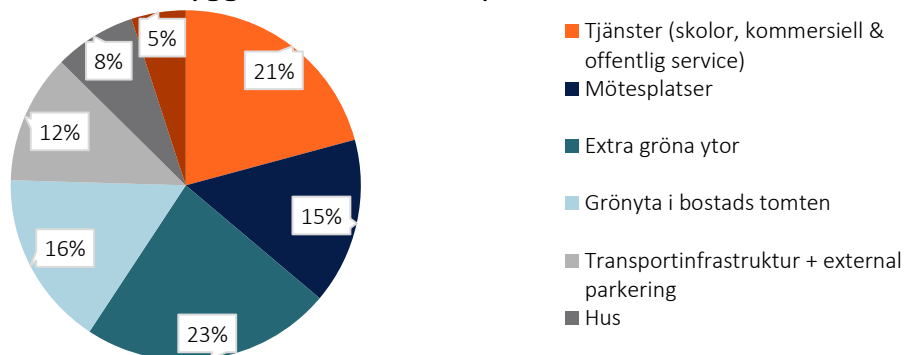
2.4 Utvärdering av den nya trädgårdsstadens hållbarhetsprestanda utifrån CityLab-indikatorer

Hållbarhetsprestandan för den nya trädgårdsstaden utvärderas i det här uppdraget i jämförelse med hållbarhetsprestandan för den redan i examensarbetet utvärderade kompakta staden och med en tätare form av den sistnämnda.

Den ”kompakta staden” som studerades i examensarbetet - här kallas för ”gammal kompakt stadsdel”- var inte tillräckligt tätbebyggd för att anses vara en riktig kompakt stad eftersom kraven för $GYF > 0.5$ begränsade ytan som skulle kunna användas för bostäder. I det här uppdraget används samma form av kompakt stad, dvs en stadsdel bestående av ett antal enheter av Blå Jungfruns kvarter. Skillnaden är att nu uppnås GYF-kravet med hjälp av gröna tak, vilket ger utrymme för fler bostäder. Det har antagits att gröna tak täcker ungefär 70 % av bostädernas takarea. Det bör nämnas att här analyseras gröna tak endast som gröna ytor. Fördelar som dagvattenrening, ökad isolering (minskad energianvändning) och nackdelarna som exempelvis högre belastning i byggandet (kanske behov av strukturell förstärkning - användning av fler material) och materialanvändning för gröna takkonstruktioner (ökat utsläpp vid tillverkningsfas) har inte analyserats.

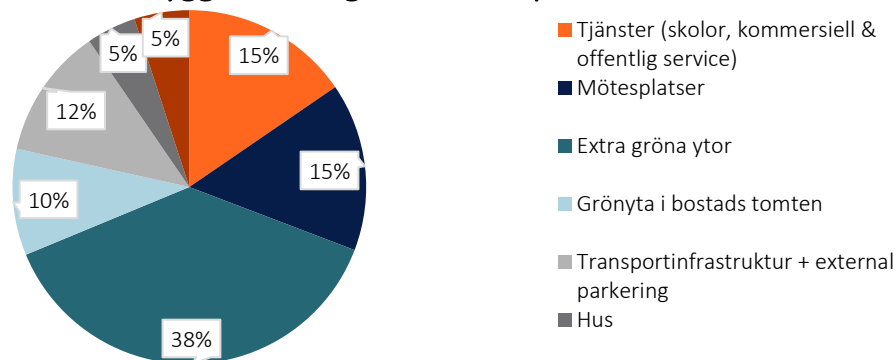
Baserat på justering av de andelar av bebyggd mark per kategori service i stadsdelen, enligt minimikraven från CityLab indikatorer, skapades den markanvändningsredovisning för den nya tätare kompakta staden som visas i Figur 2, följt av Figur 3 som visar motsvarande data för den ”gamla kompakta staden” från examensarbetet. I Tabell 2 redovisas alla huvudsakliga egenskaper för de tre typerna av stadsdel som jämförs i detta uppdrag.

Andel bebyggd mark - tät kompakt stadsdel



Figur 2 - Tät kompakt stadsdels markanvändning

Andel bebyggd mark - gammal kompakt stadsdel



Figur 3 - Gammal kompakt stadsdels markanvändning

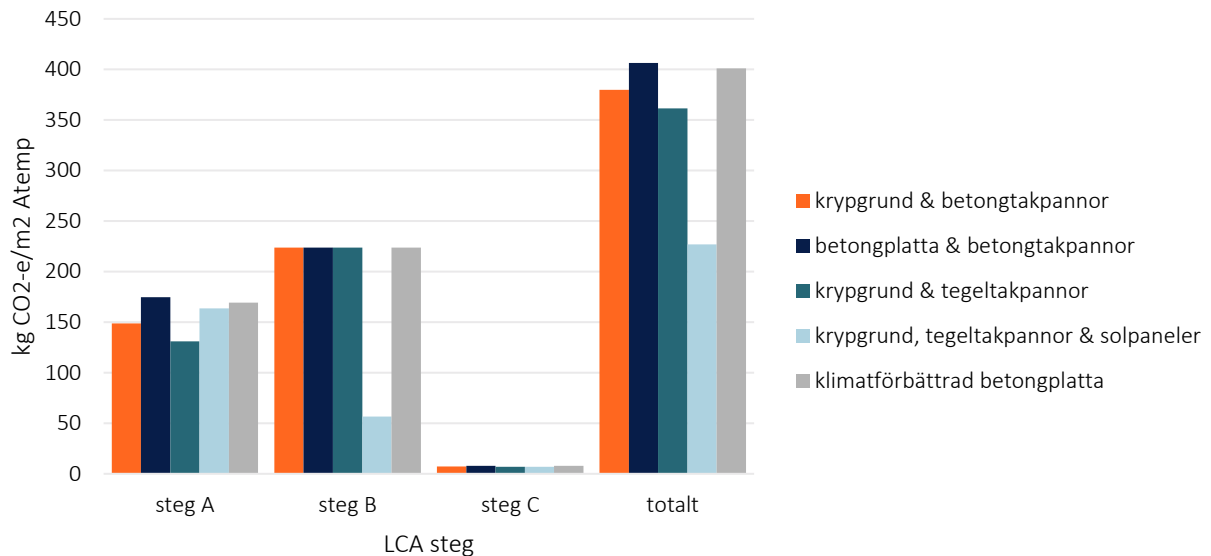
Tabell 2 - huvudsakliga egenskaper inom respektive typ av stadsdel

	Gammal kompakt	Tät kompakt	Trädgårdsstad
Antal byggnader	18	30	210
Antal bostäder	1746	2910	1407
Antal invånare	5 940	9 900	4 620
Densitetsfaktor (personer/ha)	91,95	153	71,52
Grönytefaktor	0,56	0,53	0,54
Offentlig grönyta/person (gröna tak ingår inte)	60,79	31,06	75,51
Typ av byggnader	Flerbostadshus i 5-6 våningar	Flerbostadshus i 5-6 våningar	Två typer av friliggande småhus, radhus och flerbostadshus i 4-våningar

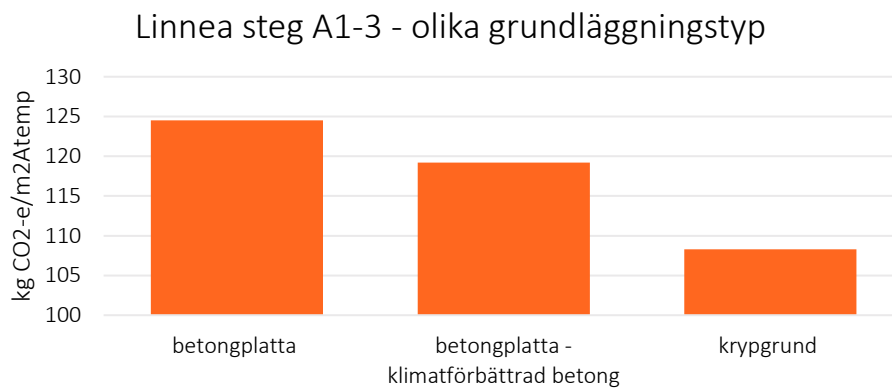
3. RESULTAT OCH ANALYS

3.1 Känslighetsanalys för Linneas livscyklus utsläpp

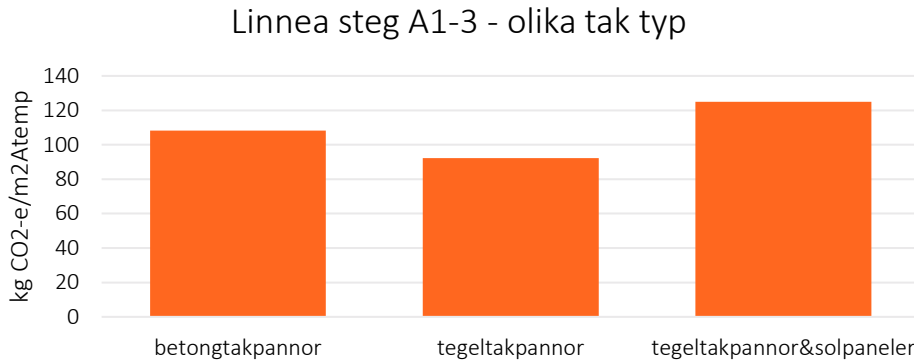
I Figur 4 visas en samlad jämförelse mellan de CO_{2e}-utsläpp som är resultatet av de olika känslighetsåtgärderna som applicerades i småhuset Linnea. I Figur 5, Figur 6 och Figur 7 visas de individuella resultaten för åtgärderna i känslighetsanalysen.



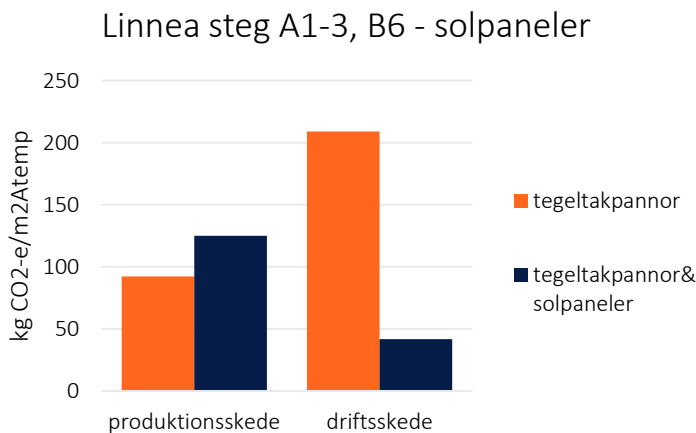
Figur 4 - Linneas klimatavtryck (kg CO_{2e}/m²A_{temp}) med förändrade egenskaper



Figur 5 - Linneas klimatavtryck för Steg A1-3 (kg CO_{2e}/m²A_{temp}) med olika grundläggningstyp



Figur 6 - Linneas klimatavtryck för steg A1-3 (kg CO_{2e}/m²A_{temp}) med olika taktyp



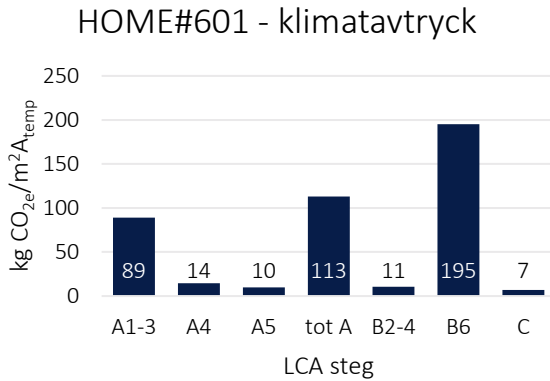
Det antas att solpaneler ska ge ungefär 80% av husets energianvändning (exkl. hushållsel) på årsbasis.

Resten av energi antas ordnas med nordisk el. mix (samma som användes för alla elektricitetsberäkningar). (De antaganden som användes samt detaljerade beräkningar beskrivs i detalj i Appendix I.).

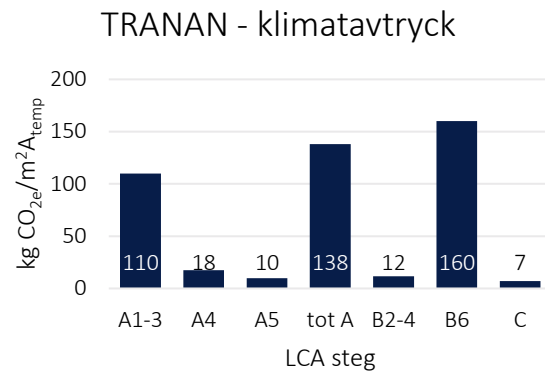
Figur 7 - Linneas klimatavtryck för steg A1-3 och B6 (kg CO_{2e}/m²A_{temp}) med respektive utan solpaneler

3.2 Livscykelanalys för de olika bostadstyperna i trädgårdsstaden

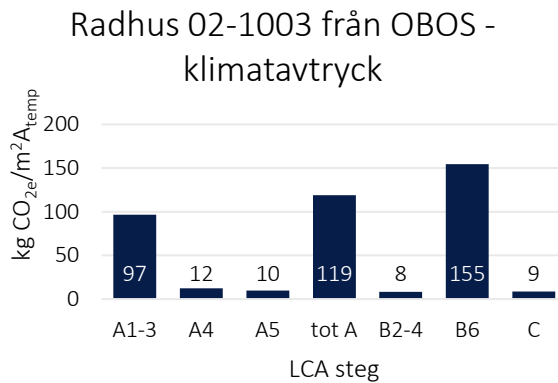
Alla värden som presenteras här saknar utsläpp från elutrustning. Resultatet för HOME#601, TRANAN och OBOS radhus inkluderar alla LCA-steg som beskrivs i sektion 1.3.2. Steg A4 beräknades utifrån de verkliga sträckor som materialet transporteras, både från fabrik till byggplatsen - i Sundbyberg - och från leverantörer till fabrik (eller direkt från leverantörer till byggplatsen för vissa material). Resultatet för Hus X inkluderar inte steg B2-4 och C, men det har antagits kompenseras med att den totala livscykel utsläpp har ökat med 5 %. (En faktor på 5 % har lagts till för osäkerheter, underhåll - utbyte och slutskede. I Appendix II beskrivs hur dessa 5 % fördelas på de olika skedena.) Estlands höga "residual mix" är sannolikt huvudorsaken till de höga utsläppen från steg A1-3. Utsläpp från energianvändningen under markarbeten på byggplats ingår i steg A5, det ger sannolikt steg A5 ett något överskattat värde (markarbete ingår inte i de andra byggsystemen, och här har det utslutits från steg A1-3 men inte från steg A5). Det låga utsläppet från steg A4 beror på att den största delen av transporten sker med färja (från Estland till Sverige) vilket, är klimateffektivare än transport med lastbil (enligt de interna klimatkalkylerna) samt på att transport från leverantör till husfabriken inte inräknas i motsats till de andra hustyperna. När det gäller driftsfasutsläpp är byggnaden kategoriserad som klass C avseende energianvändning till skillnad mot enfamiljshuset som tillhör klass B. I Figur 8, Figur 9 och Figur 10 presenteras LCA-resultaten för alla hustyper som ingår i trädgårdsstaden.



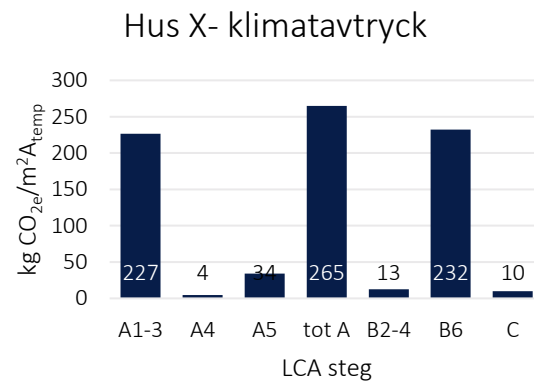
Figur 8 - HOME#601 - LCA



Figur 9 - TRANAN - LCA



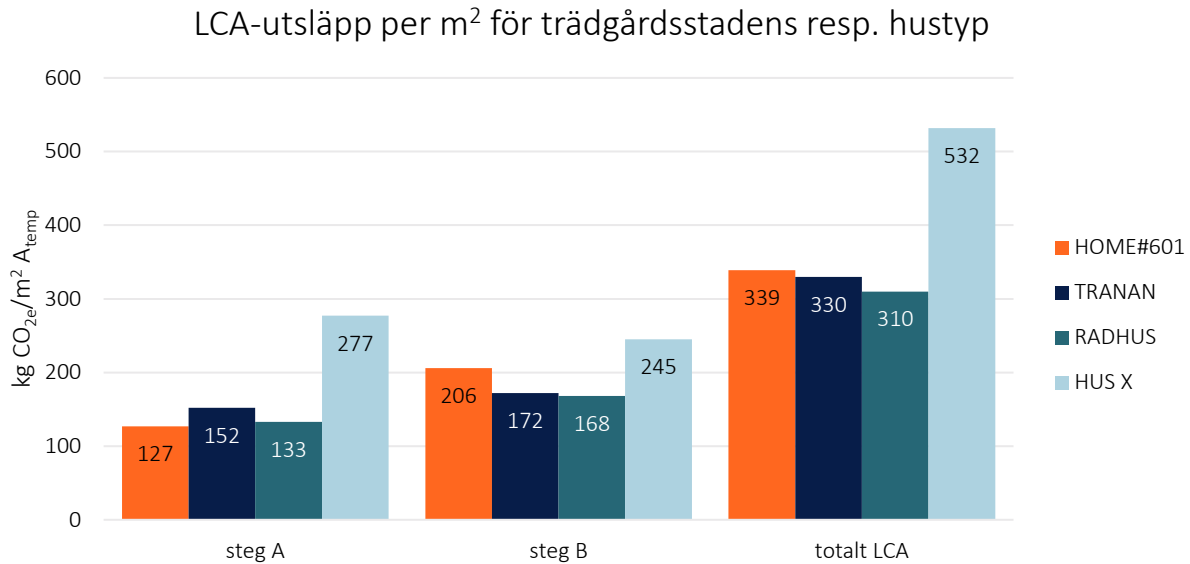
Figur 10 - Lägenhet 02-1003 - LCA



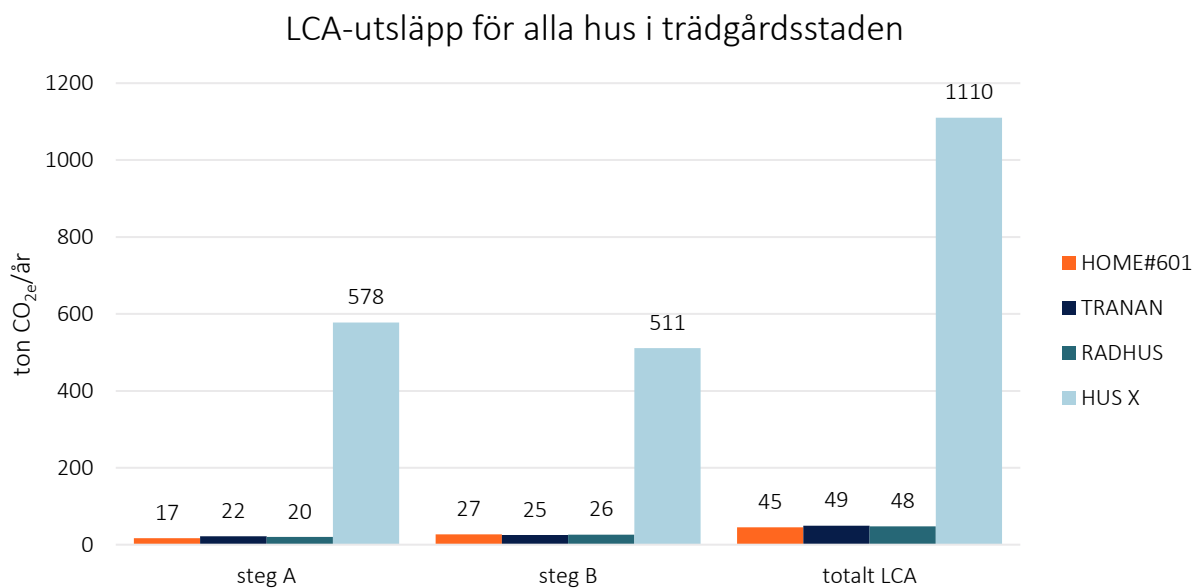
Figur 11 - Hus X, flerbostadshus - LCA

3.3 Stadsdel - gemensamt utsläpp

Nedan visas graferna som jämför varje hustyps utsläpp per m²A_{temp} (Figur 12) och utsläpp per år för respektive antalet av varje hustyp inom stadsdelen (Figur 13).



Figur 12 - Livscykelutsläpp (kg CO_{2e}/m²A_{temp}) för trädgårdsstadens bostadstyper



Figur 13 - Livscykelutsläpp (ton CO_{2e}/år) för alla bostäder av varje typ i trädgårdsstaden

3.3.1 Hur prestandan för de olika CityLab-indikatorerna förändras

En viktig faktor som gör att den nya trädgårdsstaden skiljer sig från de stadsdelar som studerades i examensarbetet är att det nu finns en blandning av bostadstyper, och att den här stadsdelen har betydligt fler mötesplatser än den tidigare studerade "trädgårdsstad-liknade" stadsdelen. Vidare finns det skillnader angående klimatpåverkan från bostadstyperna vilka redovisas i följande sektion och presenteras i Tabell 3. Tabellen visar de olika CityLab-indikatorerna med de minimikrav och prestandan för de två stadsutformningar som studerades i examensarbetet samt för den nya trädgårdsstaden.

Tabell 3 - CityLabs indikatorer & respektive stadsutformnings prestanda.

Indikatorer		Bedömningskriterier	Prestanda		
			Gammal kompakt stad	Gammal trädgårdsstad	Ny trädgårdsstad
Trygghet	1. alla invånare	högst 25 % känner sig otrygga när de går ensamma på kvällen i stadsdelen	36 %	22 %	22 %
	2. bara kvinnor	högst 35 % känner sig otrygga när de går ensamma på kvällen i stadsdelen	44 %	29 %	29 %
Tillit till grannskapet		högst 10 % känner inte tillit till sitt grannskap	måttligt	måttligt	måttligt
Mötesplatser	1. offentlig friyta	minst 15 % av stadsdelens totala yta	15 %	15 %	15 %
	2. offentlig grönyta	minst 5 % av stadsdelens totala yta	38 %	5 %	45 %
Serviceutbud	1. Förskolegårdar & grundskolegårdarna	minst 30 m ² per barn	32,3 m ² /barn	44,7 m ² /barn	37,3 m ² /barn
	2. olika former av service	en basnivå innehålls	28,6 m ² /person	24,3 m ² /person	23,8 m ² /person
Blandning av bostäder			nej	nej	ja
Byggnaders energi-användning		Minst 80 % av byggnaderna är lågenergibyggnader	100 % lågenergibyggnader	100 % lågenergibyggnader	100 % lågenergibyggnader
Klimatpåverkan från:	1. byggskedet av nya bostadsbyggnader	mindre än 14 ton CO _{2e} /boende	11 ton CO_{2e} /boende	5,3 ton CO_{2e} /boende	6,55 ton CO_{2e} /boende
	3. energianvändningen vid drift av bostadsbyggnader	understiger 250 kg CO _{2e} /boende och år	137 kg CO_{2e} /boende/år	144 kg CO_{2e} /boende/år	122 kg CO_{2e} /boende/år
	4. lokalbyggnader	understiger 6 kg CO _{2e} /m ² A _{temp} , år från energianvändningen (exkl. verksamhetsel)	bra	bra	bra
	5. transport infrastruktur	kartlagd klimatpåverkan	kvalitativa bedömning	kvalitativa bedömning	kvalitativa bedömning
Biologisk mångfald		övriga kriterier	kvalitativa bedömning	kvalitativa bedömning	kvalitativa bedömning
Dagvattenrening, översvömningsrisker					
Inomhusmiljö, Hushållsavfall					
Ljudmiljö, Luftkvalitet, Resvanor					

3.4 Jämförelse mellan den nya trädgårdsstaden och den "gamla kompakta staden" från examensarbetet och den nya täta kompakta staden som uppnår GYF krav med hjälp av gröna tak

För jämförelses skull lades utsläpp för installationer och el för alla bostäder i den nya trädgårdsstaden. Installationers och elutrustnings utsläpp från tillverkningen beräknades vara 13,9 kg CO_{2e}/m²A_{temp} för OBOS-radhuset. Då lades samma värde till de befintliga A1-3 värden för alla enfamiljshus - den största mängden utsläpp kommer från frånluftsvärmepumpens tillverkningsutsläpp⁸.

⁸ Frånluftsvärmepumps utsläpp: (NIBE Energy Systems, 2018)

För flerbostadshuset kan det antas att installationers utsläpp är av samma storlek som i Blå Jungfrun, det vill säga $12 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$. Radhuslängan består av 4 radhus (2 mitt- och 2 gavellägenheter). För steg B6 har ett genomsnittsvärde för energianvändningen använts för att inkludera energianvändningen för både mitt- och gavellägenheterna. De antagandena framgår också av Appendix IV.

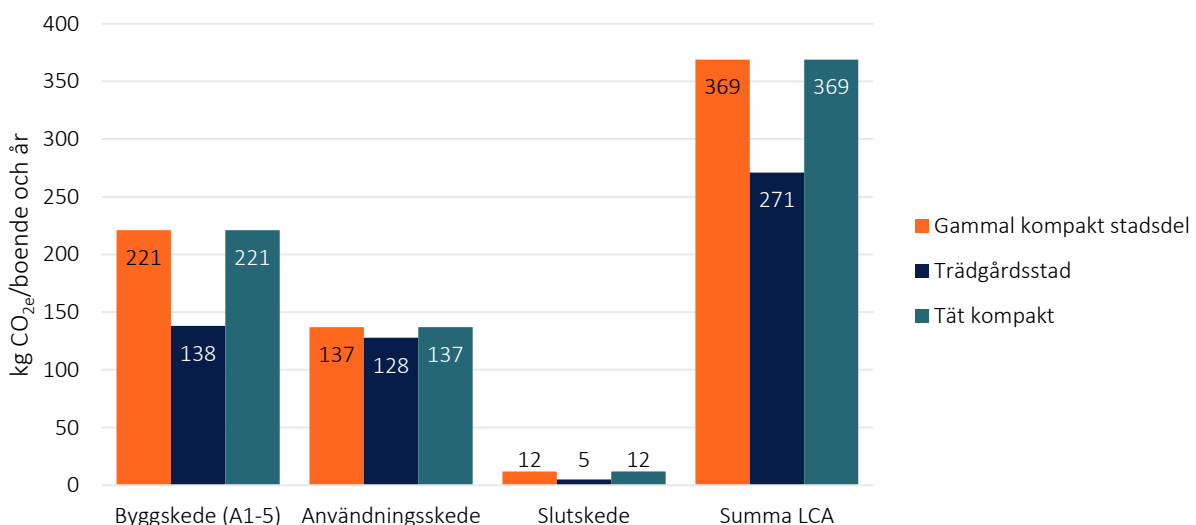
I Tabell 4 och i Figur 14, Figur 15 samt Figur 16 redovisas jämförelsen av klimatpåverkan för hela stadsdelen ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$, $\text{ton CO}_2\text{e}/\text{år}$, $\text{kg CO}_2\text{e}/\text{boende och år}$) i de tre studerade alternativen. Direkt efter visar

Tabell 5 en bild av jämförelsen mellan den nya trädgårdsstaden, den gamla kompakta staden och med den nya täta kompakta staden. Därefter visas i Tabell 6 den totala utvärderingen av hållbarhetsprestandan för de tre stadsutformningsalternativen.

Tabell 4 - Jämförelse av klimatpåverkan från bostäder i de tre stadsutformningarna.

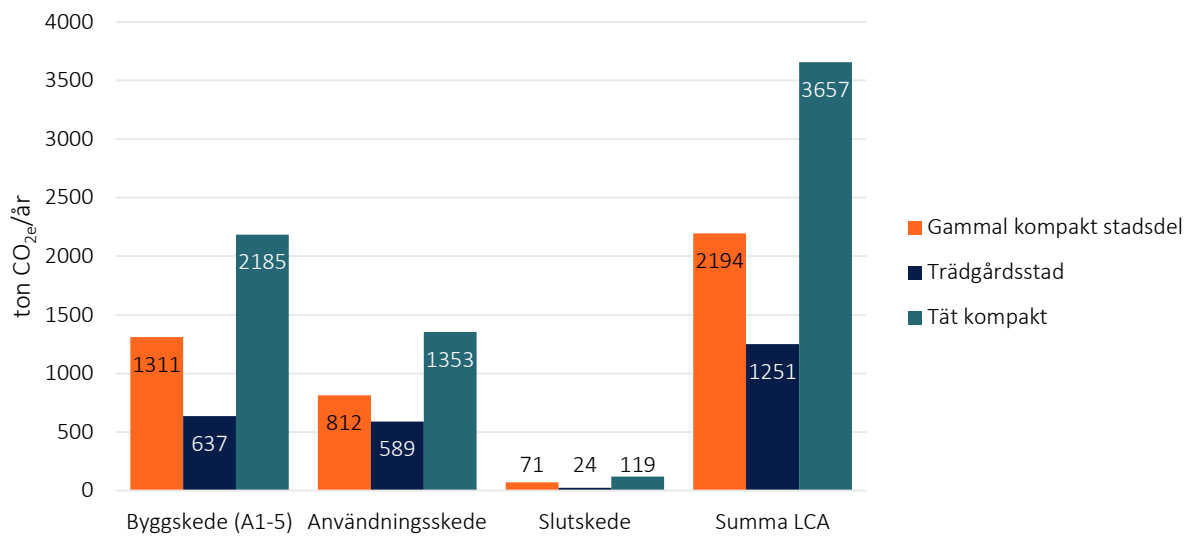
Livscykelsskede	Klimatpåverkan per areanhet ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{m}^2\text{A}_{\text{temp}}$)			Totala klimatpåverkan för hela stadsdelen ($\text{ton CO}_2\text{e}/\text{år}$)			Klimatpåverkan per boende ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{boende och år}$)		
	Gammal kompakt	Trädgårdsstad	Tät kompakt	Gammal kompakt	Trädgårdsstad	Tät kompakt	Gammal kompakt	Trädgårdsstad	Tät kompakt
Byggskede (A1-5)	331	230	331	1311	637	2185	221	138	221
Användningsskede	205	222	205	812	589	1353	137	128	137
Slutskede	18	9.5	18	71	24	119	12	5	12
Summa LCA	554	471	554	2194	1251	3657	369	271	369

Klimatpåverkan per boende för resp. stadsutformning



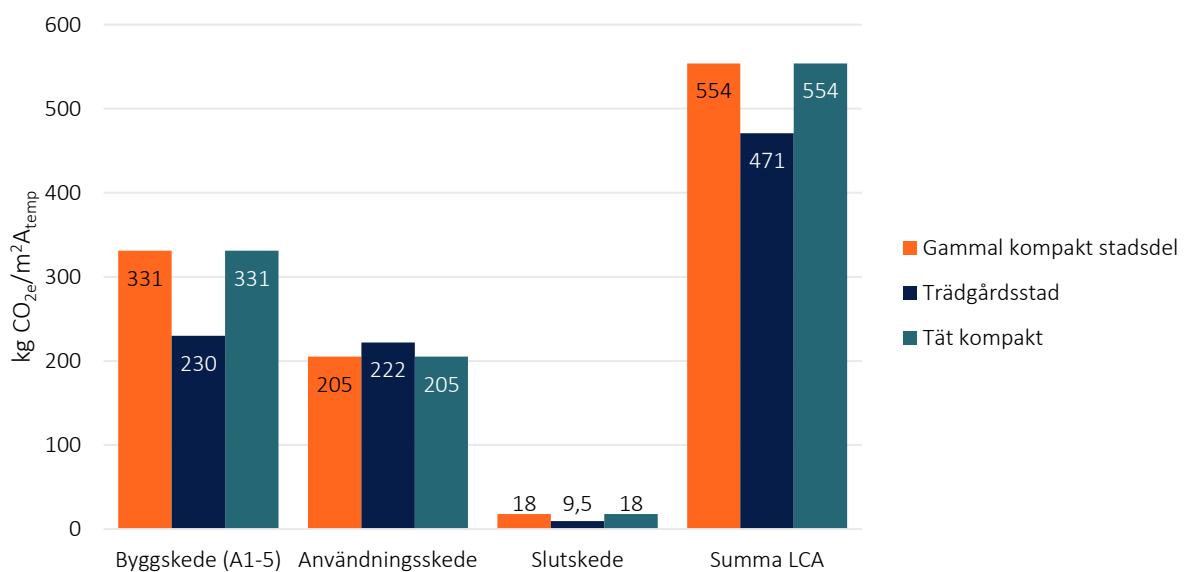
Figur 14 - Klimatpåverkan per boende för hela området ($\text{kg CO}_2\text{e}/\text{boende och år}$).

Klimatpåverkan från bostäder i resp. stadsutformning



Figur 15 - Klimatpåverkan för hela stadsdelen.

Klimatpåverkan per areaenhet bostad i resp. stadsutformning



Figur 16 - Klimatpåverkan per areaenhet bostad ($kg CO_{2e}/m^2 A_{temp}$).

Tabell 5 - Jämförelse mellan trädgårdsstadens och de kompakta stadsdelarnas klimatpåverkan per invånare (a) och per stadsdel (b).

(a)	CO ₂ -utsläpp per invånare
Byggskede (A1-5)	Utsläpp _{kompakt} = 1,6 x Utsläpp _{trädgårdsstad}
Användningsskede	Utsläpp _{kompakt} = 1,1 x Utsläpp _{trädgårdsstad}
Total	Utsläpp _{kompakt} = 1,4 x Utsläpp _{trädgårdsstad}

(b)	CO ₂ -utsläpp per stadsdel
Utsläpp _{Tät kompakt}	= 2,9 x Utsläpp _{trädgårdsstad}
Invånare _{Tät kompakt}	= 2,1 x Invånare _{trädgårdsstad}
Utsläpp _{Gammal kompakt}	= 1,8 x Utsläpp _{trädgårdsstad}
Invånare _{Gammal kompakt}	= 1,3 x Invånare _{trädgårdsstad}

Tabell 6 - Analys av hållbarhetsprestandan för de tre studerade stadsutformningsalternativ

Utvärdering av hållbarhetsprestandan						
Indikatorer	Prestanda per person			Prestanda per area		
	Gammal kompakt	Nya trädgårdsstad	Tät kompakt	Gammal kompakt	Nya trädgårdsstad	Tät kompakt
Trygghet						
Tillit till grannskapet						
Mötesplatser						
Serviceutbud						
Blandning av bostäder						
Luftkvalitet						
Resvanor						
Byggnaders energi-användning						
Klimat-påverkan från:	1. byggskedet av nya bostadsbyggnader					
	3. energianvändningen vid drift av bostadsbyggnader					
	4. lokalbyggnader					
	5. transport infrastruktur					
Biologisk mångfald (bara tillhandahållandet av grönområden här)						
Inomhusmiljö						
Hushållsavfall						
Ljudmiljö						
Dagvattenrening, översvömnings-risker						
Total						

Prestanda	mycket bra	bra	medel	dålig	mycket dålig
		CityLab kriterierna uppfylls			kriterierna uppfylls ej

ej aktuell	ej utvärderad
------------	---------------

När det gäller hållbarhetsprestanda per person har den nya trädgårdsstaden med blandade bostäderna bättre resultat än de andra stadsutformningarna för nästan alla CityLabs indikatorer. Angående prestandan per stadsdel är trädgårdsstadens viktigaste fördelar att det finns en blandning av bostäder och den låga klimatpåverkan från byggnaderna.

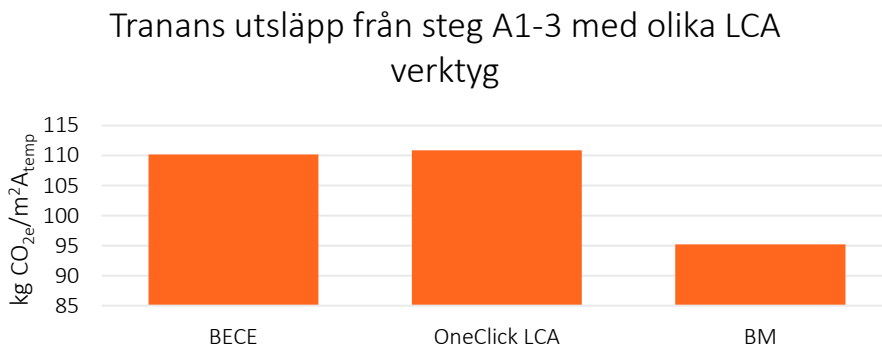
4. DISKUSSION

- Skillnaden mellan de olika småhustyperna

Generellt finns det ett samband mellan utsläpp från tillverkningskedje och driftsskede, vilket kan förklaras av en ökad energianvändning till följd av mindre isolering och lättare material; och vice versa.

- Olika verktyg för LCA-beräkningar - Tranan - Erik Jäderbrink

Det var intressant att undersöka hur resultaten som härrör från olika LCA-beräkningsverktyg (steg A1-3) kan skilja sig åt. Med hjälp av Erik Jäderbrink från Fiskarhedenvillan genomfördes en jämförelse mellan resultaten för Tranans tillverkningsutsläpp beräknat med "BECE" (egna beräkningarna), "OneClick LCA" och "BM" (de båda senare är Eriks Jäderbrinks beräkningar). Beräkningar genomfördes för de viktigaste husdelarna (dvs de byggnadsdelar som har störst CO₂-utsläpp) med alla tre verktygen. I beräkningarna med BM ingår dock inte vissa mindre material som inte bedöms orsaka någon stor skillnad i den totala resultaten. Beräkningsresultaten från de tre verktygen presenteras i Figur 17.



Figur 17 - TRANANS utsläpp från steg A1-3 (kgCO_{2e}/m²A_{temp}) beräknad med tre olika LCA-verktyg.

- LCA D steg - träprodukter

Kolinlagring från trä under byggnadernas livstid ingår inte i kalkylerna i detta uppdrag. Om det skulle inkluderas i LCA-beräkningarna skulle resultatet sannolikt vara bättre för trädgårdsstaden. När man genomför en LCA-beräkning för byggnader av trä är tidsperspektivet av stor betydelse för att beräkna GHG-absorbering i atmosfären - om skogen hinner fullborda sitt kretslopp och bli helt återvuxen tills byggnaden rivs, så är GHG-balansen till förmån för miljön. I Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives jämförde (Börjesson & Gustavsson, 2000) fyra-vånings träbyggnader med betongbyggnader ur ett LCA-perspektiv. De drog slutsatsen att träbyggnaderna alltid presterar bättre - förutsatt att trä inte deponeras (istället behövs det att biomassarester återvinnas) och att metangas samlas in (det bör inte lämnas kvar i atmosfären).

- Gröna tak

Gröna tak skulle också kunna integreras i trädgårdsstaden. Då skulle fler bostäder kunna byggas på området. Samtidigt skulle andra fördelarna med gröna tak kunna uppnås, som exempelvis dagvattenrening och ökad isolering (minskad energianvändning) erhållas.

5. SLUTSATSER

Här presenteras några slutsatser från projektet.

Klimatpåverkan från byggnaderna

- Klimatförbättrad betong i grundläggningen gör en skillnad (4,2 % lägre utsläpp), men når inte kryppgrundens låga utsläpp (13 % mindre utsläpp än vanlig betongplatta).
- Solpaneler ger ett bra resultat i driftsfasen (80 % mindre utsläpp) vilket inte bara överväger de tillverkningsutsläpp som solpanelerna ger (tillverkningskedets utsläpp ökar med 35,4 %), utan hjälper också till att skapa ett lågt totalt klimatavtryck när de kombineras med tegeltakpannorna. (Totalt minskas utsläppen med 40 % i jämförelse med den ursprungliga konstruktionen med betongtakpannorna).
- Tegeltakpannor minskar klimatavtrycket från steg A1-3 med 14,8 % i jämförelse med betongtakpannorna.
- Ju mindre/lättare material som används till hustillverkningen desto högre energianvändning krävs under husets brukstid. Det finns ett samband mellan utsläppen i tillverknings- och driftsfasen.
- Radhusen som ligger i mitten använder mindre energi än de med gavelläge, och totalt ger radhusetlängan (som består av två mitt och två gavelradhus) mindre utsläpp per $m^2 A_{temp}$ från driftsfas än de andra studerade småhusen tack vare att radhusen har gemensamma väggar.
- Vilken "residualmix" som används kan spela en stor roll i LCA-resultatet - här, i Hus X, har Estlands residualmix använts för tillverkningsfasen eftersom huset produceras i Estland; Estlands emissionsfaktor för residualmixen är 30 gånger högre än Sveriges.

Hållbarhetsprestanda

- Den nya trädgårdsstaden klarar CityLabs krav på blandning av bostäder, till skillnad från de stadsutformningar som studerades i examensarbetet.
- Den nya trädgårdsstaden har 30 % högre CO₂-utsläpp per boende i stadsdelen för byggskedet av bostadsbyggnaderna jämfört med "Linnea stadsdel", men nästan 38 % lägre utsläpp per boende än den "gamla kompakta stadsdelen". När det gäller utsläpp per boende från energianvändningen vid drift av bostadsbyggnader har den nya trädgårdsstaden 12,5 % lägre utsläpp än "Linnea stadsdelen" och 7 % lägre utsläpp än den "gamla kompakta stadsdelen".
- Vad gäller klimatpåverkan för hela stadsdelen så är utsläppen från den nya trädgårdsstaden (ton CO_{2e}/år) 44,5 % lägre än utsläppen för den "gamla kompakta stadsdelen" (och rymmer 23 % färre invånare än den sistnämnda), samt 65,5 % lägre än utsläppen för den nya kompakta staden (och rymmer 52,4 % färre invånare än den nya kompakta staden).
- Den nya tätare kompakta staden har betydligt färre mötesplatser, men rymmer 66 % fler invånare än den "gamla kompakta stadsdelen". För att nå GYF-krav användes gröna tak, men det har inte analyserats från något annat perspektiv.

Generella förslag

- Solpaneler på tak
- Tegeltakpannor istället för betongtakpannor
- Omsorgsfullt val av material för småhus för att uppnå lägsta möjliga utsläpp från tillverkningsfas samtidigt som det finns en tillräckligt robust konstruktion för att ge förutsättningar för en låg energianvändning under livstiden.
- När och där det är möjligt är det miljömässigt bättre att använda träbaserade alternativ istället för stål - till exempel nockbalk.

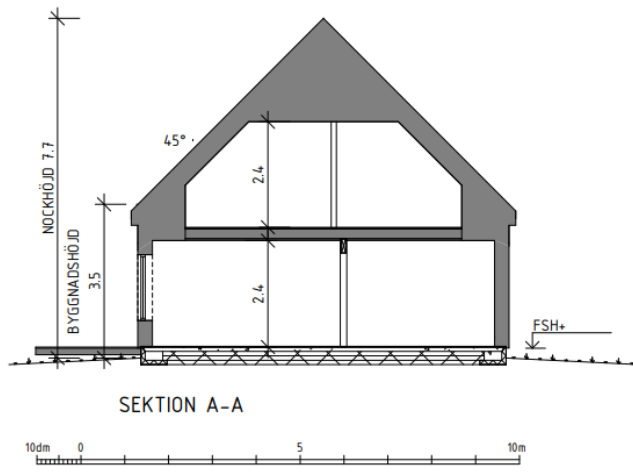
- Grundläggning med klimatförbättrad betong istället för standardbetong. När det är möjligt föreslås det att kryppgrund används- eventuellt behövs undersökning för att kunna integrera kryppgrund till fler konstruktioner.
- Konstruktioner i trä ger viktiga fördelar när det gäller miljömässigt hållbarhet förutsatt att skogen hanteras på ett hållbart sätt eftersom trä är ett naturligt material som absorberar koldioxid. Om LCA D-steg också skulle integreras och trärester till exempel skulle användas till elproduktion så skulle utsläpp från energi som behövs för att tillverka material minskas ännu mer.
- 2-plans (2, 1½, 1¼) småhus presterar mycket bättre än enplans småhus både avseende LCA-perspektiv och stadsdelens hållbarhetsprestanda tack vare att de inte tar så mycket mark i anspråk och att mindre grundläggning och betongtakpannorna behövs.
- Den lokala emissionsfaktorn för el och fjärrvärme kan vara orsak till en stor skillnad i LCA-resultaten; elmix som används vid tillverkning av material är mycket viktig. Omsorg bör läggas vid val av ställen för materialproduktion.
- Blandning av olika typer av bostäder skapar en mer socialt attraktiv miljö där människor kan välja var de vill bo och samtidigt ha direkt tillgång till gröna områden och känna att de inte är isolerade från staden. En blandning av miljövänliga småhus tillsammans med miljövänliga flerbostadshus i trä skapar en miljömässigt hållbar stadsdel som kan rymma många invånare och som har alla fördelarna av en trädgårdsstad med både privata och offentliga gröna ytor.
- Gröna tak bidrar till att uppnå grönytefaktorer när det behövs och har fördelar som exempelvis att de kan öka isoleringen och fördröja regnvatten. Dessutom har de estetiska värden och kan skapa möjlighet för många andra funktioner och skapa eller förstärka ekosystemtjänster.⁹ Dock behövs undersökningar för att utvärdera hur gröna tak påverkar ur ett LCA-perspektiv och vilka eventuella konstruktionsmässiga förstärkningsåtgärder som behövs på grund av den extra viktbelastningen som de ger.
- En direkt analys av bostädernas klimatpåverkan skulle kunna uppnås om det fanns tydliga materialdata direkt relaterade med digitala verktyg (BIM). Då skulle tillverkarna veta redan från början vilka material som är mest koldioxidintensiva och undersöka alternativen.

⁹ Ett tak – fem möjligheter. Marknadsdriven utveckling av ekosystemtjänster, Persson A et al, 2020

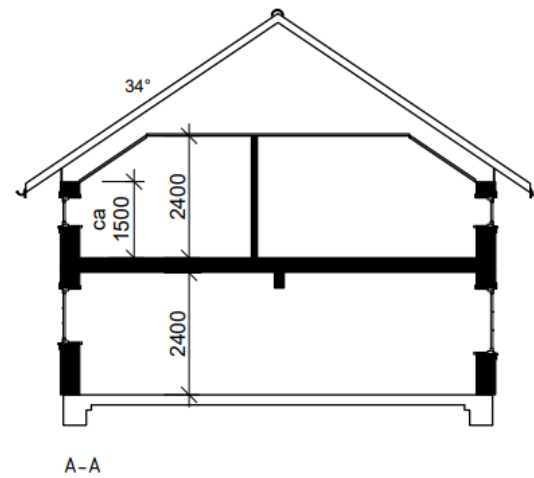
Tabell 1 - Bostadsenheter som ingår i trädgårdsstaden och huvudsakliga egenskaperna	10
Tabell 2 - huvudsakliga egenskaper inom respektive typ av stadsdel	12
Tabell 3 - CityLabs indikatorer & respektive stadsutformnings prestanda.	17
Tabell 4 - Jämförelse av klimatpåverkan från bostäder i de tre stadsutformningarna.	18
Tabell 5 - Jämförelse mellan trädgårdsstadens och de kompakta stadsdelarnas klimatpåverkan per invånare (a) och per stadsdel (b).	20
Tabell 6 - Analys av hållbarhetsprestandan för de tre studerade stadsutformningsalternativ	20
Figur 1 - Trädgårdsstadens markanvändning	10
Figur 2 - Tät kompakt stadsdels markanvändning	11
Figur 3 - Gammal kompakt stadsdels markanvändning	11
Figur 4 - Linneas klimatavtryck ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) med förändrade egenskaper.....	13
Figur 5 - Linneas klimatavtryck för Steg A1-3 ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) med olika grundläggningstyp.....	13
Figur 6 - Linneas klimatavtryck för steg A1-3 ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) med olika taktyp	14
Figur 7 - Linneas klimatavtryck för steg A1-3 och B6 ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) med respektive utan solpaneler	14
Figur 8 - HOME#601 - LCA Figur 9 - TRANAN - LCA.....	15
Figur 10 - Lägenhet 02-1003 - LCA Figur 11 - Hus X, flerbostadshus - LCA	15
Figur 12 - Livscykelns utsläpp ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) för trädgårdsstadens bostadstyper.....	16
Figur 13 - Livscykelutsläpp (ton $\text{CO}_{2e}/\text{år}$) för alla bostäder av varje typ i trädgårdsstaden	16
Figur 14 - Klimatpåverkan per boende för hela området ($\text{kg CO}_{2e}/\text{boende och år}$).	18
Figur 15 - Klimatpåverkan för hela stadsdelen.	19
Figur 16 - Klimatpåverkan per areaenhet bostad ($\text{kg CO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$).....	19
Figur 17 - TRANANS utsläpp från steg A1-3 ($\text{kgCO}_{2e}/\text{m}^2\text{A}_{temp}$) beräknad med tre olika LCA-verktyg.	21

6. APPENDIX

HOME#601



TRANAN



RADHUS



Lägenhet 02-1003 _ Brf Körsbärsdalen, etapp 1. <https://www.obos.se/sok-bostad/brf-korsbarsdalen/>

I. Solpaneler

- Antagandet: Solpaneler ger 80 % av energianvändning exkl. hushållsel.
- Solceller som installeras i Sverige i dag ger ett klimatavtryck på 20g CO₂/kWh
<https://www.svensksolenergi.se/upload/fakta-om-solenergi/solel%20och%20klimatpaverkan%20SSE%202018.pdf>
- Nordisk el mix: 102g CO₂/kWh (samma som användes i rapporten)
- Förväntade produktionen från ett solcellssystem i Sverige under en antagen livstid på 30 år.
<https://www.svensksolenergi.se/upload/fakta-om-solenergi/solel%20och%20klimatpaverkan%20SSE%202018.pdf>
- Steg C medräknas inte. Men, det redan finns nu tekniken att återvinna 96 % av materialen i en kiselmodul.
<https://www.svensksolenergi.se/upload/fakta-om-solenergi/solel%20och%20klimatpaverkan%20SSE%202018.pdf>
- Steg A4 och A5 medräknas inte heller

Steg B6: Den totala energianvändningen exkl. hushållsel för Linnea är 5 279 kWh/år. Den 20 % (1 055,8 kWh/år) motsvarar nordisk el mix och resten 80 % motsvarar solpaneler.

Elproduktionen till den total mängd energi som behövs genererar:

102g CO₂/kWh * 1 055,8 kWh/år + 20g CO₂/kWh * 4 223,2 kWh/år = 107,7 kgCO_{2-e}/år + 84,46 kg CO_{2-e}/år = 192,15 kg CO₂ om något år * 50 år => 9 607kg CO₂ => **74,5kg CO₂/m²A_{temp}** (A_{temp} = 129 m²)

Dock ger solpaneler utsläpp bara under sin tillverkningsfas. Så utsläpp från solpaneler (32,7 kg CO_{2-e}/m²A_{temp}) betraktas som utsläpp i produktskede (A1-3). Då blir **driftsfasens utsläpp 41,7kg CO_{2-e}/m²A_{temp}**.

Angående steg B2-4: Om 30 år kan de behöva utbytas. Men då kan utsläppet från tillverkningen ha minskats - det redan finns nu tekniken att återvinna 96 procent av materialen i en kiselmodul. Om 25 till 30 år kan vi tillverka nya solcellsmoduler med högre prestanda från materialen i dagens moduler. Sammantaget menar vi då att solceller som installeras i Sverige i en inte alltför avlägsen framtid ger ett klimatavtryck under 10 g CO₂/kWh.” <https://www.svensksolenergi.se/upload/fakta-om-solenergi/solel%20och%20klimatpaverkan%20SSE%202018.pdf>

Så resultatet med 10 g CO₂/kWh skulle bli:

102 * 1 055,8 + 20 * 4 223,2 = 192,155 kg CO₂ om något år * 30 år => 5 764 kg CO₂ för de första 30 år plus

102 * 1 055,8 * 20 år + 10 * 4 223,2 * 30 år (30 år istället för 20 år eftersom solcellers utsläppsvärde utgår från det antagandet av förväntade produktionen från ett solcellssystem i Sverige under en antagen livslängd på 30 år) => 3 420,8kg CO₂ för resterande 20 år => Totalt blir det 9 184,8 kg CO₂=> **71,2 kg CO₂/m²A_{temp}**

Nu ska utsläpp från solcellsgenererad energi (84,46kg CO_{2-e}/år * 30 år + 42,24kg CO_{2-e}/år * 30år) tillskrivas till tillverkning (A1-3) och utbyte (B2-4) av material, för de 30 respektive 20 år, medan resten tillskrivas i B6 steg.

Så utsläpp i produktionsskede (A1-3) blir: 84,47 * 30 = 2 533,8 kg CO_{2-e}/129 m² = **19,64 kg CO_{2-e}/m²A_{temp}**

Utsläpp i utbytesskede (B2-4) blir: 42,24 * 30 = 1 267 kg CO_{2-e}/129 m² = **9,82 kg CO_{2-e}/m²A_{temp}**

medan steg B6 förblir detsamma som förut, dvs. 41,7 kg CO_{2-e}/m²A_{temp}.

Så totalt solcellsutsläpp blir 19,64 + 9,82 = 29,46 kg CO_{2-e}/m²A_{temp} förutsatt att solcellerna i framtiden ger ett klimatavtryck av 10 g CO₂/kWh. Om det förblir detsamma som i nuläget (20 g CO₂/kWh), så ska det totala utsläppet bli 19,64 * 2 = 39,28 kg CO_{2-e}/m²A_{temp}.

Här antas att solpanelerna inte bytas ut så alla solcellsutsläpp tillskrivs produkt skedet. Utsläppen beräknades för 50 års livslängd, dvs att klimatavtrycket per år har multiplicerats med 50 år.

Om de inte byts ut så blir utsläppet sannolikt mindre. Om utsläppsvärdet utgår från antagandet att den förväntade produktionen från ett solcellssystem i Sverige under en livslängd på 30 år och att solcellerna

kan fungera i 50 år har de inga tillkommande utsläpp jämfört med utsläppen de 30 första åren. Den avgjort största delen av en solcells klimatavtryck kommer från den el som används vid tillverkning av solcellerna och modulen, och det har fördelats på de 30 år som solcellerna antas producera el. För att inkludera osäkerheter (eventuella underhållsåtgärder) behållas dock värdet **32,7 kg CO_{2e}/m² A_{temp}** för A1-3.

II. Hus X, flerbostadshus

Modulerna har transporterats med färja 290 km och 120 km med lastbil (30 km inom Estland och 90 km inom Sverige). Som emissionsfaktorer för produktionsskedet har de "generiska" värden som anges i IVL:s databas använts, utom för energi där Sveriges residualmix¹⁰ har använts för energianvändning under steg A1-3 och A5 samt för fabriken energianvändning och avfall har Estlands residualmix använts. Estlands höga residualmix är en starkt bidragande orsak till den höga utsläpp från steg A1-3.

För att göra att alla byggsystem i det här uppdraget likvärdiga har materialanvändning vid markarbeten uteslutits (vilket ger uppskattningsvis 22 kg CO_{2e}/m²A_{temp} i produktionsskedet). Emellertid har inte utsläpp från energianvändningen under markarbeten på byggsplats uteslutits, därmed ger steg A5 sannolikt en överskattad siffran.

Angående driftsfasens utsläpp:

Enligt interna energiberäkningar med programmet VIP Energy är energianvändning under 60 år:

- för fastighetsel: 7,31 kWh/m²A_{temp}, år
- för uppvärmning: 56,56 kWh/m²A_{temp}, år

Dessa värden gäller för Malmö, dvs geografisk justeringsfaktor är 0,8. För Stockholm (med geografisk justeringsfaktor 1,0)¹¹ ändras energianvändningen för uppvärmning. Därför antas det värdet öka med 20 % för i Stockholm. Men den geografiska justeringsfaktorn gäller bara för uppvärmningsenergin. (Boverket, 2019) Därmed blir den totala energianvändningen:

- för fastighetsel: 7,31 kWh/m²A_{temp}, år
- för uppvärmning: 62,8 kWh/m²A_{temp}, år

Uppvärmning sker med fjärrvärme (0,062 kg CO_{2e}/kWh) medan fastighetsel försörjs med el (0,102 kg CO_{2e}/kWh).

Det ger resultatet 0,745 kg CO_{2e}/m²A_{temp}, år + 3,9 kg CO_{2e}/m²A_{temp}, år = 4,64 kg CO_{2e}/m²A_{temp}, år. Dvs **232,3 kg CO_{2e}/m²A_{temp} under 50 år** och totalt 384,5 ton CO_{2e} för Huset X under 50 år.

Angående faktorn 5 % som läggs till för osäkerheter, underhåll – utbyte och slutskede:

Det antas att 2,5 % läggs till för underhåll och utbyte av material, dvs till steg B2-4, och 1,9 % läggs till för slutskedet, dvs steg C. Resterande 0,6 % läggs till för osäkerheter.

III. Antaganden angående uppdragets fas 1 - LCA för 1 enhet

¹⁰ European Residual Mixes 2018 <https://www.aib-net.org/facts/european-residual-mix> Version 1.2; 20190711. Värdet är 37 g/kWh i Sverige och 1043 för Estland.

¹¹ Geografisk justeringsfaktor:

<https://cdn01.rockwool.se/contentassets/02e7283b588448acbf2e3924556caef/geografisk-justeringsfaktor.pdf?f=20200331013810>

Steg	LCA Antaganden (1-enhet) sektion 4.2, 4.3	Resonemang	Reflektioner
A1-3	elutrustings utsläpp medräknas inte	brist på data för de flesta	det medräknas för ingen av de bostäderna som analyseras för trädgårdsstaden så ger det ingen skillnad till deras jämförelse
A4	GHG utsläpp från diesel transporterering: 87 g CO _{2e} /MJ diesel	typiskt värde	Typiskt värde och det samma som användes i examensarbetet. I nuläget har det minskats.
	MJ/tonkm och transporteringsavstånd till byggplatsen (Sundbyberg) baserad på data från byggföretagen. Transportering från leverantörer till fabrik ingår för alla förutom flerbostadshuset.	realistiska värden	Transporteringsavstånd beror på var byggplatsen och var fabriken ligger. Då kan A4 steg skilja sig i stor utsträckning beroende på var byggandet byggs.
	Konstruktionsutrustning transporterering och material förluster under transporterering anses som försumbara-> ingår inte	samma för alla (examensarbetet och alla bostäder här)	Sannolikt ett bra antagande eftersom alla bostäder kommer till byggplats i moduler.
A5	A5.1: samma som Linnea från examensarbetet (spill/m ²) för alla förutom flerbostadshuset	prefabricerade småhus i trä	ganska bra antagande
	A5.2: hjul-och band grävmaskin" till utgrävning; "mobilkran" till husmontering "Miljödata för arbetsfordon" rapport användes	ungefärliga data som användes i examensarbetet	Sannolikt skulle utsläpp kunna vara lite högre om man antog att det finns fler arbetsfordon på plats, dock skulle förändringen inte vara stor
	A5.3,4: medräknas inte för småhus	försumbar effekt p.g.a. prefabricering och enkel konstruktion	ganska bra antagande
B2,4	Småhus: fasad målning, fönster och dörrar målning varje 10 år, fönster och fönsterdörrar utbyte varje 30 år	viktigaste och mest karbonintensiva underhållsåtgärder	Sannolikt något lågt p.g.a. att andra underhållsåtgärder som krävs inte medräknas
	Flerbostadshus: faktorn 2,5 % av den totala utsläpp läggs till för underhåll och utbyte	brist på data	ganska bra antagande men med osäkerheter
	el utrustnings utbyte medräknas inte varken för småhus eller för flerbostadshuset.	brist på data	mindre B2,4 utsläpp i jämförelse med "Blå Jungfrun" kvarter.
B6	Utsläppsfaktor för fjärrvärme: 62 g CO _{2e} /kWh	samma värde som för Blå Jungfrun i examensarbetet	Ganska bra antagande
	El. utsläpp faktor: 102 g CO _{2e} /kWh	samma värde som för Blå Jungfrun och Linnea i examensarbetet	Generellt kan valet av el utsläppsfaktorn vara mycket viktig; då för jämförelsens skull, användes samma värden för alla bostäder som analyserades. Dock är den hög för nulägets nordisk elmix emissionsfaktorer https://insynsverige.se/documentHandler.ashx?did=1987044
C1-4	C1: enligt "energianvändning för maskiner och arbetsfordon för rivning av byggnader" https://www.boverket.se/contentassets/1efdca0430b946e99d77527a93c24971/u5176-klimatpaverkan-for-byggnader-_mh_2_me_aw_me_bov-stem_16-april_clea...pdf		bra antaganden
	C2: generiska transportemissioner enligt 29,30 https://www.ivl.se/download/18.29aef808155c0d7f05063/1467900250997/B2260.pdf , & MJ/tonkm enligt https://www.e2b2.se/library/3867/slutrappport_byggsektorns_miljoberakningsverktyg_bm10.pdf		
	C3: enligt "energianvändning för maskiner och arbetsfordon för rivning av byggnader" https://www.boverket.se/contentassets/1efdca0430b946e99d77527a93c24971/u5176-klimatpaverkan-for-byggnader-_mh_2_me_aw_me_bov-stem_16-april_clea...pdf		
	Flerbostadshus: faktorn 1,9 % av den totala utsläpp läggs till för slutskede	brist på data	ganska bra antagande men med osäkerheter

Ytterligare antaganden angående uppdragets fas 2 - stadsdelar LCA

Steg LCA Antaganden (kvarter) sektion 4.4		Resonemang	Reflektioner
A1-3	elutrustings utsläpp för alla småhus: 13,9 kg CO _{2e} /m ² A _{temp}	beräkningar för radhuset	värdet kan skilja sig mellan de småhus men den största utsläppsdelen kommer från frånluftsvärmepumpen som är densamma för alla småhus
	elutrustings utsläpp för flerbostadshuset: 12 kg CO _{2e} /m ² A _{temp}	samma värde som Blå Jungfrun (från examensarbetet) flerbostadshus	en ganska bra antagande på grund av brist på data
B6	Radhus: genomsnittsvärde från mitt- och gavellägenhet.	alla 4 lägenheter som utgör radhuset tas med i beräkningarna och energianvändningsvärdet skiljer sig mellan lägenheterna i mitten och på gaveln	bra antagande om man vill se den totala bilden av ett radhus och inte varje lägenhet individuellt.

REFERENSER

- Börjesson, P., & Gustavsson, L. (2000). Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and forest land-use perspectives. *Energy policy*, 28(9), ss. 575-588.
- Boverket. (2019). *Beräkning av energiprestanda/primärenergital för några*. Recollit de <https://www.boverket.se/contentassets/b521298e15954fa3ac9f54b79f4c5c20/pm-berakning-av-primarenergital.pdf>
- Gustavsson, L., & Joelsson, A. (2010). Life cycle primary energy analysis of residential buildings. *Energy and Buildings*, 210-220.
- Ljones, E. (den 3 november 2015). *Bilarna breder ut sig*. Hämtat från Nacka Värmdö Posten: <https://www.nvp.se/Arkiv/Artiklar/2015/11/bilarna-breder-ut-sig/bilarna-breder-ut-sig>
- Morini, A. A., Ribeiro, M. J., & Hotza, D. (den 15 September 2019). Early-stage materials selection based on embodied energy and carbon footprint. *Materials & Design, Volume 178*.
- NIBE Energy Systems. (2018). *Frånluftsvärmepump NIBE F730*. Hämtat från nibe.se: https://www.rskdatabasen.se/infodocs/PROD/PROD_30_6244522.pdf
- Simonen, K., Rodriguez, B. X., & Catherine De Wolf. (2017). Benchmarking the Embodied Carbon of Buildings. *Technology|Architecture + Design*, 1:2, 208-218.
- Sundbybergs stads översiktsplan*. (2013). Recollit de Sundbybergs stad: <http://www.sundbybergsstadshus.se/wp-content/uploads/2016/12/Oversiktsplanen.pdf>
- Vale, D. (2009). *Sustainable Urban Form, Accessibility and Travel: The relationship between polycentric urban development and commuting in Lisbon*. Newcastle: Newcastle University.
- Vlassopoulou, E. (2019). *Urban form and sustainability : Comparison between low-rise "garden cities" and high-rise "compact cities" of suburban areas (Dissertation)*. Hämtat från <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-260495>
- Wallhagen, M., Glaumann, M., & Malmqvist, T. (2011). Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change-Case study on an office building in Sweden. *Building and Environment, Vol. 46 (10). s.l.: s.n.*, ss. 1863-1871.
- Omslagsbild - Letchworth garden city - <https://www.architecture.com/awards-and-competitions-landing-page/competitions-landing-page/re-imagining-the-garden-city>

Forskning, utredning och innovation för en hållbar framtid

Anthesis Enveco AB är ett konsultföretag med rötterna i forskningsvärlden. Vi är ett växande företag med ca 15 medarbetare i nuläget. Vi tillhör koncernen Anthesis Group som har verksamhet i 16 länder och totalt ca 500 medarbetare.

Vi erbjuder tjänster inom områdena miljöekonomi, resursekonomi, hållbara energisystem och hållbara städer. Inom dessa områden erbjuder vi såväl strategisk rådgivning som affärsutveckling, analys, utredning samt forskning.

Vi har både bred och djup kunskap inom samhällsekonomiska analyser, social hållbarhet och innovationsupphandling m.m.

Vidare har vi mycket stor erfarenhet av projekt- och processledning av multidisciplinära projekt.

Vi har kontor i Stockholm och Göteborg men åtar oss uppdrag inom hela Sverige och internationellt.

Anthesis

Barnhusgatan 4, 111 23 Stockholm

Kyrkogatan 30, 411 15 Göteborg

anthesis.se

anthesisgroup.com/about/europe/sweden