

# Systemanalys av en energigemenskaps klimatavtryck

Ida Espersson & Emelie Tornhill

MILJÖ- OCH ENERGISYSTEM  
INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH SAMHÄLLE  
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA VID LUNDS UNIVERSITET 2026

Examensarbete





# Systemanalys av en energigemenskaps klimatavtryck

Ida Espersson & Emelie Tornhill

28 maj 2026

Examensarbete för civilingenjörsexamen i ekosystemteknik

Handledare: Pål Börjesson

Examinator: Max Åhman

Examensarbetet inom civilingenjörsprogrammet i ekosystemteknik har genomförts vid avdelningen för Miljö- och energisystem, institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet.

Handledare vid avdelningen för Miljö- och energisystem har varit Pål Börjesson. Handledare på Krafteringen har varit Annika Erlandsson.

Examinator vid Lunds universitet har varit Max Åhman.

© Ida Espersson & Emelie Tornhill 2026

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

vid Lunds universitet

Institutionen för teknik och samhälle

Miljö- och energisystem

Box 118, 221 00 Lund

ISSN: 1102-3651

ISRN: LUTFD2/TFEM-26/5250-SE + (1-106)

Lund 2026

# Förord

Detta examensarbete har genomförts inom civilingenjörsprogrammet i ekosystemteknik vid Lunds Tekniska Högskola och behandlar klimatpåverkan från energigemenskapen i Pottugnen och Spjället i Lund. Arbetet har utförts i samarbete med Krafringen Energi AB och LKF.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Pål Börjesson på LTH för värdefull vägledning och stöd under arbetets gång. Ett särskilt tack riktas även till vår handledare Annika Erlandsson på Krafringen och Gustav Karlström på LKF för deras engagemang, tillgång till data och insikter som varit avgörande för studiens genomförande.

Slutligen vill vi tacka alla som bidragit med synpunkter och stöd under arbetets gång.

*Lund, maj 2026*

Ida Espersson & Emelie Tornhill

# Sammanfattning

Energigemenskaper lyfts som en del i omställningen till ett mer hållbart energisystem, där lokal produktion, lagring och delning av energi kan öka användningen av förnybar energi. Samtidigt innebär ny teknik en ökad klimatpåverkan i tillverkningskedet, vilket gör att den totala klimatnyttan inte är självklar. Idag är det svenska elsystemet redan till stor del fossilfritt och förutsättningarna skiljer sig från många andra europeiska länder. Det är därmed inte givet att införande av energigemenskaper, som är ett initiativ på EU-nivå, är lika motiverat i Sverige.

Syftet med detta examensarbete är att analysera och jämföra klimatpåverkan från olika systemlösningar i en planerad energigemenskap i bostadsområdet Pottugnen och Spjället i Lund. Studien genomförs som en systemanalys baserad på livscykelanalys (LCA), där klimatpåverkan från tillverkning, drift och slutskede inkluderas.

Fem systemlösningar analyseras stegvis utifrån ett referensscenario, där kompletterande komponenter är frånluftsvärmepump (FVP), solel, individuell mätning och debitering (IMD), batterilagring samt ett icke koncessionspliktigt nät (IKN) med energiroutrar.

Resultaten visar att införandet av solel ger en tydlig minskning av klimatpåverkan genom att ersätta köpt el. IMD kan öka egenanvändning av solel samtidigt som klimatpåverkan från tillhörande komponenter är liten. Batterier och IKN ökar systemets flexibilitet och egenanvändning, men medför samtidigt högre klimatpåverkan från tillverkning av komponenter. Detta indikerar avtagande klimatnytta vid ökad systemkomplexitet.

Resultaten är känsliga för emissionsfaktorer för el och fjärrvärme, eftersom en stor del av energibehovet fortsatt täcks av köpt energi. Även produktionsplats och livslängd för solceller och batterier påverkar klimatpåverkan.

Studien visar att samspelet mellan tekniska komponenter, snarare än enskilda lösningar, är avgörande för energisystemets klimatprestanda. För att minimera klimatpåverkan bör införande av förnybara energikällor prioriteras samtidigt som onödig systemkomplexitet undviks.

# Abstract

Energy communities are increasingly recognized as a key element in the transition towards a more sustainable energy system, enabling local production, storage and sharing of energy. However, new technologies also introduce additional climate impacts from manufacturing, making the overall climate benefit uncertain. The Swedish energy system is already to a large extent fossil-free, and the conditions differ from many other European countries. It is therefore uncertain if implementation of energy communities, which are an EU-level initiative, is equally justified in Sweden.

The aim of this thesis is to analyze and compare the climate impact of different system configurations in a planned energy community in the residential area of Pottugnen and Spjället in Lund, Sweden. The study is conducted as a system analysis based on life cycle assessment (LCA), including embodied, operational and end-of-life emissions.

Five system configurations are analyzed in comparison with a reference scenario, with additional components added progressively, including an exhaust air heat pump (EAHP), solar photovoltaics (PV), individual metering and billing (IMD), battery storage, and an internal distribution network (IKN) with energy routers.

The results show that PV significantly reduces climate impact by replacing purchased electricity. IMD increases self-consumption but provides limited additional climate benefits. Battery storage and IKN improve system flexibility and self-consumption, but also increase embodied emissions. This indicates diminishing climate benefits with increasing system complexity. The results are sensitive to emission factors for electricity and district heating, as well as the geographical location of component production.

The study demonstrates that the interaction between system components, rather than individual technologies, determines the overall climate performance. To minimize climate impact, it is essential to prioritize measures that increase self-consumption of renewable energy while avoiding unnecessary system complexity.

# Innehållsförteckning

|  |    |
|--|----|
| 1. Inledning .....   | 1  |
| 1.1 Energigemenskaper - i Sverige och EU .....                                     | 1  |
| 1.2 Energiläget i Sverige .....  | 2  |
| 1.3 Problemformulering: varför behövs en klimat/systemanalys? .....                | 3  |
| 1.4 Syfte .....  | 4  |
| 1.5 Frågeställningar .....   | 4  |
| 1.6 Avgränsningar .....  | 4  |
| 1.7 Rapportens upplägg .....   | 4  |
| 2. Teoretisk bakgrund .....  | 5  |
| 2.1 Energigemenskaper .....  | 5  |
| 2.2 Lokala energisystem i flerbostadshus .....                                     | 7  |
| 2.3 Klimatpåverkan från energisystem och tekniska lösningar i flerbostadshus ..... | 7  |
| 2.3.1 Elanvändning .....   | 8  |
| 2.3.2 Fjärrvärme .....   | 10 |
| 2.3.3 Frånluftsvärmepump .....   | 10 |
| 2.3.4 Solceller .....  | 11 |
| 2.3.5 Individuell mätning och debitering (IMD) .....                               | 12 |
| 2.3.6 Batterier .....  | 13 |
| 2.3.7 Icke koncessionspliktigt nät (IKN) och delning av el (energigemenskap) ..... | 14 |
| 2.4 Tidigare studier om klimatpåverkan från energisystem .....                     | 16 |
| 2.5 Tidstegen .....  | 16 |
| 3. Metod .....   | 16 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Metodöversikt.....  | 16 |
| 3.2 Analysram .....   | 17 |
| 3.3 Scenariodesign .....  | 18 |
| 3.4 Livscykelanalys .....   | 18 |
| 3.4.1 Funktionell enhet .....                                     | 21 |
| 3.4.2 Systemgräns .....   | 22 |
| 3.4.3 Tidsperiod .....  | 22 |
| 3.4.4 Allokering och systemutvidgning.....                        | 23 |
| 3.5 Datainsamling och källor .....                                | 23 |
| 3.6 Känslighetsanalys .....                                       | 23 |
| 4. Fallstudie & Systembeskrivning .....                           | 24 |
| 4.1 Områdesbeskrivning.....                                       | 24 |
| 4.2 Befintligt energisystem .....                                 | 25 |
| 4.3 Energianvändning.....   | 25 |
| 4.4 Antaganden.....   | 26 |
| 4.5 Scenariodesign .....  | 26 |
| 4.5.1 Referensscenario .....                                      | 27 |
| 4.5.2 Systemval 1: Frånluftsvärmepump (FVP).....                  | 28 |
| 4.5.3 Systemval 2: Solel .....                                    | 28 |
| 4.5.4 Systemval 3: Individuell mätning och debitering (IMD) ..... | 29 |
| 4.5.5 Systemval 4: Batterier .....                                | 30 |
| 4.5.6 Systemval 5: Icke koncessionspliktigt nät (IKN) .....       | 30 |
| 5. Datainsamling .....  | 31 |

|  |    |
|--|----|
| 5.1 Datakällor .....   | 31 |
| 5.2 Sammanställning av inventeringsdata .....  | 32 |
| 5.3 El .....   | 34 |
| 5.4 Fjärrvärme .....   | 37 |
| 5.5 Frånluftsvärmepump .....   | 37 |
| 5.6 Solcellssystem .....   | 38 |
| 5.7 IMD .....  | 40 |
| 5.8 Batterisystem .....  | 40 |
| 5.9 IKN .....  | 41 |
| 6. Resultat .....  | 43 |
| 6.1 Klimatpåverkan per scenario (ton CO <sub>2</sub> -ekv/år) .....                    | 43 |
| 6.2 Klimatpåverkan per energienhet (g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh levererad energi) ..... | 45 |
| 6.3 Bidrag från olika komponenter .....  | 46 |
| 6.4 Användningsgrad av egenproducerad sol .....  | 47 |
| 6.5 Resultat från känslighetsanalys .....  | 48 |
| 6.5.1 Känslighetsanalyser - energisystem och emissionsfaktorer .....                   | 48 |
| 6.5.2 Känslighetsanalyser på komponentnivå .....                                       | 54 |
| 6.5.3 Övriga analyser .....  | 56 |
| 6.5.4 Aggregerad känslighetsanalys .....   | 57 |
| 6.6 Jämförelse med resultatet från Tidstegen .....                                     | 58 |
| 7. Diskussion .....  | 60 |
| 7.1 Tolkning av resultaten .....   | 61 |
| 7.2 Energigemenskaper i framtiden .....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 7.2.1 Faktorer utöver LCA-perspektivet.....           | 64 |
| 7.2.2 Framtida förändringar.....                      | 64 |
| 7.2.3 Ekonomiska och sociala aspekter.....            | 66 |
| 7.3 Betydelsen av antaganden.....                     | 67 |
| 7.3.1 Systemantaganden.....                           | 67 |
| 7.3.2 Antaganden om energisystem.....                 | 68 |
| 7.3.3 Modellval och metodperspektiv.....              | 69 |
| 7.4 Osäkerheter.....                                  | 69 |
| 7.5 Metodbegränsningar.....                           | 70 |
| 8. Slutsatser.....                                    | 71 |
| 9. Rekommendationer & framtida studier.....           | 71 |
| 10. Referenser.....                                   | 74 |
| Appendix.....   | 83 |
| Appendix A - Systembeskrivningar och beräkningar..... | 83 |
| Appendix B - Exkluderade delar av systemgränsen.....  | 87 |
| Appendix C - Tekniska antaganden.....                 | 89 |
| Appendix D – Livscykeldata.....                       | 90 |
| Appendix E - Antaganden och scenarier.....            | 92 |
| Appendix F - Systemdata.....                          | 93 |
| Appendix G - Systemdata.....                          | 93 |

# Förkortningar

FVP - Frånluftsvärmepump

IMD - Individuell mätning och debitering

IKN - Icke-koncessionspliktigt nät

LCA - Livscykelanalys (Life Cycle Assessment)

EPD - Miljövarudeklaration (Environmental Product Declaration)

PV - Solcellssystem (Photovoltaics)

AC - Växelström (Alternating Current)

DC - Likström (Direct Current)

# 1. Inledning

Energigemenskaper har under senare år lyfts fram på EU-nivå som ett verktyg för att påskynda energiomställningen från fossila bränslen till förnybara energikällor, bland annat genom ökad integration av solceller (European Commission, u.å. a). Fastighetssektorn spelar en central roll i denna omställning, då den står för en betydande andel av den totala energianvändningen och därmed har stor potential att bidra till minskad klimatpåverkan genom effektivare energianvändning och lokal energiproduktion (Energimyndigheten, 2024).

I denna studie analyseras en planerad energigemenskap i bostadsområdet Pottugnen & Spjället i Lund, där flera flerbostadshus kopplas samman genom ett icke koncessionspliktigt nät (IKN). Systemet möjliggör lokal produktion, lagring och delning av el mellan byggnader, vilket skapar förutsättningar för att öka användningen av egenproducerad solceller och minska behovet av köpt el från det externa nätet.

Samtidigt innebär införandet av ny teknik, såsom solceller, batterilagring, IMD och IKN, att ytterligare klimatpåverkan uppstår i tillverknings- och installationsskedet. Det är därför inte självklart att mer avancerade energisystem alltid leder till lägre total klimatpåverkan. För att kunna bedöma den faktiska klimatnyttan av energigemenskaper krävs analyser som beaktar både driftrelaterade utsläpp och den inbyggda klimatpåverkan från tekniska komponenter. Mot denna bakgrund syftar studien till att analysera och jämföra klimatpåverkan från olika systemlösningar inom energigemenskapen, med särskilt fokus på hur införandet av nya tekniker så som solceller, batterier, IMD och IKN påverkar systemets totala klimatavtryck.

Genom en systemanalys baserad på livscykeldata undersöks hur klimatpåverkan förändras när systemet utvecklas stegvis från ett konventionellt system till en mer integrerad energigemenskap. Studien bidrar därmed till ökad förståelse för hur lokala energisystem i flerbostadshus kan utformas för att minimera klimatpåverkan, samt vilken roll energigemenskaper kan spela i framtidens hållbara energisystem.

## 1.1 Energigemenskaper - i Sverige och EU

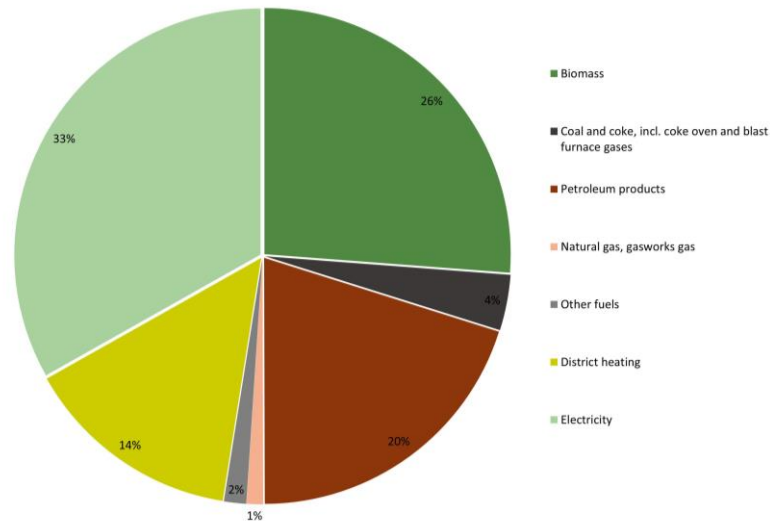
En energigemenskap innebär att närliggande byggnader kopplas samman i ett lokalt energisystem som möjliggör delad produktion, konsumtion och lagring av energi. Genom att använda ett internt nät, ett så kallat icke koncessionspliktigt nät (IKN), kan el delas mellan byggnader utan att passera det publika elnätet. Energigemenskaper kan bidra till ökad flexibilitet i energisystemet, minskad effektbelastning på elsystemet samt förbättrad användning av egenproducerad el (European Commission, u.å. a).

I Sverige skiljer sig förutsättningarna för energigemenskaper från många andra europeiska länder, eftersom det svenska elsystemet redan till stor del är fossilfritt (Energimyndigheten, 2024). Däremot är även energisystemet sammankopplat med omkringliggande länder, där utbyggnation av förnybar energi även kan minska fossil energiproduktion i andra länder. Därmed ligger den potentiella klimatnyttan både i utbyggnation av produktion och effektivare energianvändning.

## 1.2 Energiläget i Sverige

I Sverige och EU genomförs flera åtgärder för att påskynda omställningen till förnybar energi där energigemenskaper utgör ett av flera initiativ. Sveriges energipolitik har som syfte att säkerställa ekologisk hållbarhet samtidigt som konkurrenskraft och försörjningstrygghet behöver upprätthållas. Målet är att senast 2045 uppnå nettonollutsläpp genom ökad användning av fossilfri energi, effektiviseringar och elektrifiering. Samtidigt förändras omvärldsläget, vilket ställer högre krav på självförsörjning och minskat beroende av omvärlden. Den ökade användningen av förnybar energi innebär en förändring i energisystemet, där centraliserad produktion från stora kraftverk ersätts med flera mindre produktionskällor i ett mer decentraliserat energisystem. Detta skapar ett behov av nya nätstrukturer som kan möta ett mer varierande produktionsmönster med väderberoende energikällor. Ökad flexibilitet och egenanvändning av producerad energi är några möjliga åtgärder i omställningen vilket förutsätter anpassningar på systemnivå genom nya regelverk och initiativ (Energimyndigheten, 2025a).

I Figur 1 visas fördelningen av energibärare för den totala slutliga energianvändningen i Sverige 2023. El utgjorde den största andelen av den totala använda energin följt av biobränslen, petroleumprodukter och fjärrvärme. Fossila bränslen, såsom petroleumprodukter, används framförallt inom transportsektorn, som har varit svårare att elektrifiera. Inom bostads- och servicesektorn, som står för ungefär 40 % av Sveriges totala energianvändning, har petroleumprodukter tidigare dominerat men har nu i stor utsträckning ersatts av fjärrvärme, el och biobränslen (Energimyndigheten, 2022 a).



Figur 1: Fördelning av den slutliga energianvändningen i Sverige 2023 (Energimyndigheten, 2025b)

Elproduktionen i Sverige är nästan helt fossilfri där vattenkraft och kärnkraft dominerar samtidigt som andelen förnybar energi ökar. Däremot har en utmaning under de senaste åren varit geografiska skillnader i produktion och konsumtion. Det svenska elsystemet är indelat i fyra elområden (SE1 - SE4), och begränsningar i överföringskapacitet har skapat överskott i norra Sverige, samtidigt som det har varit underskott i elområdena med högre konsumtion i södra Sveirge (Energimyndigheten, 2022 a).

### 1.3 Problemformulering: varför behövs en klimat/systemanalys?

Trots ett ökat intresse och de potentiella fördelarna med energigemenskaper är kunskapen om hur olika tekniska systemlösningar påverkar klimatavtrycket i ett svenskt sammanhang begränsad. Särskilt saknas jämförande analyser som belyser hur klimatavtrycket fördelas mellan olika komponenter och systemnivåer inom en energigemenskap. För att kunna fatta välgrundade beslut kring utformning och investeringar i lokala energisystem krävs därför systemanalyser som kombinerar ett livscykelperspektiv med ett systemperspektiv. Denna studie bidrar genom att kombinera en systemanalys med livscykeldata för samtliga systemkomponenter, vilket möjliggör en mer heltäckande bedömning av klimatpåverkan än tidigare studier.

## 1.4 Syfte

Syftet med examensarbetet är att analysera och jämföra klimatpåverkan från olika systemlösningar i LKF:s fastigheter i Pottugnen och Spjället i Lund, baserat på livscykeldata för ingående tekniska komponenter. Studien syftar även till att öka förståelsen för hur olika komponenter inom en energigemenskap påverkar klimatpåverkan och nyttjandet av egenproducerad solcell.

## 1.5 Frågeställningar

För att uppfylla studiens syfte formuleras följande undersökande frågor:

- Hur skiljer sig klimatavtrycket mellan de studerade systemlösningarna?
- Vilka tekniska komponenter bidrar mest till den totala klimatpåverkan?
- Vid vilken systemnivå uppnås lägst klimatpåverkan per levererad kWh energi?
- Hur påverkas resultaten av antaganden om elmix, energisystem och tekniska komponenter?

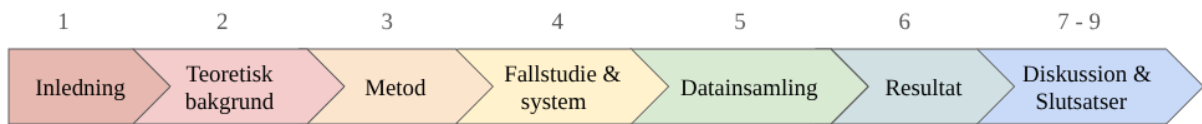
## 1.6 Avgränsningar

Studien avgränsas till att analysera klimatpåverkan uttryckt i koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv) och omfattar inte ekonomiska eller sociala aspekter. Analysen fokuserar på delning av el inom energigemenskapen samt värmeförsörjning via fjärrvärme och frånluftsvärmepump. Byggnadernas stomme och klimatskal ingår inte i studien. Resultaten avser fastigheterna Pottugnen och Spjället i Lund och är inte direkt generaliserbara till andra typer av områden.

## 1.7 Rapportens upplägg

Rapporten är strukturerad enligt följande som beskrivs i Figur 2. Kapitel 2 presenterar den teoretiska bakgrunden och behandlar energigemenskaper, lokala energisystem i flerbostadshus samt tidigare studier om klimatpåverkan från olika energitekniker. Kapitel 3 redogör för studiens metod, inklusive analysram, scenariodesign samt metodik för livscykelanalysen. Kapitlet beskriver även litteratursökningen och hur känslighetsanalysen genomförts. I kapitel 4 presenteras fallstudien Pottugnen och Spjället, där områdets energisystem, energianvändning och centrala antaganden för analysen beskrivs. I kapitel 5 presenteras livscykelinventeringen (LCI) och den datainsamling som ligger till grund för

analysen. Resultaten från livscykelanalysen presenteras i kapitel 6, där klimatpåverkan från de olika scenarierna redovisas och jämförs, inklusive känslighetsanalyser. I kapitel 7 diskuteras resultaten i relation till studiens antaganden, osäkerheter och metodval. Slutligen sammanfattas studiens viktigaste slutsatser i kapitel 8 och rekommendationer samt förslag på framtida arbete presenteras i kapitel 9.



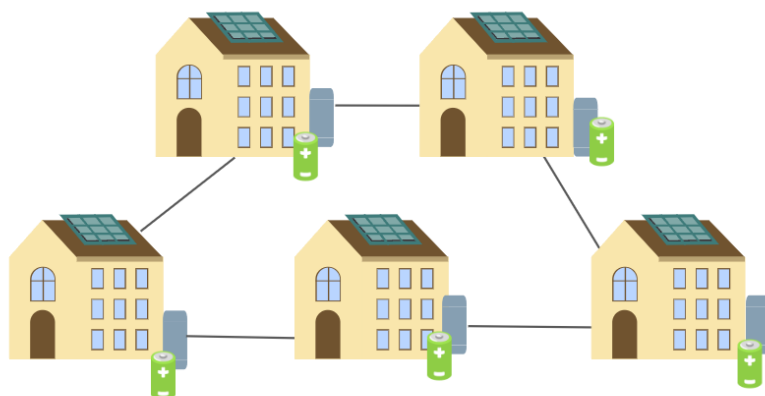
Figur 2: Flödesschema över rapportens upplägg (egen illustration).

## 2. Teoretisk bakgrund

Detta kapitel presenterar den teoretiska bakgrunden som ligger till grund för studien. Centrala begrepp såsom energigemenskaper, lokala energisystem i flerbostadshus och relevanta energitekniker behandlas. Syftet är att skapa förståelse för de tekniska och systemmässiga faktorer som påverkar energisystemets utformning och klimatpåverkan.

### 2.1 Energigemenskaper

Energigemenskaper har de senaste åren fått ökad uppmärksamhet som ett verktyg för att påskynda energiomställningen och stärka lokala energisystem. Inom EU definieras energigemenskaper i lagstiftningen som sammanslutningar där medlemmar gemensamt producerar, konsumerar, lagrar och delar energi, i syfte att skapa miljömässiga, ekonomiska och sociala nyttor. I praktiken innebär detta att närliggande byggnader kopplas samman i lokala energisystem som möjliggör ett mer effektivt utnyttjande av energi, exempelvis genom delning av lokalt producerad solel, vilket illustreras i Figur 3 (Energimyndigheten, 2024).



*Figur 3: Illustration av en energigemenskap (egen illustration).*

Förändringar i svensk lagstiftning har under senare år öppnat upp för delning av el mellan byggnader inom samma eller angränsande fastigheter genom undantag från nätkoncessionskravet för vissa interna lågspänningsnät (RISE Research Institutes of Sweden, u.å.). De potentiella systemnyttorna omfattar även ökad flexibilitet i elsystemet, minskad belastning på överliggande nät och stärkt lokalt engagemang i energiomställningen. Samtidigt betonas att energigemenskaper kan öka användarnas delaktighet i energiomställningen och bidra till mer inkluderande och rättvisa lösningar. Digitala verktyg, lokala initiativ och internationellt kunskapsutbyte anses vara viktiga för att möjliggöra en uppskalning av energigemenskaper (International Energy Agency, 2023).

Samtidigt finns flera utmaningar kopplade till implementering av energigemenskaper. Dessa omfattar bland annat regulatoriska frågor kring nätanslutning, energidelning och ekonomiska incitament, men även tekniska utmaningar relaterade till styrning, lagring och balansering av energiflöden. I Sverige är energigemenskaper fortfarande ett relativt nytt koncept och det saknas i flera fall tydliga regelverk och etablerade affärsmodeller, vilket kan försvåra en bred implementering (Vardanyan, 2025).

Energigemenskaper lyfts samtidigt fram som en möjlighet att öka flexibiliteten i elsystemet, minska belastningen på överliggande nät och stärka lokalt engagemang i energiomställningen. EU:s direktiv om förnybar energi och elmarknadsdirektivet betonar därför vikten av att möjliggöra lokalt deltagande i energisystemet genom så kallade Renewable Energy Communities och Citizen Energy Communities (European Commission, u.å. b).

Fastigheter och flerbostadshus lyfts som särskilt viktiga objekt för utvecklingen av energigemenskaper, eftersom de kombinerar stor energianvändning med goda möjligheter för

lokal produktion och lagring (Energimyndigheten, 2024). Samtidigt finns ett behov av ökad kunskap om hur olika tekniska systemlösningar inom energigemenskaper påverkar det totala klimatavtrycket, särskilt i ett svenskt sammanhang där elsystemet redan har relativt låg klimatpåverkan.

## 2.2 Lokala energisystem i flerbostadshus

Flerbostadshus utgör en central del av energisystemet och står för en betydande andel av den totala energianvändningen. Energianvändningen omfattar både el och värme, där elen kan delas upp i fastighetsel och hushållsel, medan värmebehovet ofta tillgodoses genom fjärrvärme eller värmepumpar (Harter et al., 2023; Beemsterboer, 2019). Traditionellt har energisystem i flerbostadshus varit utformade som separata system per byggnad. I takt med ökad elektrifiering och utbyggnad av lokal förnybar elproduktion har utvecklingen gått mot mer integrerade system där flera byggnader kopplas samman. Detta möjliggör samordning av produktion, lagring och användning av energi, vilket kan bidra till ökad resurseffektivitet (International Energy Agency, 2025).

Lokala energisystem i flerbostadshus kan inkludera tekniker såsom solceller, batterilagring, värmepumpar och interna elnät. Även systemlösningar som IMD påverkar hur energi används och fördelas inom systemet. Forskning visar att det är samspelet mellan dessa tekniker som är avgörande för systemets totala prestanda. Samtidigt medför installation av tekniska komponenter en klimatpåverkan i tillverknings- och installationsskedet, vilket innebär att ökad teknisk komplexitet inte nödvändigtvis leder till minskade utsläpp (Dahiya & Laishram, 2024). En central parameter är graden av egenanvändning av lokalt producerad el, då denna påverkar behovet av energiutbyte med det externa elnätet. Resultaten från klimatanalyser är samtidigt beroende av systemgränser, val av elmix och hur energiflöden allokeras.

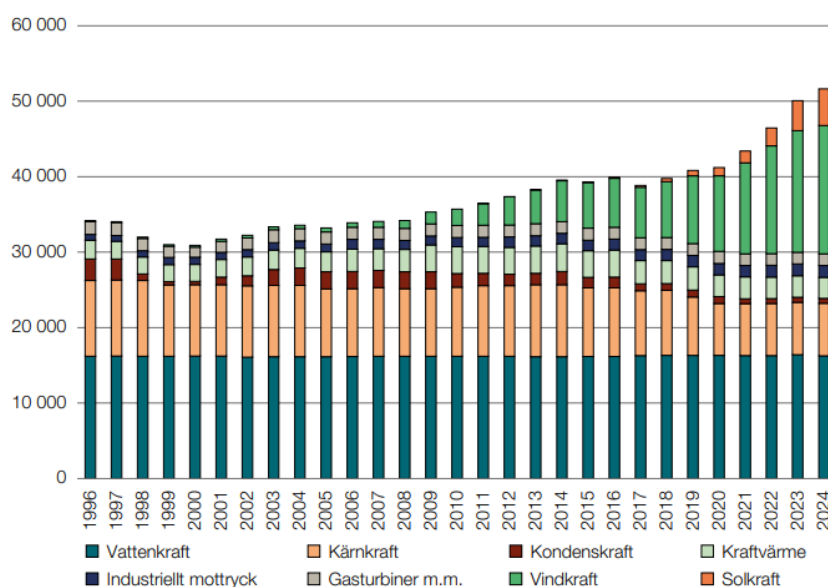
## 2.3 Klimatpåverkan från energisystem och tekniska lösningar i flerbostadshus

Klimatpåverkan från energisystem i flerbostadshus påverkas av både val av energibärare och de tekniska komponenter som ingår i systemet. Utsläpp uppstår dels under driftsfasen genom användning av el och värme, dels i tidigare livscykelsteg såsom produktion, transport och installation av tekniska komponenter (Boverket, 2024 c). I detta avsnitt beskrivs klimatpåverkan från centrala energibärare och tekniker som ingår i studien, med fokus på hur olika val påverkar systemets totala klimatpåverkan.

### 2.3.1 Elanvändning

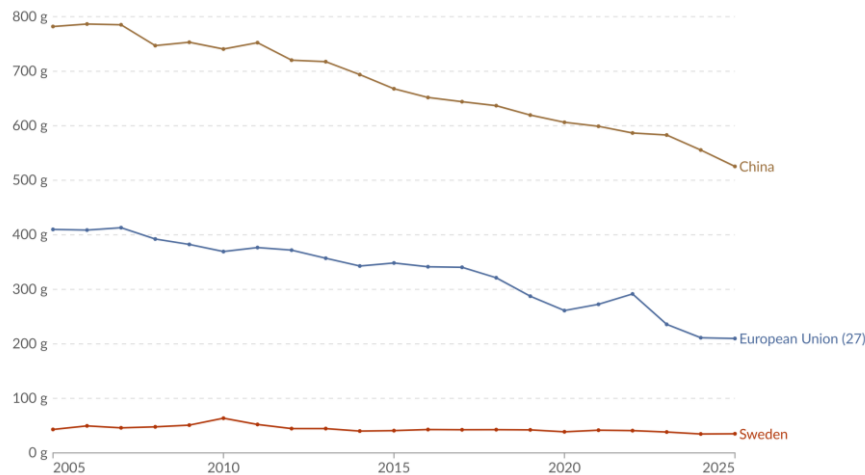
Utsläpp från elproduktion innefattar direkta emissioner vid förbränning samt indirekta emissioner från uppströms processer och nätinfrastruktur. Indirekta emissioner från uppströms processer omfattar exempelvis klimatpåverkan från utvinning av fossila bränslen samt från produktion av infrastruktur för solkraft och vindkraft. Uppförande av elnät och transmissions- och distributionsförluster påverkar även utsläppsintensiteten för elanvändning (Lätt et al., 2019).

I Sverige produceras den största delen av elen från förnybar energi och andelen fossil energi i produktionsmixen är mycket begränsad (Lätt & Nilsson, 2020). År 2024 var 98,5 % av den svenska elproduktionen fossilfri (Energimyndigheten, 2025a). Utvecklingen av det svenska elsystemet visas i Figur 4, där vattenkraft och kärnkraft utgör majoriteten av den svenska elproduktionen följt av vindkraft, biobränslebaserad kraftvärme och solkraft. Däremot skiljer sig produktionen och användningen i de olika delarna i Sverige, och det integrerade internationella elsystemet medför import och export till omgivande länder. I Norden står vattenkraft och kärnkraft för merparten av elproduktionen, medan kraftvärme och elimport från länder utanför Norden orsakar den största delen av klimatpåverkan (Johansson & Sandgren, 2026).



Figur 4: Utveckling av det svenska elsystemet (Energimyndigheten, 2025a)

Den europeiska elmixen har i dagsläget betydligt högre klimatpåverkan än den svenska, men förväntas minska över tid i takt med ökad utbyggnad av förnybar elproduktion (European Environment Agency, 2025). Många produkter tillverkas även i Kina, där elproduktionen är mer kolintensiv och utsläppen högre än i både Europa och Sverige. Detta visas i Figur 5. Fossila bränslen som kol och naturgas utgör den största andelen av elproduktionen i Kina, men andelen solenergi har även ökat under de senaste åren (Our World in Data, 2023).



Figur 5: Emissionsfaktorn för kinesisk, europeisk och svensk elproduktion (Our World in Data, 2026)

Klimatpåverkan från en energiåtgärd kan bedömas utifrån genomsnittsel eller marginalet. Marginalet syftar på den el som har producerats för högsta rörliga kostnaden ur ett kortsiktigt perspektiv, vilket innebär att användningen av denna el minskar först när energibehovet minskar (Lätt et al., 2019). I denna studie används genomsnittliga emissionsfaktorer för el, baserade på uppskattningar för den nordiska användningsmixen under tidsperioden fram till 2050. Genomsnittsel speglar den faktiska produktionen i elsystemet och inkluderar bidrag från samtliga energikällor såsom vattenkraft, kärnkraft, vindkraft, solel, biobränslen och fossila bränslen.

Utvecklingen av framtida marginalet är osäker och kräver timvis information om både marginalet i elsystemet och förändringar i energibehovet. En sådan analys har inte varit möjlig inom ramen för denna studie. Klimatpåverkan analyseras därför främst utifrån genomsnittsel, medan påverkan från marginalet behandlas genom verktyget Tidstegen samt genom genomsnittliga emissionsfaktorer för marginalet år 2025 i känslighetsanalysen. Valet av genomsnittsel motiveras av studiens bokföringsbaserade ansats, där fokus ligger på att fördela klimatpåverkan från den el som används inom systemet. Samtidigt påverkas elanvändningsförändringar ofta av fossileldad produktion med höga rörliga kostnader, vilket innebär att marginalets utsläpp kan skilja sig från genomsnittliga emissionsfaktorer. I

Norden har marginalelen historiskt ofta utgjorts av fossileldad kondenskraft i Danmark, Finland och Tyskland, men variationerna mellan år är stora (Energiföretagen Sverige, 2017).

### 2.3.2 Fjärrvärme

Fjärrvärme är en uppvärmningsform där värme tillvaratas från exempelvis kraftvärmeverk eller restvärme. I kraftvärmeverk produceras både el och värme, där värmen sedan distribueras via fjärrvärmeledning till exempelvis fastigheter. Restvärme innebär att överskottsenergi från industrier och andra verksamheter återvinns (Krafringen, u.å.). Pottugnen och Spjället är anslutna till Krafringens fjärrvärmenät som idag levererar värme till Lomma, Lund och Eslöv.

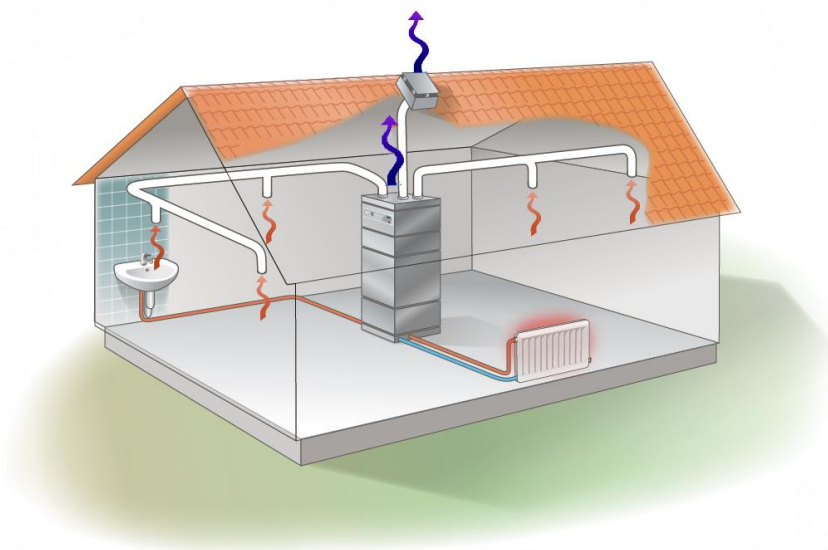
Nätet började byggas ut under 1960-talet för att ersätta lokala värme pannor och utgör idag ett av Sveriges största fjärrvärmenät, med ett årligt värmebehov på omkring 1 TWh. Ungefär hälften av detta värmebehov tillgodoses av kraftvärmeverket i Örtofta. I Örtoftaverket används biobränsle baserat på restprodukter från skogsbruk och skogsindustrin, såsom grenar, toppar och flis, som primärt bränsle (Krafringen, u.å.). Fjärrvärmenätet är även sammankopplat med fjärrvärmenäten i Landskrona och Helsingborg genom samarbetet EVITA, vilket möjliggör ett mer optimerat resursutnyttjande tillsammans med Landskrona Energi och Öresundskraft. I Helsingborg finns dessutom ett avfallskraftvärmeverk som bidrar till fjärrvärmeproduktionen i det sammankopplade systemet. Det finns även en geotermisk anläggning i Gunnesbo som kan tillgodose cirka 25 % av städernas värmebehov. Sammantaget innebär detta att fjärrvärmeproduktionen baseras på flera olika resurser och tekniker utan användning av fossila bränslen, vilket bidrar till systemets låga klimatpåverkan.

Eftersom fjärrvärme produceras från olika energikällor beror klimatpåverkan på vilka produktionsteknologier som används. Fjärrvärmenät i andra områden kan därmed skilja sig betydligt. Några andra exempel på energikällor som används för fjärrvärmeproduktionen är avfallsförbränning, elpannor och värmepumpar som utvinnet värme ur avloppsvatten.

### 2.3.3 Frånluftsvärmepump

Värmepumpar kan minska elanvändningen genom att ta vara på värme från omgivningen och därmed producerar mer värmeenergi än den el som används (Energimyndigheten, u.å.). I Pottugnen och Spjället förväntas däremot elanvändningen öka vid införande av värmepumpar, eftersom fjärrvärme då delvis ersätts. En frånluftsvärmepump (FVP) är en typ av värmepump som tar vara på värme som annars skulle lämna byggnaden, vilket illustreras i Figur 6. Denna typ av uppvärmning kan användas i byggnader med mekanisk ventilation för varmvattenberedning och vattenburna värmesystem. Den används ofta i kombination med andra uppvärmningssystem eller i byggnader med lågt energibehov, eftersom den tillgängliga

ventilationsluften är begränsad. En fördel med frånluftsvärmepumpar är att det är ungefär samma temperatur på inomhusluften hela året, vilket bidrar till en mer effektiv värmeåtervinning (Energimyndigheten, 2022 b).

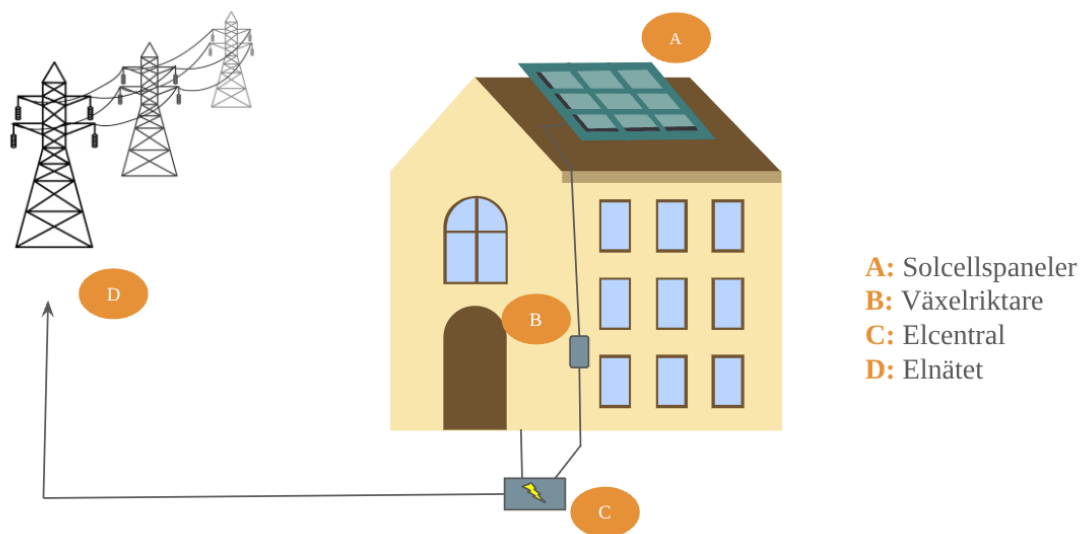


*Figur 6: Illustration av hur en frånluftsvärmepump (FVP) fungerar. Källa: (Effektiv Energi, u.å.), med tillstånd.*

En ackumulatortank kopplas ofta till en FVP för att möjliggöra optimal uppvärmning när behovet uppstår. Uppvärmtd vatten förvaras i en isolerad tank, och därmed kan värmepumpen användas mer effektivt och värmen användas vid rätt tillfälle. Ackumulatortankar kan ge flera fördelar, såsom mer kontinuerlig drift, bättre utnyttjande av överskottsvärme, stabil tillgång till värme samt mer optimal produktion när driften inte behöver anpassas efter behov i lika stor utsträckning (CTC, u.å.).

### 2.3.4 Solceller

En solcellsanläggning består av flera komponenter och inte enbart av de solcellsmoduler som monteras på tak eller fasad. För att systemet ska fungera krävs även växelriktare, monteringsystem, kablar samt anslutning till byggnadens elcentral. Systemet illustreras i Figur 7. Solcellsmodulerna producerar likström (DC), vilken omvandlas till växelström (AC) i växelriktaren så att elen kan användas i byggnaden eller matas ut på elnätet. Anläggningen ansluts till husets elcentral där bland annat säkringar, säkerhetsbrytare och elmätare installeras (Energimyndigheten, 2026 b).



Figur 7: Illustration av ett solcellssystem (egen illustration).

Den vanligaste typen av solcellsmoduler på marknaden idag är baserad på monokristallint kisel. Monokristallina solceller kännetecknas av sin svarta färg och sina rundade hörn. Modulernas verkningsgrad ligger vanligtvis i intervallet 15 - 22 %, vilket innebär att 15 - 22 % av den infallande solinstrålningen omvandlas till elektrisk energi (Energimyndigheten, 2026 b). Den högre verkningsgraden gör att mer el kan produceras per kvadratmeter jämfört med exempelvis tunnfilmsteknik, vilket är särskilt relevant vid begränsad takyta. Beskrivning av specifika egenskaper för modulerna som ska användas i Pottugnen och Spjället finns i Appendix A. Även om modulens verkningsgrad anger hur stor andel av solinstrålningen som omvandlas till likström, uppstår ytterligare förluster i kablar och växelriktare. Därför är systemets totala verkningsgrad lägre än modulens nominella verkningsgrad (Energimyndigheten, 2026 b). Storleken på en solcellsanläggning anges vanligtvis i kilowatt-peak (kWp), vilket motsvarar anläggningens sammanlagda nominella toppeffekt under standardiserade testförhållanden (Wallnér, 2020). kWp används som standardmått vid jämförelse av anläggningar och är relevant både för dimensionering och kostnadsberäkning.

### 2.3.5 Individuell mätning och debitering (IMD)

Individuell mätning och debitering (IMD) innebär att energianvändningen mäts på lägenhetsnivå i flerbostadshus och att kostnaden debiteras individuellt i stället för att ingå i en gemensam hyra eller avgift. Konceptet illustreras i Figur 8. IMD kan tillämpas för värme, tappvarmvatten och el, men regelverken för el skiljer sig mellan dessa tillämpningar (Boverket, 2024 a).

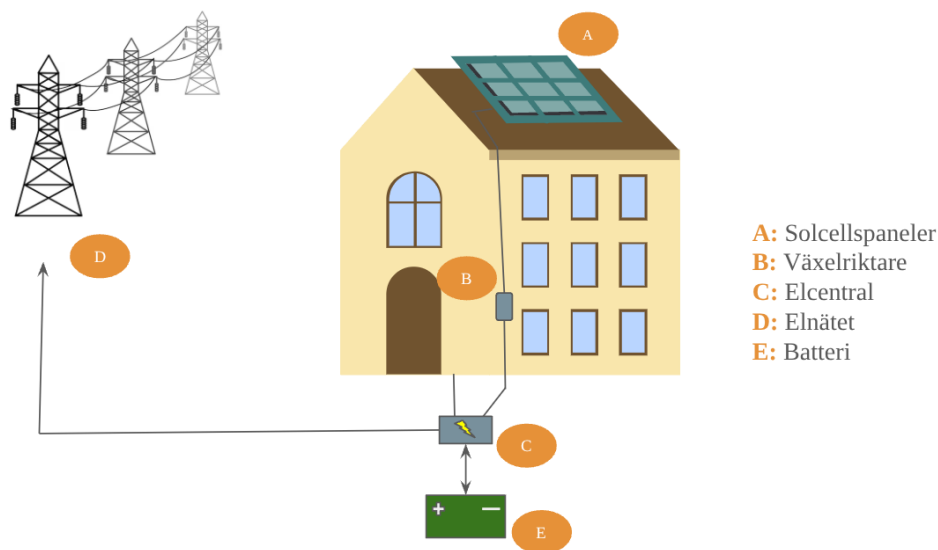


Figur 8: Illustration av IMD. Före IMD har varje boende ett eget elabonnemang, efteråt är det endast fastigheten som har ett abonnemang (egen illustration).

Ur ett energisystemperspektiv är IMD särskilt relevant i kombination med lokal elproduktion, exempelvis solceller. Utan IMD kan egenproducerad solel endast användas för att täcka fastighetsel, medan hushållsel fortsatt köps individuellt av de boende. Med IMD kan däremot både fastighetsel och hushållsel omfattas av samma elabonnemang, vilket möjliggör att en större andel av den lokalt producerade solelen används inom fastigheten. IMD kan därmed öka egenanvändningen av solel och minska behovet av köpt el från det externa elnätet. Införande av IMD innebär ett behov av att installera mätutrustning i varje lägenhet, exempelvis elmätare eller annan mät- och kommunikationsutrustning. Detta medför en viss resursåtgång och klimatpåverkan kopplad till tillverkning och installation av mätarna. I Sverige regleras IMD genom lagstiftning och föreskrifter, men krav gäller främst värme och tappvarmvatten. IMD för el införs i praktiken av fastighetsägare av administrativa, ekonomiska eller energisystemrelaterade skäl (Boverket, 2024 a).

### 2.3.6 Batterier

Användningen av batterier i bostäder förväntas öka de kommande åren till följd av den ökade utbredningen av förnybar energi. Batterier utgör en möjlig lösning för att stabilisera elsystemet när en större del av energiproduktionen består av intermittenta energikällor som sol- och vindkraft. Hur ett batterisystem fungerar illustreras i Figur 9. Eftersom sol- och vindkraft är väderberoende kan batterier användas för att lagra överskottsel och öka flexibiliteten i energisystemet (Gutsch & Leker, 2022).



Figur 9: Illustration av ett batterilagringssystem (egen illustration).

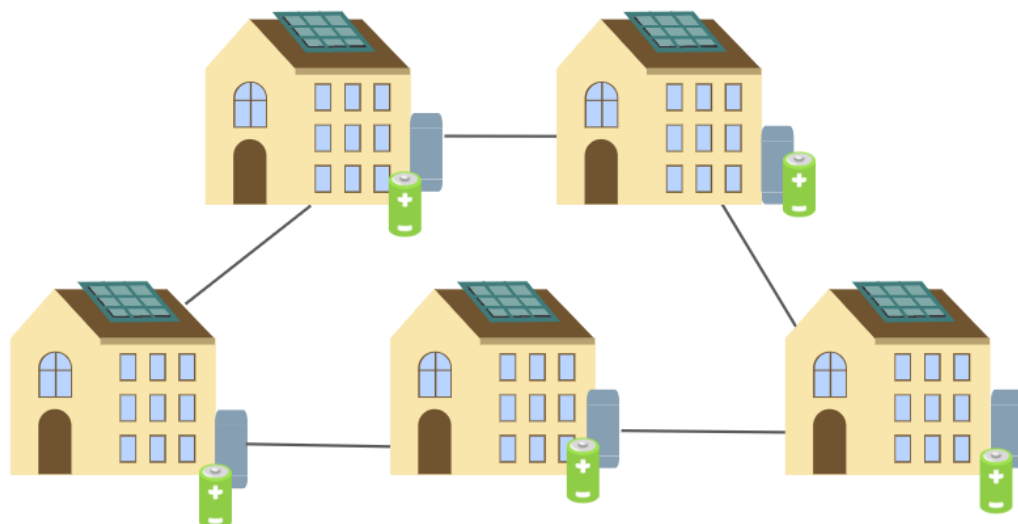
Ett batterilagringssystem inkluderar batterimoduler bestående av battericeller, modulkärl, någon form av övervakningselektronik samt eventuellt något kylsystem. Litiumjonbatterier har blivit den vanligaste teknologin som används i batterilagringssystem idag på grund av fördelaktiga egenskaper såsom hög celleffektivitet, lång livslängd och hög specifik effekt och energitäthet (Gutsch & Leker, 2022). Ett batterilagringssystem innefattar förutom batterimodulen även någon form av systemstyrenhet, kraftelektronik som styr och omvandlar energiflödet, termisk reglering samt kablar och ledningar. Likströmsbatterier som är kopplade till solceller använder oftast samma växelriktare som solcellssystemet (Varlet et al., 2020).

Tillverkningen av batterier omfattar utvinning och raffinering av råmaterial, produktion av batterimaterial samt produktion av celler och batterimoduler. Både utvinningen av metaller och produktionen kräver stora mängder el vilket innebär att elmixen i tillverkningslandet har stor betydelse för klimatpåverkan från batterilagringssystemet. Tidigare studier har visat att klimatpåverkan från batterier påverkas mer av cykelfrekvens, det vill säga antalet laddnings- och urladdningscykler, än batteriets cellsammansättning. Andra faktorer som påverkar klimatpåverkan är användningsgrad, batteriets laddnings- och urladdningshastighet samt temperatur (Varlet et al., 2020).

### 2.3.7 Icke koncessionspliktigt nät (IKN) och delning av el (energigemenskap)

Ett icke-koncessionspliktigt nät (IKN) innebär att starkströmsledningar får byggas utan nätkoncession i vissa specifika fall. IKN-förordningen beskriver undantag från huvudregeln

om nätkoncession och gäller exempelvis interna nät inom ett område med samma innehavare. Detta kan vara mellan fastigheter, energilagringssystem eller produktionskällor såsom solcellsanläggningar (Energimarknadsinspektionen, 2023). På senare år har regelverket även öppnat upp för ökade möjligheter att dela el mellan byggnader och fastighetsägare inom lokala energisystem och energigemenskaper, under förutsättning att vissa krav uppfylls, exempelvis avseende geografisk närhet och nätets utformning. Vid införandet av IKN installeras växelströms- och likströmsledningar tillsammans med energiroutrar och fiberkablar. Konceptet illustreras i Figur 10.



*Figur 10: De svarta strecken illustrerar hur byggnaderna kopplas ihop i ett icke koncessionspliktigt nät (IKN) (egen illustration).*

Energiroutrar kan beskrivas som samordnande enheter i det interna nätet, med funktionen att styra flödet av el mellan solcellssystem, batterier och fastigheter. En energirouter består av ett rackskåp med bland annat växelriktare. Routern fungerar som en central styr- och omvandlingsenhet i det lokala energisystemet. Den möjliggör koppling mellan olika energikällor och laster genom att hantera både likström (DC) och växelström (AC), samt omvandla energi mellan dessa vid behov (Brattström Mathiesen & Nyzell, 2026). Routern har även en styrfunktion där energiflöden optimeras baserat på aktuell produktion och efterfrågan. Exempelvis kan egenproducerad solex prioriteras för lokal användning, lagras i batterier eller delas mellan byggnader innan eventuell överskottsel exporteras till det överliggande elnätet. På motsvarande sätt kan el importeras från det överliggande elnätet vid underskott. Detta kan bidra till ökad egenanvändning av lokalt producerad el samt en mer effektiv drift av energigemenskapen.

## 2.4 Tidigare studier om klimatpåverkan från energisystem

En relevant tidigare studie för detta examensarbete är *Energigemenskaper i praktiken: En fallstudie av projekt Beta i Lund*. Studien fungerar som en förstudie till den energigemenskap som utvecklas av LKF och som analyseras i föreliggande arbete. Rapporten beskriver hur byggnader kopplas samman genom ett icke koncessionspliktigt nät (IKN) och hur energiroutrar används för att möjliggöra lokal energidelning mellan byggnader (Brattström Mathiesen & Nyzell, 2026). Studien är särskilt relevant eftersom den beskriver den tekniska och praktiska kontext som ligger till grund för den energigemenskap som analyseras i detta arbete. Däremot kvantifierar den inte klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv. Föreliggande studie bygger därför vidare på denna systemförståelse genom att analysera hur olika tekniska lösningar påverkar klimatpåverkan.

## 2.5 Tidstegen

IVL har utvecklat verktyget Tidstegen för att analysera hur förändrad energianvändning i byggnader påverkar klimatutsläpp under driftfasen. Metoden är framåtblickande och tar hänsyn till både när energi används eller produceras och hur energisystemet utvecklas över tid. Detta skiljer sig från traditionella livscykelanalytiska metoder, som ofta baseras på årsgenomsnitt och historiska data. I detta examensarbete används Tidstegen som jämförelse för att sätta studiens resultat i ett bredare systemperspektiv. Tidstegen baseras på en framåtblickande konsekvensanalys med fokus på marginalel, medan föreliggande studie utgår från en framåtblickande bokföringsbaserad ansats med genomsnittlig användningsmix. Eftersom Tidstegen endast inkluderar livscykelperspektivet för elproducerande tekniker, medan denna studie omfattar samtliga systemkomponenter, är resultaten inte direkt jämförbara. Jämförelsen används därför främst som ett kvalitativt stöd i analys och diskussion.

# 3. Metod

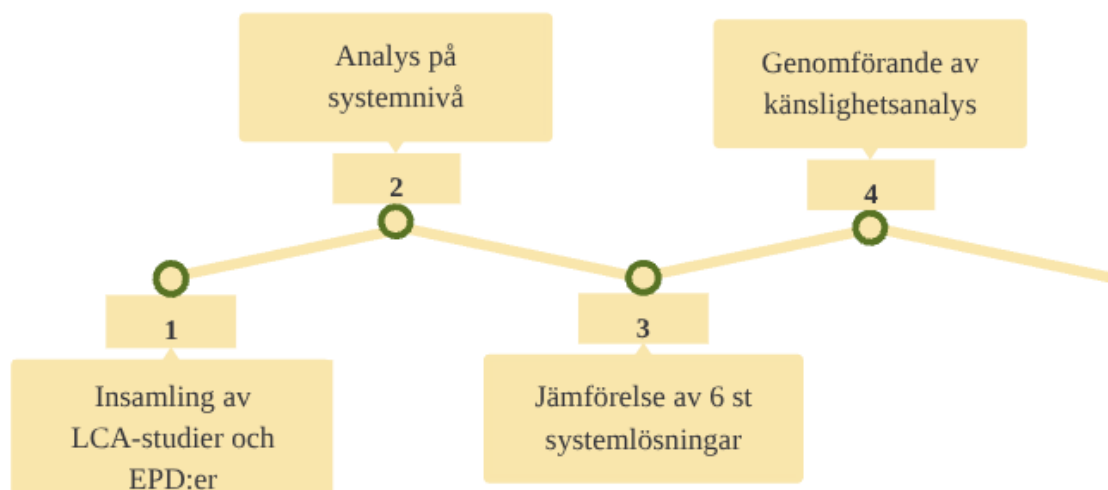
I detta kapitel beskrivs den metod som används för att genomföra studien. Kapitlet omfattar analysram, scenariodesign samt metodik för livscykelanalysen. Vidare redogörs för datainsamling samt hur osäkerheter hanteras genom känslighetsanalys.

## 3.1 Metodöversikt

Detta examensarbete genomförs som en jämförande systemanalys baserad på livscykeldata, med syfte att analysera klimatpåverkan från olika tekniska systemlösningar inom en

energigemenskap. Studien utgör inte en fullständig livscykelanalys enligt ISO 14040/44, utan baseras på sekundärdata från EPD:er och databaser för att uppskatta klimatpåverkan från systemets ingående komponenter. Analysen omfattar ett referensscenario samt ett antal alternativa systemlösningar där tekniska komponenter adderas stegvis. Energianvändning och energiproduktion har beräknats för respektive scenario i ett tidigare projekt och används som indata i analysen. En översiktlig beskrivning av metodens upplägg presenteras i Figur 11. Resultaten uttrycks som klimatpåverkan i ton CO<sub>2</sub>-ekv per år samt per levererad energienhet (g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh levererad energi), vilket möjliggör jämförelse mellan systemlösningarna.

De analyserade systemlösningarna i studien utgör studiebaserade scenarier framtagna för att möjliggöra jämförelser mellan olika tekniska systemnivåer och ska inte tolkas som beslutade eller projekterade lösningar för området. Dimensionering och teknisk utformning kan därför komma att avvika från de lösningar som slutligen implementeras i energigemenskapen i Pottugnen och Spjället.

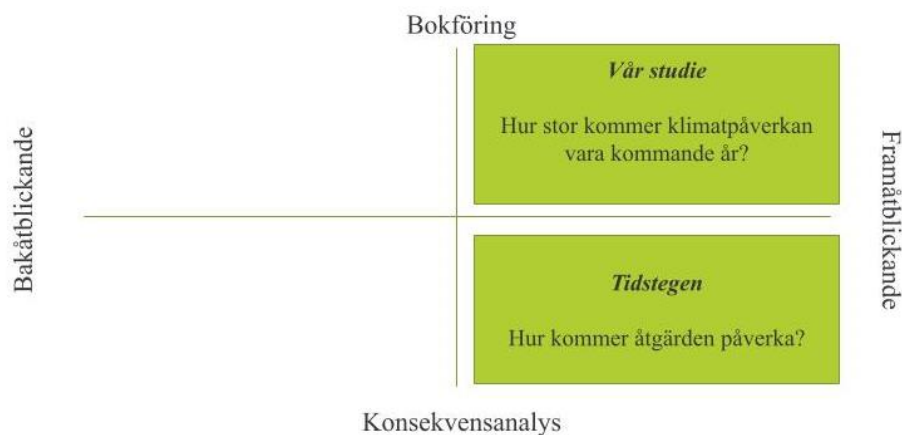


Figur 11: Översiktlig bild av metoden (egen illustration).

## 3.2 Analysram

Miljövärdering av el kan delas in i bokföringsansatser och konsekvensanalyser samt i framåtblickande och bakåtblickande perspektiv, vilket illustreras i Figur 12. En konsekvensanalys används för att analysera effekterna av förändrad energianvändning, medan en bokföringsansats fördelar emissioner och resursanvändning mellan olika aktörer och funktioner. Ett framåtblickande perspektiv är fördelaktigt när framtida effekter av energiåtgärder ska analyseras, eftersom det tar hänsyn till hur energimarknaden kan förändras

över tid. Samtidigt är informationen mer begränsad, och det finns flera osäkerheter kring hur utvecklingen kommer att se ut under de närmaste åren (Lätt et al., 2019).



Figur 12: Olika perspektiv för att analysera klimatpåverkan från el (egen illustration).

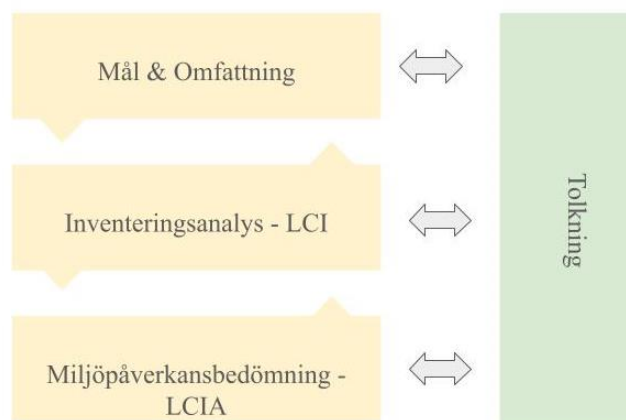
I denna studie analyseras scenarier för el utifrån ett nordeuropeiskt perspektiv i grundresultatet, och ett genomsnittligt värde för emissionsfaktorn beräknas för perioden fram till 2050. I känslighetsanalyserna analyseras även resultatet utifrån senaste användningsmixen i Norden (2023), samt en uppskattad genomsnittlig europeisk användningsmix fram till 2050. Informationen om utvecklingen av marginaler i Nordeuropa och Europa är begränsad, och därför analyseras i stället genomsnittliga emissionsfaktorer. Effekten av att använda marginaler undersöks genom en känslighetsanalys med genomsnittlig marginaler 2025, samt kvalitativt med verktyget Tidstegen (Lätt et al., 2019).

### 3.3 Scenariodesign

Scenariodesignen i studien bygger på en stegvis uppbyggnad där tekniska komponenter adderas successivt till olika system. Syftet är att möjliggöra analys av den marginella effekten av varje enskild komponent samt av komponenternas samverkan på systemnivå. De definierade scenarierna omfattar ett referensfall och fem systemlösningar med ökande grad av systemintegration. Den konkreta utformningen av scenarierna i fallstudien beskrivs i kapitel 4.5.

### 3.4 Livscykelanalys

Livscykelanalys (Life Cycle Assessment, LCA) är en etablerad metod för att bedöma miljö- eller klimatpåverkan från produkter, tekniska system eller byggnader ur ett helhetsperspektiv (Boverket, 2024 c). Figur 13 visar huvuddelarna i en LCA.



Figur 13: Ramverket för en livscykelanalys enligt ISO 14040 (egen illustration).

#### LCA i bygg- och fastighetssektorn

Metoden syftar till att kvantifiera klimatpåverkan genom hela livscykeln, från utvinning av naturresurser och produktion av material, via användning och drift, till slutlig hantering vid rivning, återvinning eller deponi. Genom att inkludera samtliga livscykelsteg möjliggör LCA en identifiering av var i livscykeln den största klimatpåverkan uppstår, vilket skapar underlag för mer välgrundade och hållbara beslut (Boverket, 2024 c). Inom bygg- och fastighetssektorn används LCA för att analysera både byggnadens inbyggda klimatpåverkan, som uppstår vid produktion och uppförande, samt påverkan från drift och underhåll under användningsfasen. Historiskt har driftsfasens energianvändning ofta dominerat klimatpåverkan från byggnader. I takt med att byggnader blivit mer energieffektiva och energisystemen i allt högre grad baseras på förnybara energikällor, har dock den relativa betydelsen av material- och byggskedet ökat. Detta innebär att val av tekniska lösningar och material får allt större betydelse för byggnaders totala klimatpåverkan. En styrka med LCA är att metoden kan användas redan i tidiga skeden av planering och projektering. Genom att tillämpa LCA tidigt skapas större möjlighet att jämföra alternativa tekniska lösningar, materialval och systemutformningar innan beslut låses fast. På så sätt kan klimatpåverkan minskas mer kostnadseffektivt än om förändringar genomförs sent i byggprocessen (Boverket, 2024 c).

## Livscykelns faser och struktur

För att strukturera analysen och underlätta tolkningen av resultaten delas en byggnads livscykel in i olika skeden och informationsmoduler, vilka presenteras i Figur 14. Enligt europeisk standard delas livscykeln vanligtvis in i byggskedet, användningsskedet och slutskedet. Byggskedet omfattar både produktion av byggprodukter och själva byggprocessen. Användningsskedet inkluderar drift, energianvändning, underhåll och eventuella reparationer under byggnadens livslängd. Slutskedet avser de processer som sker när byggnaden tas ur bruk, exempelvis rivning, transport av material samt återanvändning, återvinning eller deponering. D-modulen avser potentiella miljöeffekter utanför den studerade systemgränsen, såsom när en produkt ersätter en annan i det omgivande systemet (Boverket, 2024 c).

| Byggskede         |           |              |           |                        | Användningsskede |           |            |        |           |              |                          | Slutskede            |           |                       |               |                           |
|-------------------|-----------|--------------|-----------|------------------------|------------------|-----------|------------|--------|-----------|--------------|--------------------------|----------------------|-----------|-----------------------|---------------|---------------------------|
| A1                | A2        | A3           | A4        | A5                     | B1               | B2        | B3         | B4     | B5        | B6           | B7                       | C1                   | C2        | C3                    | C4            | D                         |
| Råvaruförsörjning | Transport | Tillverkning | Transport | Bygg- och installation | Användning       | Underhåll | Reparation | Utbyte | Ombyggnad | Driftsenergi | Vattenanvändning (drift) | Demontering, rivning | Transport | Restproduktbehandling | Bortskaffning | Fördelar utanför systemgr |

Figur 14: De olika faserna i en produkts livscykel (egen illustration).

Indelningen i skeden och sektioner möjliggör en enhetlig redovisning av LCA-resultat och gör det lättare att jämföra olika studier och tekniska lösningar. Indelningen bidrar även till ökad transparens, då det tydligt framgår vilka delar av livscykeln som ingår i analysen och vilka som eventuellt har avgränsats bort. En LCA kan omfatta flera olika miljöpåverkanskategorier, exempelvis klimatpåverkan, försurning, övergödning och resursutarmning. I många tillämpningar, särskilt inom klimat- och energirelaterade studier, väljs dock klimatpåverkan som huvudfokus. Resultaten uttrycks då vanligtvis i koldioxidekvivalenter (kg CO<sub>2</sub>-ekv), vilket möjliggör jämförelser mellan olika systemlösningar och tekniska alternativ (Boverket, 2024 c).

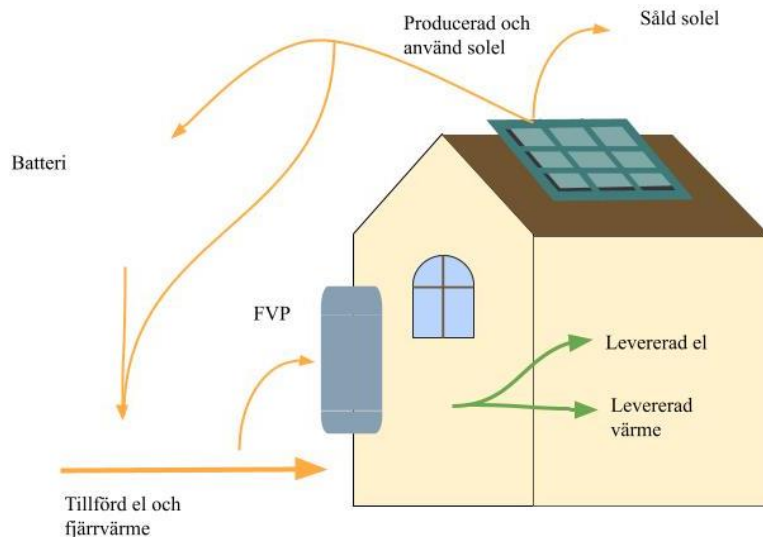
### *Klimatpåverkan och datakällor*

Klimatpåverkan i studien uttrycks som Global Warming Potential över 100 år (GWP100), vilket är ett standardiserat mått för bidrag till global uppvärmning uttryckt i koldioxidekvivalenter (CO<sub>2</sub>-ekv). Koldioxidekvivalenter innebär samtliga växthusgaser, där klimatpåverkan från övriga gaser omvandlas till motsvarande påverkan för koldioxid. Metan har exempelvis fyra gånger högre uppvärmningspotential och därmed motsvarar 1 ton metan 25 ton CO<sub>2</sub>-ekv. Livscykeldata i de insamlade källorna är också uttryckt enligt detta mått (Boverket, 2024 b).

Environmental Product Declarations (EPD) är tredjepartsgranskade miljövarudeklarationer som baseras på livscykelanalys och används för att kvantifiera klimatpåverkan från specifika produkter och tekniska system (Boverket, 2018). Majoriteten av den insamlade livscykeldata är hämtad från miljövarudeklarationer.

#### 3.4.1 Funktionell enhet

Den funktionella enheten i studien är 1 kWh levererad energi, det vill säga 1 kWh levererad el och värme enligt Figur 15. Resultaten presenteras även som total klimatpåverkan (ton CO<sub>2</sub>-ekv/år) för fallstudien Pottugnen och Spjället. Den funktionella enheten baseras på att samtliga systemlösningar uppfyller samma energibehov för el och värme inom området, vilket möjliggör jämförbarhet mellan scenarierna. Däremot skiljer sig den tillförda energin i de olika systemlösningarna eftersom frånluftsvärmepumparna omvandlar tillförd elenergi till en större mängd värmeenergi. Installation av solceller kan även ge upphov till exporterad solexel som används utanför systemet. Hur detta hanteras beskrivs i avsnitt 3.4.4. Den funktionella enheten på 1 kWh fördelas på 68 % värme och 32 % el. Detta har beräknats utifrån referensfallet, där tillförd och levererad energi sammanfaller.



Figur 15: Illustration över energiflödet till byggnaderna. Gröna pilar visar energibehovet, dvs. levererad energi, medan orangea pilar motsvarar tillförd energi till byggnaderna (egen illustration).

### 3.4.2 Systemgräns

Systemgränsen omfattar energisystemet inom det studerade området samt exporterad solexel till elnätet. Klimatpåverkan från både driftenergi och tekniska komponenter inkluderas, där tillverkningsfasen för komponenter baseras på LCA-data från EPD:er och databaser. Byggnadernas stomme och byggnadsintegrerade energilösningar ingår inte inom systemgränsen, i enlighet med studiens avgränsningar. Med integrerade energilösningar avses exempelvis vattenburna värmesystem och elledningar som ingår i samtliga systemlösningar. Export av el till det externa elnätet inkluderas i analysen genom en klimatkredit (se avsnitt 3.4.4).

#### *Exkluderat*

För att tydliggöra studiens avgränsningar har vissa delar exkluderats ur systemgränsen. Studien omfattar hela livscykeln för de ingående tekniska komponenterna, från produktion och installation till användning och slutskede. Exkluderingsarna har gjorts utifrån studiens syfte samt behovet av jämförbarhet mellan systemlösningarna, med fokus på de komponenter och processer som bedöms ha störst betydelse för den totala klimatpåverkan.

Övergripande exkluderas byggnadsrelaterade aspekter såsom konstruktion, anpassningar och underhåll, eftersom dessa inte påverkas av de studerade systemlösningarna och varierar mellan projekt. Även befintlig infrastruktur, såsom elcentraler och transformatorer, inkluderas inte, eftersom dessa antas vara konstanta mellan scenarierna. Vidare exkluderas

delar av livscykeln som bedöms ha begränsad påverkan på resultaten eller som inte konsekvent inkluderas i tillgängliga livscykeldata, exempelvis transport av mindre komponenter, förpackningar samt infrastruktur kopplad till tillverkningsprocesser.

På komponentnivå exkluderas mindre installationselement med marginell klimatpåverkan, såsom vissa kablage, liksom degradering av solceller och batterier i den kvantitativa analysen. Degradering behandlas i stället kvalitativt i diskussionskapitlet, då en inkludering skulle kräva en mer omfattande tidsupplöst modellering över systemets livslängd.

Slutligen inkluderas inte beteendeförändringar eller ekonomiska och marknadsmässiga effekter i analysen. Energibehovet antas vara konstant mellan scenarierna för att möjliggöra jämförbarhet, och studien är avgränsad till att analysera klimatpåverkan. En fullständig sammanställning av samtliga exkluderade aspekter och tillhörande motiveringar återfinns i Appendix B.

### 3.4.3 Tidsperiod

Analysen genomförs för ett representativt normalår av energianvändning och energiproduktion i området. Klimatpåverkan från tekniska komponenter fördelas över respektive komponents livslängd för att erhålla ett årligt klimatbidrag. För att fånga framtida utveckling av energisystemet används emissionsfaktorer baserade på scenarier fram till år 2050, uttryckta som ett genomsnitt för perioden.

### 3.4.4 Allokering och systemutvidgning

I denna studie antas allokering vara korrekt genomförd i de EPD:er och klimatrappporter som används som datakällor. Allokering innebär att klimatpåverkan fördelas mellan flera funktioner eller produkter inom samma process, exempelvis vid kraftvärmeproduktion där utsläpp fördelas mellan el och värme, eller vid värmeåtervinning i avfallsbehandling.

I denna studie hanteras exporterad solel genom systemutvidgning, där den el som matas ut på det publika elnätet antas ersätta annan elproduktion. Denna substitution ger upphov till en klimatkredit, som inkluderas i analysen. Krediteringen baseras på antaganden om genomsnittlig elmix, i linje med studiens bokföringsbaserade metodansats. Genom att tillämpa systemutvidgning undviks behovet av att fördela klimatpåverkan mellan olika funktioner inom systemet. Istället analyseras energisystemet som en helhet, där både direkta utsläpp och indirekta effekter från exporterad energi inkluderas.

## 3.5 Datainsamling och källor

Data till studien har samlats in från vetenskaplig litteratur, livscykeldatabaser och miljövarudeklarationer (EPD:er). Fokus har legat på att identifiera klimatdata för de tekniska komponenter som ingår i energisystemet samt relevanta antaganden om livslängd och systemprestanda. Datainsamlingen har genomförts med utgångspunkt i de studerade systemlösningarna, där teknikspecifika sökord har kombinerats med livscykelrelaterade begrepp. Vid avsaknad av specifika data har proxydata från likvärdiga tekniker använts. En detaljerad sammanställning av använda datakällor presenteras i kapitel 5.1. Urvalet av källor baseras på följande kriterier:

- Publicerade inom de senaste 5 - 10 åren
- Tydligt redovisad systemgräns och funktionell enhet
- Relevans för europeiska och, i första hand, nordiska förhållanden
- Tydliga antaganden kring livslängd, verkningsgrad och energimix

## 3.6 Känslighetsanalys

I studien genomförs en känslighetsanalys för att undersöka hur robusta resultaten är i förhållande till centrala antaganden och val av indata. Valet av analyserade parametrar baseras på identifierade klimatmässiga hotspots, det vill säga de komponenter och antaganden som bidrar mest till den totala klimatpåverkan. Ett flertal känslighetsanalyser genomförs, men endast de som uppvisar en tydlig påverkan på resultaten redovisas i resultatkapitlet. Särskilt fokus läggs på emissionsfaktorer för el och fjärrvärme, då dessa har stor betydelse för systemens totala klimatpåverkan. Känslighetsanalysen utförs som en så kallad enparameteranalys, där en parameter i taget varieras medan övriga hålls konstanta. Detta möjliggör en isolerad analys av respektive parameters inverkan på resultaten.

# 4. Fallstudie & Systembeskrivning

Detta kapitel presenterar den fallstudie som ligger till grund för analysen samt de antaganden och systemlösningar som ingår i studien. Syftet är att beskriva det studerade området, dess energisystem och de scenarier som analyseras.

## 4.1 Områdesbeskrivning

Pottugnen och Spjället är två angränsande bostadskvarter i stadsdelen Väster i Lund. Området består av totalt 278 lägenheter fördelade på tio flerbostadshus i tre till fyra våningar.

Byggnaderna uppfördes år 1963 och genomgick en omfattande renovering 1993. I samband med renoveringen ersattes de ursprungliga platta taken med sadeltak och balkongerna glasades in. Ett mindre antal lägenheter har uteplats i markplan, medan övriga lägenheter har balkong. Husen saknar hiss, vilket är typiskt för flerbostadshus från denna tidsperiod (LKF AB, u.å.). En överblick över området visas i Figur 16.



Figur 16: Områdesbeskrivning av Pottugnen och Spjället (LKF AB, u.å.), med tillstånd.

## 4.2 Befintligt energisystem

Pottugnen och Spjället är i nuläget anslutna till det publika elnätet och fjärrvärmenätet. Fjärrvärmens används för uppvärmning av byggnaderna och för tappvarmvatten, medan all elanvändning för fastighetsel och hushållsel täcks genom köpt el från elnätet. Varje lägenhet har i dagsläget ett eget elnätsabonnemang, vilket innebär att ingen lokal samordning eller delning av el förekommer, vare sig mellan lägenheter och mellan byggnader. Det befintliga systemet saknar lokal elproduktion, energilagring och intern eldelning. Analysen av energianvändningen i Pottugnen och Spjället baseras på timupplösta data för fjärrvärme och el. För att möjliggöra jämförbarhet mellan systemlösningarna har ett antal antaganden gjorts. Dessa antaganden har tagits fram utifrån litteratur, tillgängliga data samt dialog med LKF och Kraftringen, och bedöms vara rimliga i studiens kontext.

## 4.3 Energianvändning

Energianvändningen i området Pottugnen och Spjället utgörs av både elanvändning och värmeanvändning, vilka tillsammans definierar det energibehov som ska tillgodoses i de analyserade systemlösningarna. Energitillbehovet antas vara detsamma i samtliga scenarier för att möjliggöra en jämförbar analys av klimatpåverkan mellan systemen. Den totala årliga energianvändningen uppgår till cirka 2,5 GWh, varav värme står för den största andelen. Värmeanvändningen uppgår till 1 725 MWh per år, vilket motsvarar cirka 68 % av det totala energibehovet. Elanvändningen uppgår till 809 MWh per år, vilket motsvarar cirka 32 %. Elanvändningen kan vidare delas in i fastighetsel och hushållsel, där fastighetsel avser el för gemensamma funktioner såsom belysning, ventilation och tekniska installationer, medan hushållsel avser de boendes individuella elanvändning.

## 4.4 Antaganden

I samtliga systemval antas den totala energianvändningen i byggnaderna vara konstant, vilket innebär att förändringar i köpt el och fjärrvärme enbart beror på införandet av nya tekniska komponenter och inte på förändrad efterfrågan.

Utan individuell mätning och debitering (IMD) antas endast fastighetsel kunna täckas av lokalt producerad solel. Med IMD antas både fastighetsel och hushållsel kunna täckas av solel inom respektive byggnad. I Tidstegen inkluderas både fastighetsel och hushållsel i elanvändningen för samtliga systemval, men andelen solel som kan användas internt varierar beroende på om IMD införs eller inte. Solelsproduktionen baseras på en sammanställd simulering som representerar ett normalår för Lund.

Tekniska system och komponenter som ingår i referensfallet och därmed återfinns i samtliga studerade systemlösningar inkluderas inte i jämförelsen av klimatpåverkan mellan scenarierna. Detta motiveras av att dessa inte bidrar till någon skillnad mellan systemen och därmed inte påverkar den relativa jämförelsen. Exempel på sådana system är ventilationssystem och fjärrvärmecentraler. Mer utförliga antaganden för systemen finns beskrivna i Appendix A.

## 4.5 Scenariodesign

I detta avsnitt konkretiseras de scenarier som definierats i metodkapitlet genom att beskriva hur respektive systemlösning implementeras i fallstudien Pottugnen och Spjället. Fokus ligger på hur energiflöden och systemgränser förändras mellan scenarierna när ytterligare tekniska komponenter införs. De olika scenarierna presenteras i avsnitt 4.5.1 - 4.5.6 och

illustreras med schematiska processträd. Scenarierna är uppbyggda stegvis, där varje nytt systemval bygger vidare på föregående, vilket möjliggör analys av den marginella effekten av varje tillkommande komponent. Det är endast systemval 5 som utgör en energigemenskap, övriga systemval är endast steg dit. En översikt av de studerade scenarierna ges i Tabell 1.

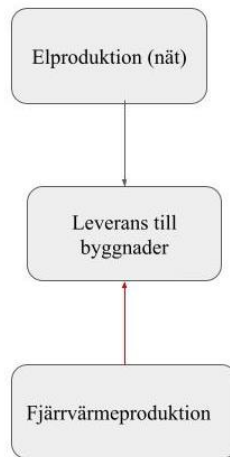
Tabell 1: Översikt av studerade scenarier.

| Scenario    | Tekniker                | Huvudeffekt   |
|-------------|-------------------------|---|
| Referens    | El + fjärrvärme         | Basfall utan lokal produktion eller flexibilitet                  |
| S1: FVP     | + Frånluftsvärmepump    | Delvis ersättning av fjärrvärme med eldriven värme                |
| S2: Solel   | + Solceller             | Lokal elproduktion som minskar köpt el (begränsad egenanvändning) |
| S3: IMD     | + IMD                   | Ökad egenanvändning av solel inom byggnad                         |
| S4: Batteri | + Batteri               | Tidsförskjutning av el → högre egenanvändning                     |
| S5: IKN     | + IKN (energigemenskap) | Delning av el mellan byggnader → ökad systemoptimering            |

#### 4.5.1 Referensscenario

Referensscenariot (Figur 17) representerar ett konventionellt energisystem utan lokal elproduktion, energilagring eller delning av el. Uppvärmning sker via fjärrvärme genom primäranslutning till respektive fastighet, och tappvarmvatten tillgodoses på samma sätt. All elanvändning, både fastighetsel och hushållsel, täcks av inköp från det publika elnätet. Varje lägenhet har ett eget elnätsabonnemang, vilket innebär att elanvändningen är uppdelad på individnivå och att ingen samordning av elanvändningen sker inom byggnaden.

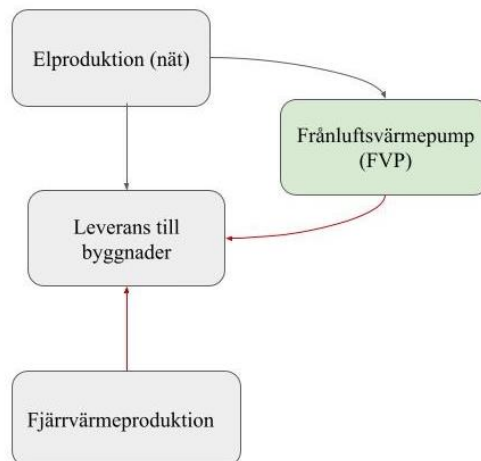
Referensscenariot utgör en jämförelsepunkt för att utvärdera hur införandet av olika tekniska lösningar påverkar energiflöden och klimatpåverkan.



Figur 17: Referensscenariot. Svarta pilar illustrerar el och röda pilar illustrerar värme (egen illustration).

#### 4.5.2 Systemval 1: Frånluftsvärmepump (FVP)

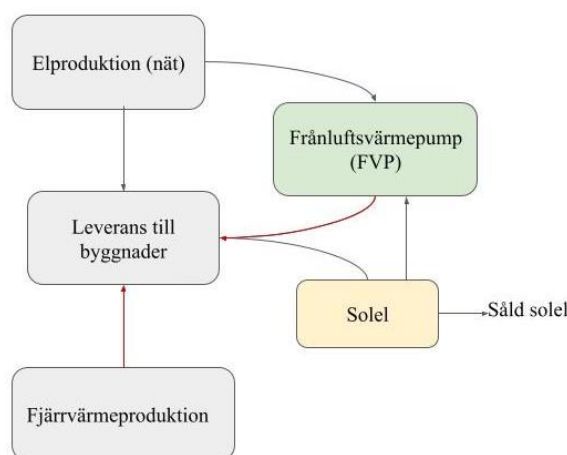
I scenario 1 (Figur 18) kompletteras referenssystemet med en frånluftsvärmepump som återvinner värme ur ventilationsluften och bidrar till uppvärmningen av byggnaderna. Införandet av FVP innebär en omfördelning av energibehovet där en del av fjärrvärmebehovet ersätts av eldriven värmeproduktion. Den återstående värmeleveransen sker via fjärrvärme, som även fungerar som spets- och reservvärmekälla. Tappvarmvatten tillgodoses fortsatt av fjärrvärme. Systemet saknar fortfarande lokal elproduktion och energidelning, vilket innebär att all elanvändning fortsatt täcks av inköp från elnätet.



Figur 18: Systemval 1 med frånluftsvärmepump (egen illustration).

### 4.5.3 Systemval 2: Solel

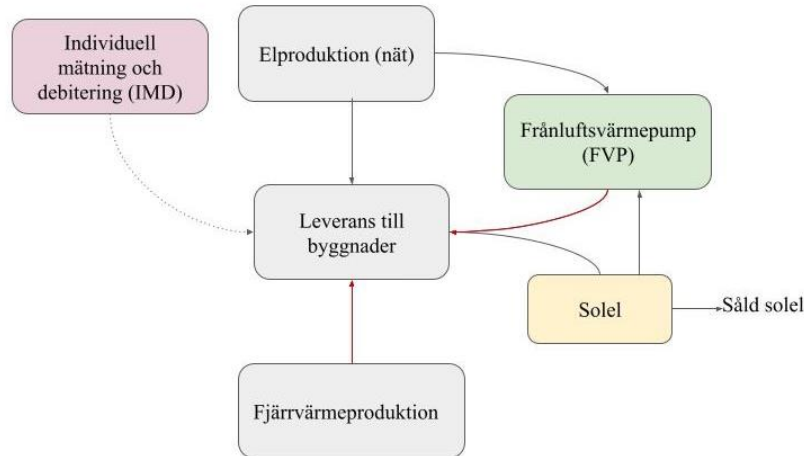
Scenario 2 (Figur 19) bygger vidare på scenario 1 genom att lokal elproduktion introduceras via solcellsanläggningar på byggnadernas tak. Den producerade solelen används i detta scenario enbart för att täcka fastighetsel, inklusive drift av tekniska system såsom frånluftsvärmepumpen. Hushållselen påverkas inte, eftersom varje lägenhet fortsatt har ett separat elnäsabonnemang. När produktionen överstiger fastighetselbehovet exporteras överskottselen till det publika elnätet. Detta innebär att egenanvändningen av solel blir begränsad, vilket påverkar hur stor andel av den lokala produktionen som faktiskt bidrar till att minska inköpt el.



Figur 19: Systemval 2 med solel (egen illustration).

### 4.5.4 Systemval 3: Individuell mätning och debitering (IMD)

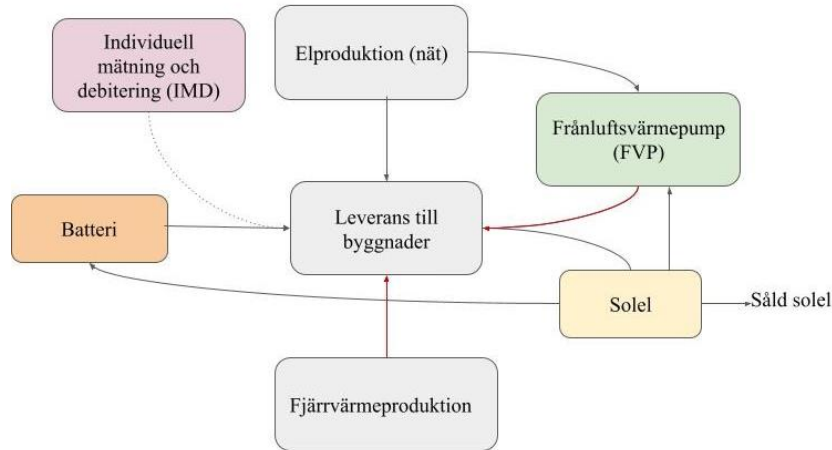
I scenario 3 (Figur 20) införs individuell mätning och debitering på byggnadsnivå, vilket innebär att varje byggnad får ett gemensamt elnäsabonnemang samtidigt som elanvändningen fortsatt mäts per lägenhet. Den centrala förändringen jämfört med scenario 2 är att solelen nu kan användas för både fastighetsel och hushållsel inom byggnaden. Detta ökar egenanvändningen av solel inom byggnaden och minskar behovet av inköpt el från det publika elnätet. Systemet är dock fortfarande avgränsat till respektive byggnad, och någon energidelning mellan byggnader sker inte.



Figur 20: Systemval 3 med individuell mätning och debitering (egen illustration).

#### 4.5.5 Systemval 4: Batterier

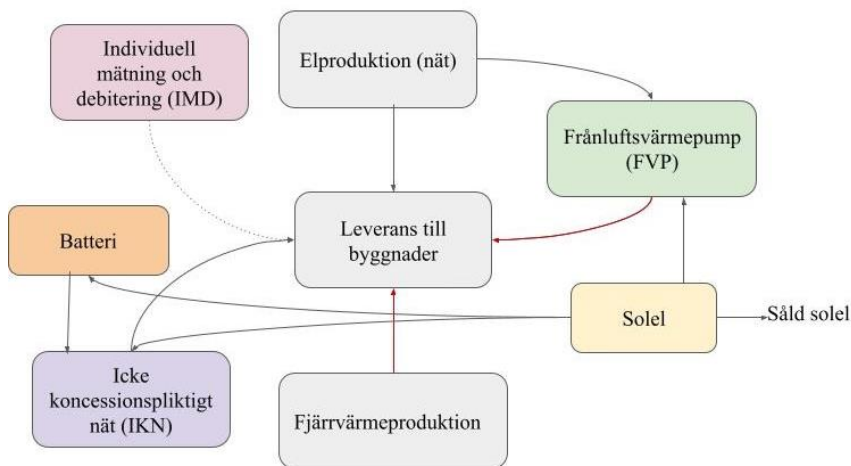
Scenario 4 (Figur 21) bygger vidare på scenario 3 genom att energilagring introduceras i form av batterier på byggnadsnivå. Batterierna möjliggör tidsmässig förskjutning av elanvändningen genom att lagra överskottsel från solcellsproduktionen och använda den vid senare tillfällen. Detta bidrar till att ytterligare öka egenanvändningen av solel för både fastighetsel och hushållsel inom respektive byggnad, och därmed minska behovet av inköpt el under perioder med låg produktion. Batterisimuleringen baseras på byggnadsspecifika last- och produktionsprofiler samt antagna batteriegenskaper enligt den metod som beskrivs i avsnitt 4.4.3. Systemet är fortsatt begränsat till enskilda byggnader, vilket innebär att flexibiliteten endast kan utnyttjas lokalt.



Figur 21: Systemval 4 med batterilagring (egen illustration).

#### 4.5.6 Systemval 5: Icke koncessionspliktigt nät (IKN)

I scenario 5 (Figur 22) introduceras ett internt nät som kopplar samman samtliga byggnader till ett gemensamt energisystem. Detta motsvarar en energigemenskap. Den avgörande förändringen jämfört med tidigare scenarier är att energiflöden inte längre är begränsade till enskilda byggnader. I stället kan solelsproduktion, lagring och elanvändning samordnas på områdesnivå, vilket möjliggör att överskott i en byggnad kan användas i en annan byggnad med högre efterfrågan. Batterisimuleringen genomförs för hela området som en samlad enhet, vilket ökar systemets totala flexibilitet. Detta scenario motsvarar den planerade lösningen för området och representerar det mest integrerade systemet i studien.



Figur 22: Systemval 5 med icke koncessionspliktigt nät - det fullständiga systemet (egen illustration).

Scenarierna är uppbyggda stegvis för att möjliggöra analys av hur varje tillkommande komponent påverkar energiflöden och klimatpåverkan. Detta gör det möjligt att särskilja effekten av enskilda tekniska lösningar, samtidigt som deras samverkan på systemnivå kan analyseras.

## 5. Databaser

Detta kapitel redogör för de data som används i studien samt hur dessa har bearbetats för att möjliggöra analysen. Fokus ligger på de livscykeldata och emissionsfaktorer som utgör underlag för beräkningarna. Livslängder för de tekniska komponenterna presenteras i Appendix C, och insamlade livscykeldata presenteras i Appendix D.

### 5.1 Datakällor

Livscykelinventeringen i denna studie baseras på en kombination av projektspecifika data, miljövarudeklarationer (Environmental Product Declarations, EPD:er), vetenskaplig litteratur samt generiska livscykeldata från databaser. Projektspecifika data har erhållits från dimensioneringen av energisystemet i området Pottugnen och Spjället, inklusive installerad effekt, antal komponenter samt längder på kablar och ledningar.

För tekniska komponenter som solcellsmoduler, montagesystem, växelriktare, frånluftsvärmepumpar och elmätare används i första hand tredjepartsverifierade miljövarudeklarationer som datakälla. Dessa följer vanligtvis standarderna ISO 14025 samt EN 15804 och innehåller livscykeldata för tillverkning, användning och slutskede. I de fall där en EPD för den exakta produkten inte har kunnat identifieras används i stället EPD:er för tekniskt likvärdiga produkter som proxy, kompletterat med vetenskapliga artiklar.

Generiska livscykeldata, exempelvis för material eller energisystem, baseras primärt på etablerade livscykeldata-baser såsom The International EPD® System och RSK Databasen. Kompletterande information om energisystem, tekniska parametrar och framtida utvecklingsscenarier har hämtats från vetenskaplig litteratur, myndighetsrapporter och branschpublikationer. Genom att kombinera projektspecifika data med livscykeldata från EPD:er och databaser kan klimatpåverkan från de olika systemlösningarna uppskattas på ett konsekvent och transparent sätt.

### 5.2 Sammanställning av inventeringsdata

I detta avsnitt sammanställs de datakällor som ligger till grund för livscykelinventeringen (LCI) i studien. Sammanställningen omfattar både referensfallet och de analyserade

systemlösningarna, där relevant livscykeldata har samlats in för respektive teknisk komponent. Tabell 2 ger en översikt över samtliga använda datakällor, inklusive författare eller utgivare, publiceringsår, typ av dokument samt vilken energilösning eller komponent datan avser. Syftet är att skapa transparens kring vilka antaganden och datakällor som ligger till grund för analysen, samt att möjliggöra spårbarhet i analysen. Livscykeldata från respektive källa presenteras i Appendix D.

Tabell 2: Sammanställning av inventeringsdata

| Författare/Utgivare  | År   | Dokumenttyp          | Energilösning/<br>Komponent | Beskrivning                    |
|--|------|----------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| <b>Referensfall</b>  |      |                      |                             |                                |
| Kraftringen Energi AB                                      | 2022 | EPD                  | Fjärrvärme                  |                                |
| IVL Svenska Miljöinstitutet                                | 2025 | Vetenskaplig rapport | Emissionsfaktor elmix 2023  |                                |
| Mistra Sustainable Consumption, Chalmers tekniska högskola | 2021 | Vetenskaplig rapport | Emissionsfaktor elmix 2050  |                                |
| <b>Systemlösning 1 (FVP)</b>                               |      |                      |                             |                                |
| DAIKIN   | 2025 | EPD                  | Luft-vattenvärmepump        | Daikin EWYE-CZ                 |
| Gebwell Oy   | 2026 | EPD                  | Akkumulatortank             | G-Energy thermal tank (1000 l) |
| <b>Systemlösning 2 (Solceller)</b>                         |      |                      |                             |                                |
| Chint New Energy Technology Company                        | 2025 | EPD                  | Solcellsmodul               | Monokristallin                 |
| Sungrow Power Supply Company                               | 2025 | EPD                  | Växelriktare                |                                |
| ATP SRL  | 2025 | EPD                  | Montagesystem               | Glasfiber                      |
| DONGKUK COATED METAL CO.                                   | 2024 | EPD                  | Montagesystem               | Galvaniserat stål              |
| Oy Botnia Bolt Ab  | 2025 | EPD                  | Montagesystem               | Rostfritt stål                 |
| Specialcavi Baldassari                                     | 2026 | EPD                  | DC-kabel                    |                                |

| Systemlösning 3 (IMD)                  |      |                                 |                       |                                 |
|--|------|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| ABB                                    | 2024 | EPD                             | Elmätare              |                                 |
| Systemlösning 4 (Batterier)            |      |                                 |                       |                                 |
| <i>Jasper et al.</i>                   | 2022 | Vetenskaplig artikel            | Batterilagringssystem | LFP-batteri                     |
| Huawei Technologies Co., Ltd.          | 2023 | Product Carbon Footprint Report | Batterilagringssystem | LFP-batteri. Kapacitet: 161 kWh |
| Systemlösning 5 (IKN)                  |      |                                 |                       |                                 |
| Amokabel AB                            | 2025 | EPD                             | DC-kabel              | 1x70 mm <sup>2</sup>            |
| Prysmian Group Sverige AB              | 2025 | EPD                             | AC-kabel              | 4x35/16 mm <sup>2</sup>         |
| Uponor Corporation                     | 2023 | EPD                             | Skyddsror till DC     | 110 YELLOW 50M PE               |
| Cables de Comunicaciones Zaragoza S.L. | 2022 | EPD                             | Fiberkabel            |                                 |
| Radius CTS                             | 2024 | EPD                             | Skyddsror till fiber  |                                 |
| Ferroamp                               | 2023 | EPD                             | Energirouter          | EnergyHub XL 28kW               |
| Olsson, N                              | 2021 | Examensarbete                   | Grävning              | Uppskattad tid för grävning     |
| Network for Transport Measures         | 2026 | Webbida                         | Bränsle               | Diesel och biodiesel            |
| Vilniaus karjerai, JSC                 | 2021 | EPD                             | Återfyllnadsmaterial  | Sand                            |

Sammanställningen visar att datagrunden för analysen utgörs av en kombination av specifika produktdata och mer generella data och antaganden, vilket är vanligt i studier av denna typ. Detta innebär att vissa förenklingar och approximationer har gjorts, särskilt för komplexa system såsom batterilagring och energiroutrar, där tillgängliga data i vissa fall är begränsade. Dessa val och deras konsekvenser diskuteras vidare i kapitel 7.

### 5.3 El

Ett genomsnittligt värde på emissionsfaktorn för el har tagits fram utifrån de senaste tillgängliga värdena för den nordeuropeiska elmixen 2023 samt framtida möjliga

utvecklingsvägar i Sverige. Därutöver analyseras en uppskattad emissionsfaktor för europeisk användningsmix för en tidsperiod fram till 2050, samt nordeuropeisk användningsmix 2023.

### *Utvecklingsvägar i Norden*

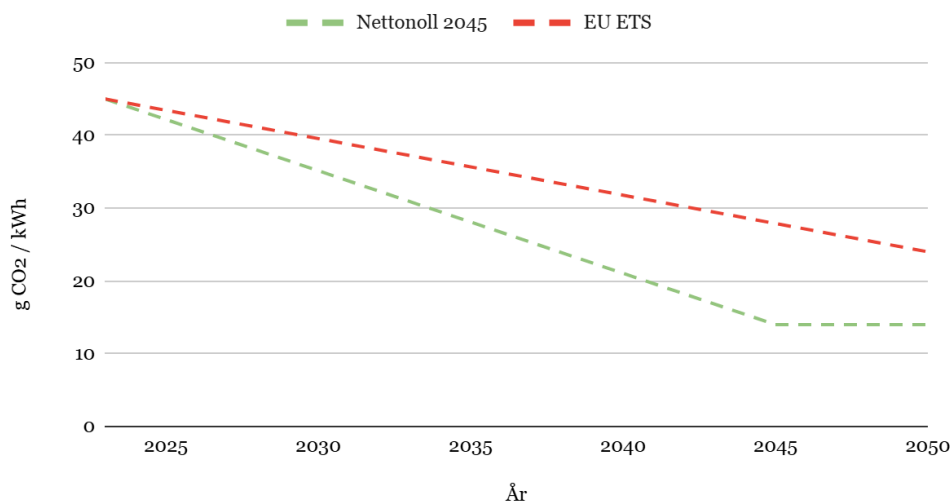
År 2023 var emissionsfaktorn för användningsmixen och produktionsmixen i Norden 45 g respektive 35 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Produktionsmixen omfattar klimatpåverkan från produktionen i länderna, medan användningsmixen även inkluderar importerad el och därmed speglar den faktiska el som förbrukas. Kraftvärme, kondenskraft och import stod för den största delen av klimatpåverkan från användningsmixen trots att deras andel av produktionen var begränsad. Emissionsfaktorerna för några av kraftslagen som använts för bedömningen av klimatpåverkan från el visas i Tabell 3 (Lätt & Nilsson, 2020).

*Tabell 3: Emissionsfaktorer från olika elproducerande tekniker*

|   | <b>Vattenkraft</b>            | <b>Vindkraft</b>              | <b>Kärnkraft</b>              |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Emissionsfaktor (g CO <sub>2</sub> -ekv /kWh) | 13,8<br>(Vattenfall AB, 2026) | 21,4<br>(Vattenfall AB, 2025) | 5,71<br>(Vattenfall AB, 2023) |

Enligt framtida scenarier baserade på Energimyndighetens, Europeiska kommissionens och IEA:s analyser av framtida produktionsteknologier förväntas utsläppen från elproduktionen i Sverige minska till 14 - 24 g CO<sub>2</sub>-ekv/ kWh år 2050 (Larsson et al., 2021). Scenarierna utgår ifrån Sveriges klimatmål om nettonollutsläpp av växthusgaser år 2045 samt EU:s handelssystem för utsläppsrätter (EU ETS). För att få ett livscykelperspektiv har även klimatpåverkan från elnätsinfrastruktur adderats (1,5 g CO<sub>2</sub>-ekv /kWh) utifrån värdena för infrastruktur som används i IVL:s rapport för emissionsfaktorn i Norden 2023 (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2025). De möjliga utvecklingsvägarna enligt dessa scenarier visas i Figur 23. Datan som figuren bygger på finns tillgängliga i Appendix E.

### Livscykelutsläpp för två scenarier för svensk elmix



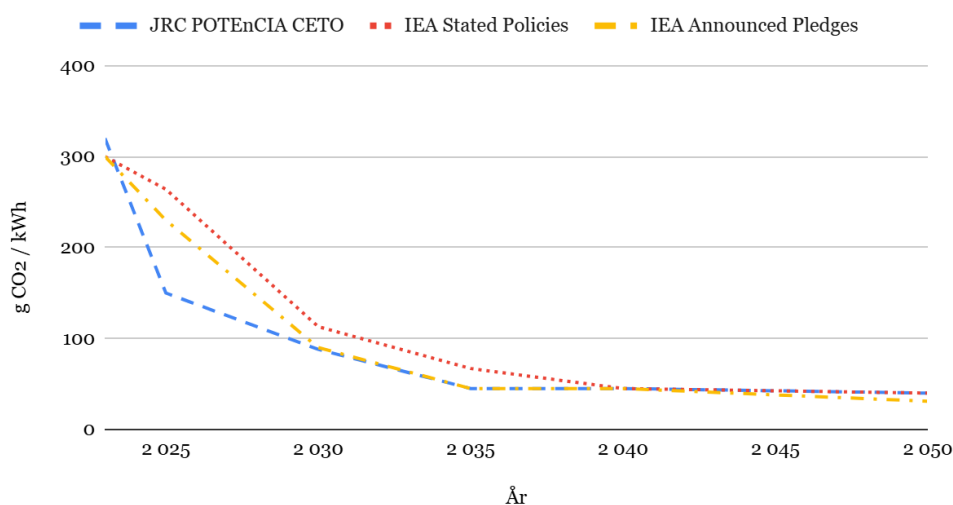
Figur 23: Livscykelutsläpp (emissionsfaktor) för två olika scenarier för utvecklingen av elmixen i Norden från 2023 - 2050. Scenarierna är nettonollutsläpp år 2045 och EU ETS (EU:s utsläppshandelssystem). (Larsson et al., 2021)

Den genomsnittliga emissionsfaktorn för användningsmixen i Sverige har utifrån scenarierna i Figur 23 uppskattats till 31 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Ett genomsnittligt värde har beräknats fram till 2050 för att uppskatta klimatpåverkan från elanvändningen de närmaste åren (Appendix E).

#### Utvecklingsvägar inom EU

Det finns flera olika scenarier för utvecklingen av det europeiska elsystemet, där politiska beslut, klimatmål och teknisk innovation har en avgörande betydelse. Tre scenarier analyseras, baserade på utvecklingsvägar framtagna av Europeiska kommissionen och International Energy Agency, vilket illustreras i Figur 24. Emissionsfaktorn inkluderar direkta emissioner vid förbränning, indirekta emissioner uppströms samt transmissions- och distributionsförluster i nätinfrastrukturen. Emissionsfaktorerna utgår från 6 % transmissions- och distributionsförluster i elsystemet. De data som figuren bygger på finns tillgängliga i Appendix E.

## Livscykelutsläpp för tre olika scenariers europeisk elmix



Figur 24: Livscykelutsläpp (emissionsfaktor) för tre olika scenarier för utvecklingen av elmixen i Europa från 2023 - 2050. Scenarierna är JRC POTEnCIA CETO, IEA Stated Policies och IEA Announced Pledges (International Council on Clean Transportation, 2025).

Emissionsfaktorn för den europeiska elmixen förväntas minska från ungefär 300 till 40 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh fram till år 2050, och ett genomsnittligt värde uppskattas till 86 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh (Appendix E)

### Marginalproduktion

Marginalen år 2025 utgjordes till största del av kol följt av biomassa och naturgas i elområde 4 (SE4). Eftersom marginalen är beroende av den elproduktion som finns tillgänglig, skiljer den sig även betydligt mellan de olika elområdena i Sverige. SE4 har, till följd av begränsad överföringskapacitet i elnätet och ett underskott på el, ett större importbehov från omkringliggande länder med mer fossil elproduktion (Profu, 2026).

Marginalen skiljer sig under olika tidpunkter på året eftersom produktion och konsumtion varierar. Under vintern när värmebehovet är större krävs mer energi, där även fossilbaserad produktion behöver utnyttjas i större utsträckning. Detta innebär att förändringar i energianvändning har större klimatpåverkan under perioder med hög värmelast eller låg elproduktion. Under tidsperioder då solexproduktionen är högst är klimatpåverkan från marginalen lägre. Den genomsnittliga emissionsfaktorn för marginalen för värmelast i SE4 motsvarade 470 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, medan marginalen under tidsperioder med stor solexproduktion motsvarade 290 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh (Profu, 2026).

## 5.4 Fjärrvärme

Informationen om klimatpåverkan från fjärrvärmeanvändningen i Lund baseras på Krafringens EPD från 2022. Inga fossila bränslen används i produktionen, vilket resulterar i en emissionsfaktor på 11 g CO<sub>2</sub>-ekv per levererad kWh värme. I förstudiedatan antas byggnaderna vara sammankopplade via ett internt fjärrvärmenät, vilket medför kulvertförluster på cirka 35 %. I denna studie antas däremot att samtliga byggnader primäransluts direkt till Krafringens fjärrvärmenät, vilket innebär att varje byggnad har en egen anslutning till det externa nätet istället för att vara sammankopplade via ett internt distributionssystem. Beräkningen av emissionsfaktorn för fjärrvärme baseras på en livslängd på 40 år för produktionsverk med förbränning, 25 år för värmepumpar och 70 år för distributionsnätet.

## 5.5 Frånluftsvärmepump

I Pottugnen och Spjället planeras 12 frånluftsvärmepumpar att installeras som är anpassade till ett ventilationsflöde på 1600 l/s. Installationen förväntas minska fjärrvärmebehovet men öka elanvändningen i byggnaderna.

En frånluftsvärmepump kan installeras som en kombinerad enhet med både ventilationsaggregat och värmepump eller som två separata komponenter. I stora fastigheter används traditionellt två separata komponenter, där en värmepump kopplas till ventilationen (IV Produkt AB, u.å.). Denna analys utgår från två separata komponenter, och klimatpåverkan från ventilationen bedöms vara utanför systemgränsen eftersom ventilation ingår i samtliga systemlösningar. Klimatpåverkan skulle däremot öka ytterligare om ventilationen behöver bytas ut i förtid vid införande av FVP.

Det finns ingen tillgängliga livscykeldata för den specifika produkt som planeras att installeras. Istället används en EPD för en luft-vattenvärmepump med samma köldmedium. Klimatpåverkan uttrycks per kW värmeeffekt, vilket möjliggör uppskattning av klimatpåverkan för värmepumpar med motsvarande storlek (Daikin Europe N.V., u.å.). Det köldmedium som används är R454, ett nyare och mer klimatvänligt köldmedium på marknaden (IV Produkt AB, u.å.). Tillverkningen av värmepumpen är i Europa och livslängden uppskattas till 22 år enligt teknisk beskrivning (Daikin Europe N.V., u.å.).

I känslighetsanalysen jämförs resultatet med två andra typer av värmepumpar som kan användas med liknande värmeeffekt. Den kombinerade frånluftsvärmepumpen Ecoheater240 från IV produkt använder samma köldmedium men har en integrerad ventilation som möjliggör mer effektiv värmeöverföring (IV Produkt AB, u.å.). Frånluftsvärmepumpen är

producerad i Sverige och kräver ingen annan form av ventilation. Därutöver analyseras en värmepump med köldmediet propan.

Akkumulatortankar på 1000 liter kopplas till varje FVP med kopparspiraler som möjliggör värmeöverföring. Ackumulatortankarna består huvudsakligen av metaller som till stor del antas återvinnas i avslutningsskedet.

## 5.6 Solcellssystem

Solcellssystemet modelleras som ett takmonterat system för produktion av solel i flerbostadshusområdet. Den installerade effekten i solcellssystemet uppgår till 630 kWp. Systemet består av solcellsmoduler, montagesystem, växelriktare samt DC-kablar. Dessa komponenter inkluderas i livscykelinventeringen (LCI). Befintlig elinfrastruktur i byggnaderna, såsom elcentraler och transformatorer, inkluderas inte i analysen eftersom dessa redan finns installerade och inte påverkas i stor utsträckning av installationen av solcellssystemet.

### *Solcellsmoduler*

Solcellsmodulerna utgör den största materiella komponenten i solcellssystemet. Den modul som planeras att installeras i projektet är en bifacial glas-glas modul med en nominell effekt på cirka 415 - 440 W. Eftersom en miljövarudeklaration för den exakta produktmodellen inte kunde identifieras användes i stället en EPD för en tekniskt likvärdig bifacial glas-glas modul som proxy i analysen (Chint New Energy Technology Co., Ltd., 2025).

Livscykeldata för modulen uttrycks per installerad topp effekt (Watt-peak, Wp). Den totala klimatpåverkan från solcellsmodulerna beräknas därför genom att multiplicera emissionsfaktorn per Wp med den installerade effekten på 630 kWp i solcellssystemet. Genom att använda resultat per Wp möjliggörs jämförelser mellan moduler med olika nominell effekt. Även om klimatpåverkan i EPD:er ofta redovisas per installerad effekt (Wp), är den funktionella nyttan i denna studie kopplad till levererad energi (kWh), vilket innebär att jämförelser baserade enbart på Wp kan vara missvisande. Vid genomgång av tillgängliga EPD:er observerades även variationer i stegen A1 – A3 i en produkts livscykel, vilket främst bedöms bero på skillnader i systemgränser och antaganden snarare än faktiska prestandaskillnader.

För att säkerställa rimligheten i vald proxy jämfördes EPD:n även med ett antal andra tillgängliga EPD:er för bifaciala glas-glas-moduler. Dessa uppvisade klimatpåverkan i samma storleksordning, med endast begränsade variationer, vilket stärker bedömningen att den valda modulen är representativ för studien. Det kan samtidigt konstateras att produktionsstegen A1

och A2 i praktiken till stor del sker i Kina, även för moduler som monteras i Europa. Det har därför inte varit möjligt att identifiera en tekniskt jämförbar solcellsmodul som är fullt tillverkad inom EU med motsvarande metodik.

### *Monteringssystem*

Montagesystemet används för att fästa solcellsmodulerna på byggnadernas tak och utgör en betydande materiell komponent i solcellssystemet. Systemet består huvudsakligen av skenor, takkrokar, panelklämmor, gavlar och skenskarvar. Materialmässigt dominerar montagesystemet av glasfiberförstärkt plast (GFRP), med inslag av stål i vissa komponenter. Skenor, gavlar och skarvar antas bestå av GFRP, medan takkrokar och panelklämmor modelleras som kombinationer av GFRP och metalliska material.

Materialmängderna har uppskattats baserat på dimensioneringen av solcellssystemet samt typiska installationsprinciper för takmonterade system. Antalet komponenter har beräknats utifrån totalt antal installerade solcellsmoduler och schablonmässiga antaganden kring komponenter per modul, i enlighet med installationsanvisningar (Forsman, 2021). En detaljerad beskrivning av beräkningsmetod och antaganden återfinns i Appendix A. Den totala materialfördelningen i montagesystemet uppgår till cirka:

- 3 900 kg GFRP
- 620 kg galvaniserat stål
- 60 kg rostfritt stål

### *Växelriktare*

Växelriktaren omvandlar den likström som produceras av solcellsmodulerna till växelström som kan användas i byggnadernas elsystem. Växelriktaren modelleras med utgångspunkt i en miljövarudeklaration för en kommersiell växelriktare med liknande tekniska specifikationer (Sungrow Power Supply Co., Ltd., 2025). Klimatpåverkan från växelriktaren uttrycks per kWh växelström omvandlad från likström och relateras till dess referenslivslängd. Den totala klimatpåverkan beräknas därför genom att multiplicera klimatpåverkan för den funktionella enheten med mängden producerad solel.

### *Likströmskabel*

DC-kablar används för att ansluta solcellsmodulerna till växelriktaren och utgör en central del av solcellssystemets elektriska infrastruktur. Kablarna består huvudsakligen av kopparledare med polymerbaserad isolering. Klimatpåverkan från DC-kablarna beräknas utifrån den totala

installerade kabellängden i systemet och emissionsfaktorer från en miljövarudeklaration (EPD) för solcellskablar (Specialcavi Baldassari, 2026).

Den totala kabellängden har uppskattats baserat på solcellssystemets dimensionering, inklusive antal moduler, strängindelning och typiska installationsprinciper. Både kablage inom strängarna på taket och kablage mellan strängar och växelriktare har inkluderats i beräkningen. Den totala längden DC-kabel i systemet uppgår till cirka 2 300 meter. En detaljerad beskrivning av antaganden och beräkningsmetod återfinns i Appendix A.

## 5.7 IMD

Införandet av IMD kräver installation av elmätare i varje lägenhet samt tillhörande kommunikationsutrustning. I denna studie representeras IMD-systemet av individuella elmätare installerade i varje lägenhet. En tredjepartsverifierad Product Environmental Profile (PEP) för en tekniskt likvärdig elmätare från ABB används som proxy (ABB, 2024). Den valda referensprodukten representerar en digital DIN-monterad energimätare avsedd för individuell mätning av el i distributionssystem. Mätaren består huvudsakligen av plast (t.ex. PBT och polykarbonat), metaller (stål, koppar och mässing) samt elektroniska komponenter.

## 5.8 Batterisystem

### *Systembeskrivning och datagrund*

Den planerade installationen omfattar tio litiumjärnfosfatbatterier (LFP) med en kapacitet på 107.5 kWh per batteri. Ingen EPD för ett liknande batterilagringssystem (BESS) med en kapacitet på cirka 100 kWh har identifierats. I denna rapport används i stället information om klimatpåverkan från ett batterilagringssystem med en kapacitet på 161 kWh. Värdena har skalats om och utgår från att emissionsfaktorn förändras i förhållande till kapaciteten. Detta innebär att klimatpåverkan har analyserats för 6,6 batterier med en kapacitet på 161 kWh istället för 10 batterier med en kapacitet på 107,5 kWh.

Det studerade produktsystemet inkluderar tillverkning, transport samt avvecklingsfasen. Användningsfasen analyseras däremot inte separat, eftersom batteriernas drift och energiförluster redan beaktas i den batterisimulering som ingår i förstudiedatan. Tillverkningen har en hög energianvändning och elmixen i produktionslandet har en stor påverkan på resultatet (Carvalho, Temporelli & Girardi, 2021).

I avslutningsskedet antas en stor del av materialen i batterisystemet återvinnas enligt riktlinjer från IEC/TR (Huawei Technologies Co., Ltd., 2023). I framtiden kan kraven på återvinning öka vilket kan minska utsläppen från avfallshanteringsfasen ytterligare. Däremot utgör

hanteringen av batterilagringssystemet i avfallshanteringen endast ungefär 4 % av den totala klimatpåverkan (användningsfas exkluderat). Lagringssystemet innehåller ett batterisystem, växelriktare, miljö- och övervakningssystem samt brandsläckningssystem.

### *Antaganden, begränsningar och jämförelse*

Resultatet har jämförts med andra LCA-studier om LFP-batterier för att få en bättre förståelse för hur omskalning av batteristorlek påverkar resultatet. I en rapport av Carvalho, Temporelli och Girardi (2021) analyseras klimatpåverkan från stationära batterilagringssystem med LFP-batterier, och presenteras bland annat med den funktionella enheten per kWh batterikapacitet. Klimatpåverkan inkluderar tillverkning, transport och end-of-life, och ligger på en liknande nivå som de beräknade utsläppen när användningsfasen exkluderas. Vid tillverkningen av LFP-batterier bidrar elkonsumention för tillverkningen av battericeller till störst klimatpåverkan, följt av produktionen av det positiva elektrodmaterial (litiumjärnfosfat).

Eftersom lagringssystemet innehåller en växelriktare ersätter denna tidigare växelriktare som användes i solcellssystemet. Detta resulterar i dubbelräkning i systemlösning 5, där växelriktare ingår i energiroutrarna. Däremot bedöms påverkan på resultatet vara liten utifrån de beräknade värdena för växelriktare i systemlösning 2–3. Växelriktare kan även vara inbyggt i batterilagringssystem (BSS) och därmed kan fler växelriktare än nödvändigt finnas i system med både BSS och energiroutrar. I informationen om klimatpåverkan från batterilagringssystemet är det inte möjligt att exkludera växelriktarens påverkan.

## 5.9 IKN

I systemlösning 5 bildas en energigemenskap genom installation av ett icke koncessionspliktigt nät (IKN). Analysen inkluderar klimatpåverkan från komponenterna i föregående systemlösningar samt från installation av elkablar, energiroutrar, grävning och fiber.

### *Kablar*

Fastigheterna i Pottugnen och Spjället sammankopplas via ett internt likströmsnät i form av en ringmatning med en total sträckning på cirka 1 000 meter. För att möjliggöra tillräcklig överföringskapacitet installeras fyra parallella likströmskablar längs hela sträckan, två av kablarna förläggs tomma för framtida bruk. Detta innebär att den totala installerade kabellängden uppgår till cirka 4 100 meter, inklusive ett påslag om cirka 100 meter för spill och anpassning vid installation.

Likströmskablar är av typen RXQ med kopparledare och isolering av PEX samt halogenfri plast (Amokabel AB, 2025). Kablarna förläggs i mark i ett gemensamt skydds rör (Uponor Corporation, 2023). Växelströmskablar installeras mellan elcentraler och energiroutrar inom respektive byggnad. Längden uppskattas till cirka 10 meter per byggnad. Kabeltypen som används är FXQJ-EMC med motsvarande isoleringsmaterial som likströmskablar samt en integrerad skyddsledare (Prysmian Group Sverige AB, 2025). Eftersom dessa kablar installeras ovan mark krävs inget markrör. Klimatpåverkan från kablar och skydds rör beräknas med hjälp av miljövarudeklarationer (EPD:er) med funktionella enheter i längd.

### *Fiber*

En fiberkabel installeras parallellt med likströmsnätet i samma ringmatning, med en total längd som motsvarar ringens sträckning (cirka 1 000 meter) (Cables de Comunicaciones Zaragoza S.L., 2022). Fiberkabeln förläggs i ett separat skydds rör (Radius CTS, 2024). Fiber används för kommunikation mellan energiroutrar, växelriktare och styrsystem, vilket möjliggör styrning och kontroll av energiflöden inom det interna nätet.

### *Energirouter*

Varje byggnad utrustas med en energirouter, vilket ger totalt tio enheter i systemet. För att uppskatta klimatpåverkan används en miljövarudeklaration (EPD) för Ferroamp EnergyHub XL 28 kW som proxy för energiroutern som helhet (Ferroamp AB, 2023). Produkten representerar en integrerad lösning med motsvarande funktion, där flera omvandlingssteg och styrfunktioner ingår i en och samma enhet. EPD:n är baserad på en funktionell enhet uttryckt per levererad kWh växelström och inkluderar hela livscykeln (A - D), inklusive användningsfasens energirelaterade påverkan (modul B6).

Eftersom EPD:n är definierad per omvandlad AC-energi (kWh) snarare än installerad effekt har klimatpåverkan i denna studie beräknats genom att relatera emissionsfaktorn till den årliga solelproduktionen i systemet. Den totala klimatpåverkan beräknas därmed genom att multiplicera EPD:ns resultat per kWh med systemets årliga solelproduktion. Detta tillvägagångssätt möjliggör en konsekvent koppling mellan energiflöden och klimatpåverkan utan behov av ytterligare skalning utifrån installerad effekt eller antal komponenter.

I det studerade systemet passerar inte enbart producerad solel genom energiroutern, utan även energiflöden kopplade till lagring, intern eldelning och distribution. Den årliga solelproduktionen utgör därmed en underskattning av den totala energigenomströmningen genom systemet. EPD:n baseras på en europeisk elmix i användningsfasen. I det verkliga systemet förväntas energiroutrarna istället använda svensk användningsmix, vilket generellt innebär lägre klimatpåverkan. Användningen av europeisk elmix i denna studie bedöms

därför innebära en överskattning av klimatpåverkan från användningsfasen. Detta anses motiverat, då den faktiska energigenomströmningen genom energiroutern sannolikt är större än den producerade solelen som används i beräkningen. Användningsfasen med europeisk elmix utgör ungefär 10 % av klimatpåverkan från respektive energirouter.

Modul B6 i EPD:n inkluderar både omvandlingsförluster och standby-elanvändning. Därför har denna modul inkluderats i sin helhet, och ingen separat beräkning av standby-el har genomförts för att undvika dubbelräkning. Som en jämförelse har ett alternativt beräkningsfall analyserats där modul B6 exkluderas och ersätts med en separat uppskattning av standby-elanvändning. Detta resulterade i en ökning av klimatpåverkan med cirka 54 kg CO<sub>2</sub>-ekv/år, vilket är marginellt i relation till den totala klimatpåverkan från energirouterarna. Valet att inkludera B6 i den slutliga beräkningen bedöms därför ha begränsad påverkan på resultatet. Metoden innebär flera förenklingar och antaganden, men bedöms ge en rimlig uppskattning av storleksordningen för energirouterarnas klimatpåverkan inom ramen för studien.

### *Grävning*

Vid anläggning av det interna nätet krävs schaktning för förläggning av kablar och skyddsror. Den totala schaktlängden uppskattas till cirka 1 000 meter. Klimatpåverkan från grävning omfattar användning av arbetsmaskiner, transport av material samt produktion av återfyllnadsmaterial. Dessa bidrag har uppskattats baserat på schablonvärden för bränsleförbrukning, transport och materialanvändning. En detaljerad beskrivning av antaganden och beräkningsmetod återfinns i Appendix A.

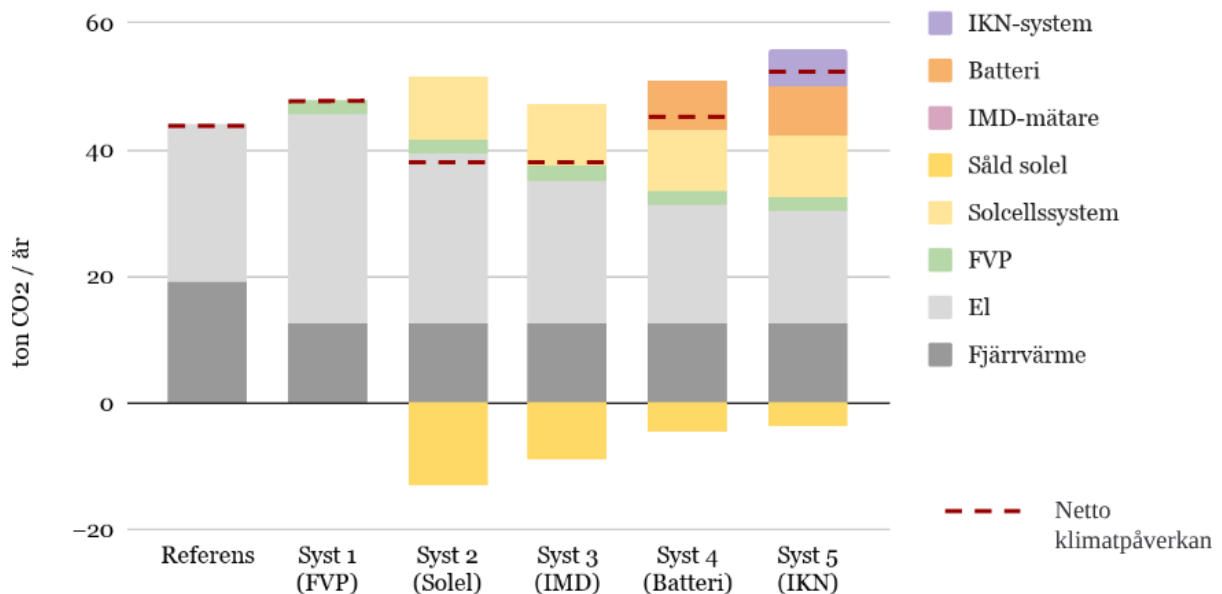
## 6. Resultat

I detta kapitel presenteras resultaten från livscykelanalysen för de analyserade systemlösningarna. Klimatpåverkan redovisas både som total årlig påverkan och per levererad energienhet, vilket möjliggör jämförelse mellan systemen. Resultaten baseras på samma energibehov i samtliga scenarier och visar hur olika tekniska lösningar påverkar det totala klimatavtrycket. Efter huvudresultaten presenteras känslighetsanalyserna. Resultaten presenteras även i en tabell i Appendix G.

### 6.1 Klimatpåverkan per scenario (ton CO<sub>2</sub>-ekv/år)

Figur 26 visar den totala årliga klimatpåverkan (röd streckad linje) för de analyserade systemlösningarna samt hur olika delsystem och komponenter bidrar till den totala klimatpåverkan i respektive scenario. Figuren visar tydligt att köpt el utgör en av de största

bidragande faktorerna i samtliga system, särskilt i System 1 där elanvändningen ökar markant till följd av införandet av frånluftsvärmepumpen. Resultaten varierar mellan cirka 38 och 52 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Referenssystemet uppgår till 44 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, medan systemval 1 (med frånluftsvärmepump) ökar till 48 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, vilket indikerar att det ökade elbehovet samt klimatpåverkan från tillverkningen av komponenterna överväger minskningen av fjärrvärmeanvändning. Resultatet påverkas även av att fjärrvärmen i Lund har en låg emissionsfaktor, vilket innebär att det i detta fall ger lägre klimatpåverkan att använda fjärrvärme för uppvärmning än att ersätta delar av den med en frånluftsvärmepump, trots värmepumpens relativt höga verkningsgrad.



Figur 26: Klimatpåverkan för respektive scenario uttryckt i ton CO<sub>2</sub>-ekv. per år, baserat på beräkningar i denna studie. Söld solel är den negativa delen av staplarna. Den röda streckade linjen visar netto-klimatpåverkan.

System 2 och 3, som inkluderar solceller (utan, respektive med IMD), uppvisar de lägsta värdena, båda omkring 38 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Detta visar att installation av solceller ger en betydande minskning av klimatpåverkan, främst genom att ersätta köpt el samt genom klimatkredit från såld solel. Installation av solceller i systemlösning 2 minskar klimatpåverkan med cirka 14 ton CO<sub>2</sub>-ekv per år. När batterilagring introduceras i System 4 ökar klimatpåverkan till 47 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, och i System 5, där även ett IKN-system inkluderas, uppgår klimatpåverkan till 52 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, vilket är det högsta värdet. Detta resultat baseras på antagandet att såld solel till elnätet ersätter annan elproduktion samt på de antagna framtida emissionsfaktorerna för svensk elmix.

Fjärrvärmens klimatpåverkan minskar från referenssystemet till övriga system, vilket är en direkt effekt av minskat fjärrvärmebehov vid införande av FVP. Därefter ligger fjärrvärmens bidrag på en relativt konstant nivå. Solcellssystemet introducerar en initial klimatpåverkan från tillverkning (cirka 9,8 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år), men detta motverkas till stor del av minskad köpt el samt klimatkrediten från såld solel. Den sålda solelen är som störst i System 2 och minskar därefter till följd av en ökad egenanvändning av producerad solel i fastigheterna (t.ex. vid införande av batteri).

## 6.2 Klimatpåverkan per energienhet (g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh levererad energi)

Figur 27 visar klimatpåverkan normaliserad per levererad energienhet, uttryckt i g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Genom att relatera utsläppen till den totala levererade energin möjliggörs en mer rättvis jämförelse mellan olika energisystem, oberoende av variationer i energiflöden.



Figur 27: Nettoklimatpåverkan för respektive systemval uttryckt i g CO<sub>2</sub>-ekv / kWh, baserat på beräkningar i denna studie.

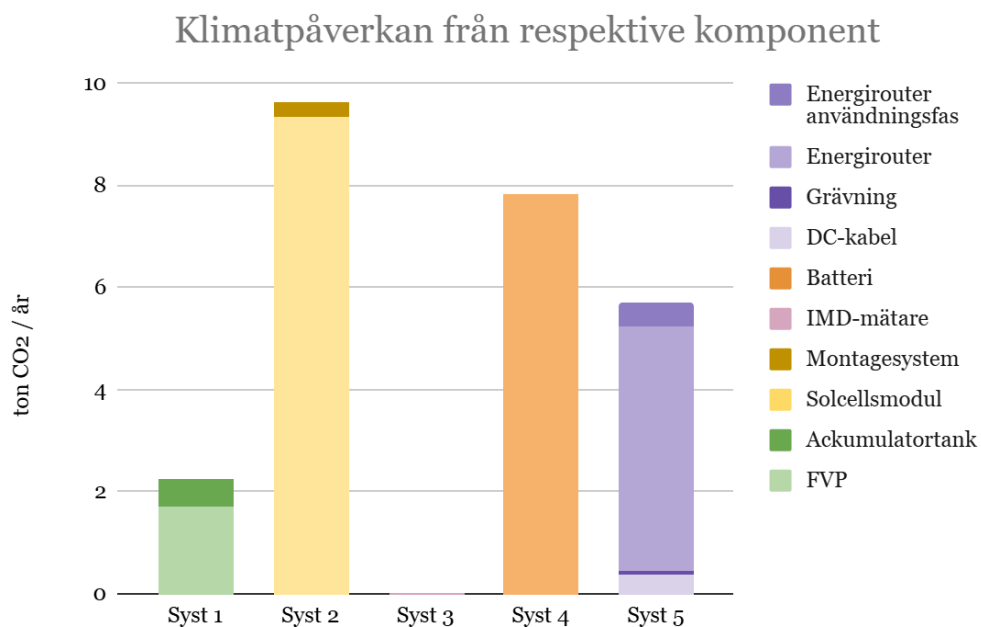
Referenssystemet uppgår till 17 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, medan System 1 (med frånluftsvärmepump) ökar till 19 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Detta bekräftar återigen att införandet av FVP i detta fall leder till högre klimatpåverkan, främst på grund av ökad elanvändning. System 2 och 3 uppvisar de lägsta värdena, cirka 15 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, vilket motsvarar en minskning på ungefär 15 - 20 % jämfört med referenssystemet. Skillnaden mellan System 2 och 3 är försumbar, vilket indikerar att IMD har begränsad påverkan på resultatet. För System 4 ökar klimatpåverkan till

18 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, och för System 5 till 21 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, vilket innebär att dessa system har högre klimatpåverkan än referensfallet enligt detta mått. Detta beror främst på den tillkommande klimatpåverkan från batteriet respektive IKN-systemet, som inte kompenseras av förbättrad egenanvändning av solet.

Resultatet påverkas inte av att en högre andel producerad solet används inom området eftersom även såld solet antas ersätta annan elproduktion. Därmed blir det ingen större skillnad mellan systemval 2 och 3 trots att egenanvändningen ökar mellan systemvalen.

### 6.3 Bidrag från olika komponenter

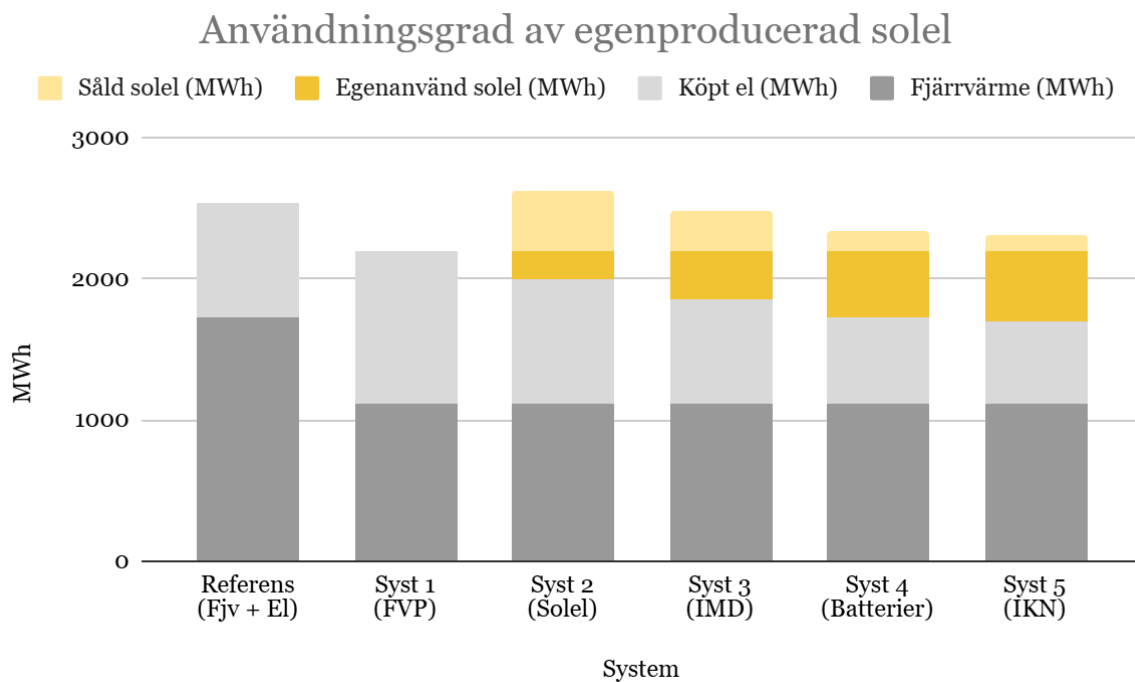
Figur 28 visar klimatpåverkan från respektive komponent som tillkommer i förhållande till referensfallet för att belysa komponenternas relativa påverkan. Solcellssystemet står för den största andelen av den totala klimatpåverkan trots att systemlösning 2 och 3 är de mest klimatomkostliga alternativen. Detta beror på att den producerade soleten kompenserar klimatpåverkan från tillverkningen genom minskat elbehov samt såld solet. Solcellsmodulerna utgör majoriteten av klimatpåverkan från solcellssystemet. Batterierna har även en stor inverkan på komponentnivå med en uppskattad livslängd på 20 år. Energiroutrar utgör den största delen av påverkan i systemval 5 med IKN, följt av kablar till det interna nätet och grävning. Den relativt höga klimatpåverkan från energiroutrar beror dels på den kortare referenslivslängden jämfört med övriga komponenter.



Figur 28: Klimatpåverkan för respektive komponent i ton CO<sub>2</sub>-ekv. per år, baserat på beräkningar i denna studie.

## 6.4 Användningsgrad av egenproducerad solel

Figur 29 visar hur den producerade solelen fördelas mellan egenanvänd respektive såld el för systemlösningarna med solceller (System 2 - 5). Resultaten visar en tydlig ökning i egenanvändningsgrad mellan systemen. I System 2 används endast 32 % av den producerade solelen inom området, medan resterande del (424 000 kWh/år) säljs till elnätet. När IMD införs i System 3 ökar egenanvändningen till 54 %, vilket indikerar att IMD bidrar till ett mer effektivt utnyttjande av den lokalt producerade elen. Vid införande av batterilagring i System 4 ökar egenanvändningen ytterligare till 76 %, då överskottsenergi kan lagras och användas vid senare tillfällen. I System 5, där även ett IKN-system implementeras, uppnås den högsta egenanvändningsgraden på 81 %, vilket visar att intern eldelning mellan byggnader ytterligare kan öka nyttjandegraden av solel. Den ökade egenanvändningen medför samtidigt att mängden såld solel minskar kraftigt mellan systemen, från 424 000 kWh/år i System 2 till 114 000 kWh/år i System 5.



Figur 29: Användningsgraden av egenproducerad solel för respektive scenario. I referensfallet och systemval 1 produceras ingen solel. Data till figuren återfinns i Appendix F.

Det kan noteras att den totala produktionen av solel inte är exakt densamma mellan systemen (cirka 607 000 - 622 000 kWh/år). Dessa skillnader är relativt små men kan förklaras av systemrelaterade faktorer, exempelvis förluster kopplade till batterilagring och energihantering. Batterier medför både laddnings- och urladdningsförluster, vilket kan minska den mängd el som faktiskt levereras från systemet. Även ytterligare komponenter, såsom energiroutrar och interna nät (IKN), kan bidra till ytterligare systemförluster. Detta sker dock på bekostnad av minskad export, vilket i sin tur påverkar den klimatcredit som erhålls från såld solel, något som återspeglas i resultaten från klimatberäkningarna.

## 6.5 Resultat från känslighetsanalys

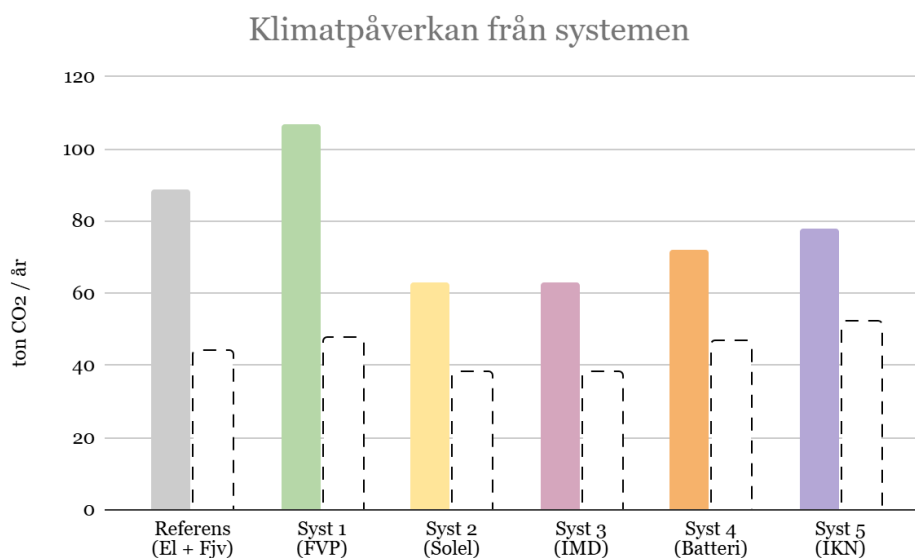
Nedan sammanställs resultaten från genomförda känslighetsanalyser, där centrala antaganden och parametrar har varierats för att analysera hur dessa påverkar studiens resultat. Känslighetsanalyserna omfattar variationer i energisystem, emissionsfaktorer samt i utvalda komponenter. De analyser som resulterar i en förändring av den totala klimatpåverkan med mer än 5 % presenteras och diskuteras i respektive underkapitel. Analyser med mindre påverkan än detta redovisas översiktligt i en sammanställande tabell i slutet av kapitlet. I analysen undersöks både inverkan av metodval och tekniska förutsättningar på komponentnivå, såsom exempelvis livslängd och val av komponenter. Med metodval avses val av systemgränser och antaganden som skulle kunna påverka resultatet.

### 6.5.1 Känslighetsanalyser - energisystem och emissionsfaktorer

För att analysera hur resultaten påverkas av antaganden om energisystem och emissionsfaktorer genomförs känslighetsanalyser med alternativa elmixar. I samtliga fall justeras även emissionsfaktorn för krediterad solel i enlighet med den valda elmixen för att säkerställa konsekventa analyser.

#### *Europeisk genomsnittlig elmix 2023 - 2050*

För att få en förståelse för klimatpåverkan från olika energilösningar utifrån ett europeiskt perspektiv analyseras resultatet med den uppskattade emissionsfaktorn för europeisk elmix (86 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh). Klimatpåverkan från systemlösningar varierar mellan 63 ton för systemlösning 2 och 3 och 107 ton för systemlösning 1 med FVP. Systemlösning 1 blir det sämsta alternativet eftersom utsläppen från el är betydligt högre än från fjärrvärmens. Resultatet visas i Figur 30, där påverkan från köpt el blir betydligt högre än resultatet med svensk elmix (31 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh).

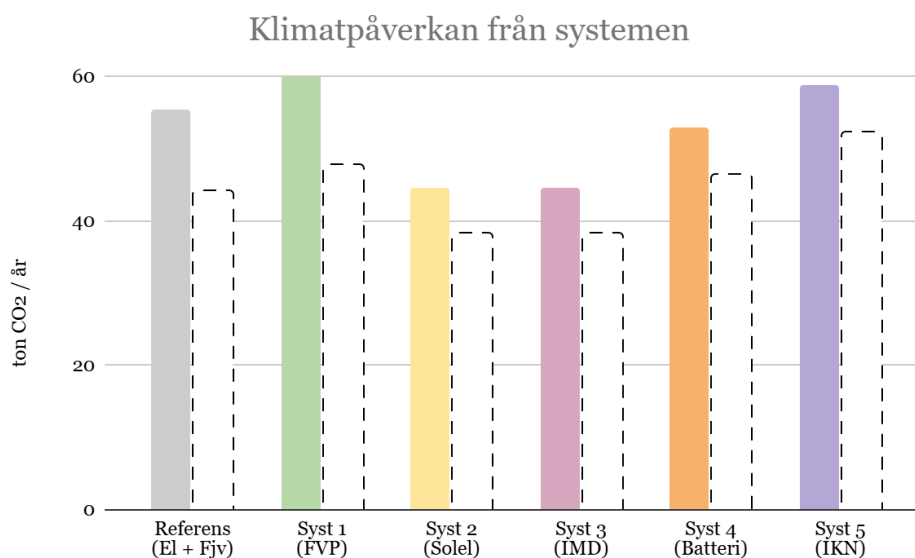


*Figur 30: Klimatpåverkan för respektive system (färgad stapel), jämfört med originalresultatet baserat på fallet med svensk elmix (streckad stapel) för genomsnittlig europeisk elmix från 2023 - 2050.*

Skillnaden i klimatpåverkan mellan systemlösningarna blir större utifrån ett europeiskt perspektiv, och det blir mer gynnsamt att införa tekniker som kan producera energi. Klimatpåverkan från systemet minskar med ungefär 44 ton per år vid införande av solceller i systemlösning 2. Därutöver blir alla efterföljande systemlösningar med mer komplexa energisystem bättre än referensfallet, vilket skiljer sig från resultatet med uppskattat framtida svensk elmix. Resultatet visar att komponenternas klimatpåverkan får en mindre relativ betydelse i ett europeiskt perspektiv, medan åtgärder som påverkar energianvändningen blir allt viktigare.

#### *Nordisk elmix 2023*

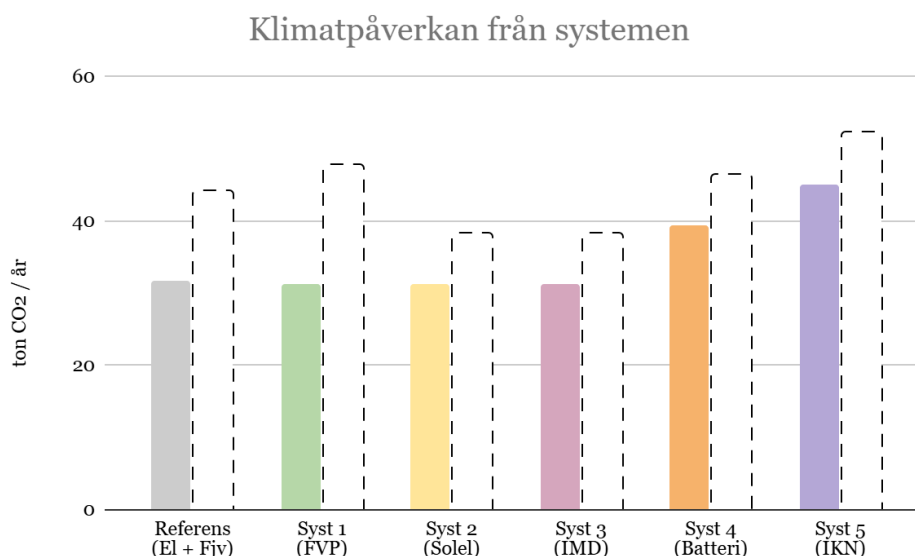
Om resultatet analyseras utifrån det senaste värdet på 45 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh för nordeuropeisk elmix (jämfört med 31 g i basfallet) kommer även solceller att bidra till en större minskning av koldioxidutsläpp. Resultatet visas i Figur 31.



*Figur 31: Klimatpåverkan för respektive system (färgad stapel), jämfört med originalresultatet baserat på fallet med svensk elmix (streckad stapel) för emissionsfaktorn för nordisk elmix från år 2023.*

#### *Nordisk elmix 2050*

I denna känslighetsanalys används en framtida emissionsfaktor för nordisk elmix motsvarande 15,5 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, vilket representerar ett elsystem med mycket låg klimatpåverkan i linje med långsiktiga klimatmål (Figur 32). Syftet är att analysera hur resultaten påverkas av ett mer fossilfritt elsystem jämfört med grundfallet. Resultaten visar att den totala klimatpåverkan minskar för samtliga systemlösningar till följd av den lägre emissionsfaktorn, där en svensk produktionsmix för el har antagits.

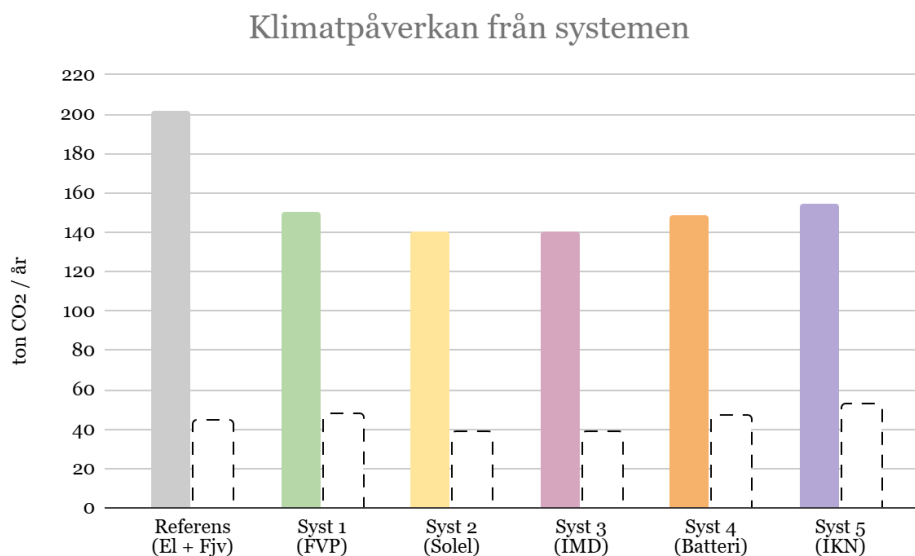


Figur 32: Klimatpåverkan för respektive system (färgad stapel), jämfört med originalresultatet baserat på fallet med svensk elmix (streckad stapel) för emissionsfaktorn för nordisk elmix år 2045.

Referensfallet uppgår till cirka 32 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, medan systemlösning 1 (FVP) minskar till 31 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Detta innebär att frånluftsvärmepumpen, till skillnad från i huvudresultatet, uppvisar en klimatpåverkan jämförbar med referensfallet. Förklaringen är att den ökade elanvändningen får en lägre klimatpåverkan när elen antas vara i princip fossilfri, samtidigt som den tillförda elen till frånluftsvärmepumparna kan ersätta fler kWh fjärrvärme. Systemlösningarna med solel (S2 och S3) uppvisar fortsatt lägst klimatpåverkan, med cirka 31 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Systemlösningarna med batteri (S4) och energigemenskap via IKN (S5) uppvisar högre klimatpåverkan, cirka 39 respektive 45 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. I ett elsystem med låg klimatpåverkan får den extra infrastrukturen och de tillkommande komponenterna i dessa system en större relativ betydelse.

#### *Malmö och Burlövs fjärrvärme (avfallsförbränning)*

I Figur 33 visas resultatet i ett system med fjärrvärme producerad från andra energikällor än i basfallet som bygger på Krafringens mix med biobränsle. Resultatet utgår från fjärrvärmens i Malmö och Burlöv som produceras till stor del av avfallsbaserade bränslen med emissionsfaktor på cirka 102 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh (E.ON Sverige AB, 2026).

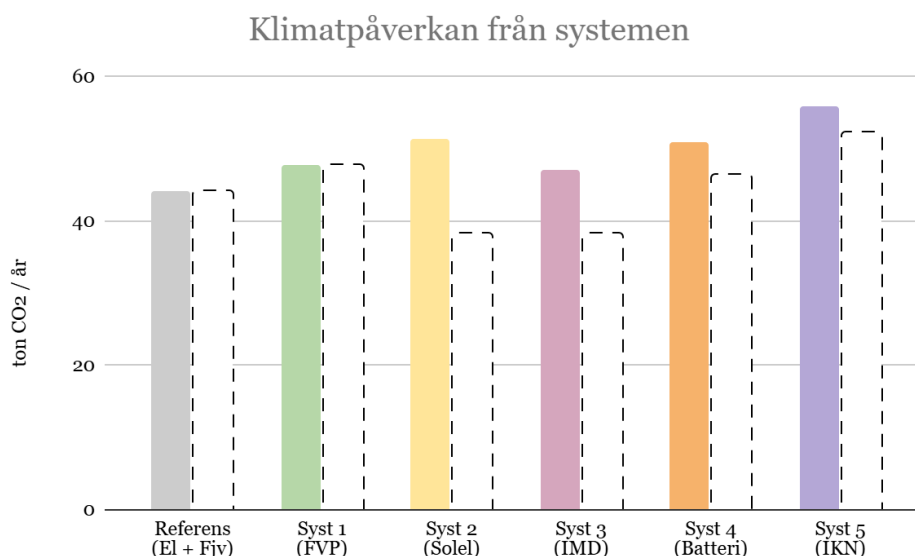


Figur 33: Klimatpåverkan för respektive system (färgad stapel) jämfört med referensfallet (streckad stapel) med emissionsfaktorn från Malmö och Burlövs fjärrvärme.

Emissionsfaktorn för fjärrvärmen är betydligt högre än klimatpåverkan från inköpt el, och frånluftsvärmepumpar blir ett bättre alternativ utifrån ett klimatmässigt perspektiv. Detta beror på att andelen köpt fjärrvärme minskar, samtidigt som den köpta elen som används för frånluftsvärmepumparna omvandlas till ett större antal kWh värme.

#### *Inga klimatkrediter för såld solel*

I Figur 34 visas resultatet för ett scenario där inga klimatkrediter ges för såld solel. Resultaten visar att klimatpåverkan ökar för samtliga systemlösningar som inkluderar solcellsproduktion, jämfört med huvudresultatet där klimatkrediter tilldelas. Systemlösningarna med solel (S2 - S5) påverkas tydligast, där klimatpåverkan ökar från 38 - 51 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år för S2. Motsvarande ökning ses även för S4 och S5, som uppgår till 51 respektive 56 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Referensfallet och systemlösning 1, som saknar solcellproduktion, påverkas däremot inte av förändringen och kvarstår på samma nivå som i huvudresultatet.

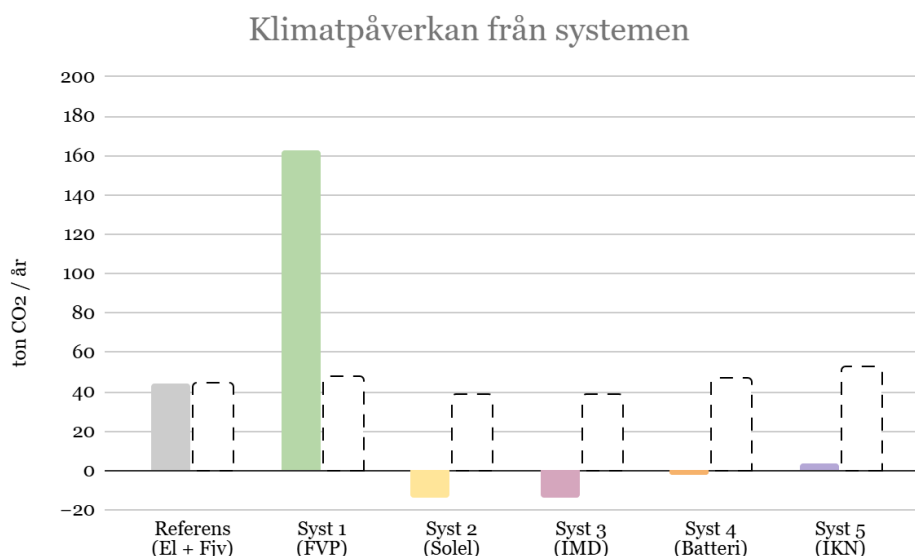


*Figur 34: Klimatpåverkan per system utan klimatkredit för såld solexport - färgade staplar visar respektive system och streckade staplar referensfallet.*

Att klimatpåverkan ökar beror på att den exporterade solexporten inte längre antas ersätta elproduktionen i det omgivande elsystemet. Därmed uteblir den klimatnytta som tidigare tilldelats systemen i form av undvikna utsläpp. En ökad egenanvändning av solexport blir bättre utifrån ett klimatperspektiv om ingen kredit ges för såld solexport. Resultaten visar att antagandet om klimatkrediter för såld solexport har stor påverkan på utfallet, särskilt för system med hög solexportproduktion och export. I detta scenario förändras även rangordningen mellan systemen. Referensfallet uppvisar lägst klimatpåverkan, följt av systemlösning 3 (IMD), systemlösning 1 (FVP) samt systemlösningarna med enbart solceller och batteri (S2 och S4), som ligger på liknande nivåer. Systemlösning 5 (IKN) uppvisar högst klimatpåverkan.

#### *Marginaler för förändrad elanvändning (Årsmedelvärde 2025)*

I Figur 35 redovisas resultatet med genomsnittlig marginaler 2025, där åtgärder som ändrar energibehovet antas påverka produktionen av genomsnittlig marginaler i stället för den genomsnittliga användningsmixen. Resultatet är baserat på årsmedelvärde för marginaler 2025 för solexport och värmelast (uppvärmningssäsongen) i elområde 4 (SE4). Emissionsfaktorn för marginaler när solexportproduktionen är som högst motsvarade 290 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh, medan emissionsfaktorn för marginaler under uppvärmningssäsongen när värmepumparna är i drift motsvarade 470 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh (Profu, 2026). Dessa värden används för den förändrade energianvändningen i de olika systemlösningarna, medan genomsnittliga emissionsfaktorer används för elanvändningen som är konstant.



Figur 35: Klimatpåverkan utifrån ett konsekvensperspektiv med genomsnittlig marginalel 2025 (Profu, 2026)

Användning av årsmedelvärden för marginalel i SE4 leder till betydligt större effekter vid införande av energiåtgärder, eftersom elproduktion med högre klimatpåverkan antas påverkas vid förändringar i elanvändningen. Resultatet visar att införande av FVP leder till en större klimatpåverkan medan införandet av solceller leder till en större klimatnytta. Däremot kvarstår slutsatsen om att systemlösning 2 - 3 är det bästa alternativet, och införande av batterier och IKN leder inte till någon ytterligare klimatnytta i systemen. Ytterligare analys av inverkan från val av marginalel analyseras i kapitel 6.6, där tidssteg med timvis marginalel i framtida scenarier undersöks i stället för årsmedel 2025.

## 6.5.2 Känslighetsanalyser på komponentnivå

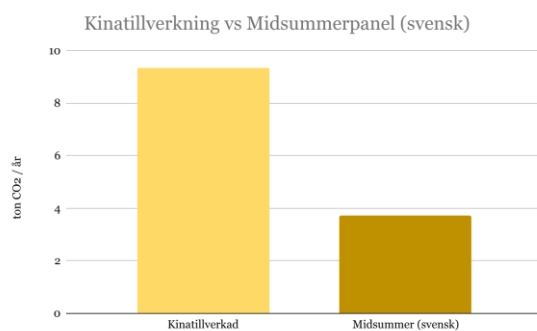
### *Svensktillverkad solcellspanel*

I denna känslighetsanalys undersöks hur resultaten påverkas om de konventionella solcellsmodulerna ersätts med en svensktillverkad solcellsprodukt. Som representativt alternativ används Midsummer WAVE, för vilken specifika klimatdata saknas i form av EPD (Midsummer, u.å.). Tillverkaren anger ett klimatavtryck på 6 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh för hela värdekedjan för Midsummers övriga produkter (Slim och Bold), och antas därför vara representativt även för WAVE-modulen. Detta kan jämföras med de beräknade utsläppen på ungefär 16 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh för dagens konventionella solcellmoduler som i största grad produceras i Kina.

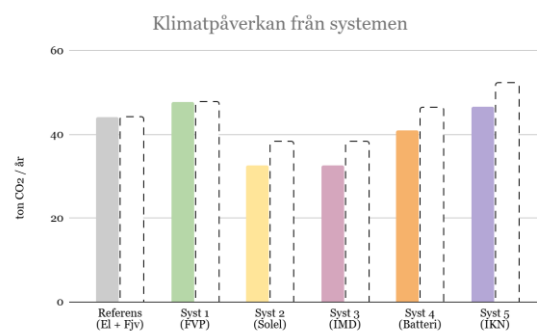
Produkten tillverkas i Sverige, i Järfälla utanför Stockholm, och uppges ha ett väsentligt lägre klimatavtryck än dagens konventionella solcellsmoduler, främst till följd av låg materialanvändning och en resurseffektiv tillverkningsprocess. Enligt tillverkaren är klimatpåverkan upp till 90 % lägre jämfört med traditionella paneler. I analysen antas en livslängd på 25 år, i linje med produktgarantin.

För att möjliggöra jämförbarhet antas att den årliga elproduktionen är densamma som i grundfallet (cirka 622 000 kWh/år). Den aktuella tekniken i praktiken kräver betydligt större ytor men skulle kunna användas i fall där utrymme inte är begränsat eller genom installation på fler ytor, såsom fasader och balkonger. Med detta antagande uppgår klimatpåverkan från solcellsmodulerna till cirka 3,7 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, vilket kan jämföras med 9,4 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år för de konventionella modulerna. Det motsvarar en minskning av klimatpåverkan med cirka 60 %.

Den lägre klimatpåverkan på komponentnivå får tydligt genomslag i systemresultaten, se Figur 36 och 37. För systemlösningarna med solet (S2 - S5) minskar klimatpåverkan avsevärt jämfört med huvudresultatet. Exempelvis minskar S2 från cirka 38 till 33 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år, vilket motsvarar en reduktion på drygt 5,7 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. Även klimatpåverkan per levererad energienhet minskar, från cirka 15 till 13 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh. Samtidigt bör det noteras att jämförelsen baseras på tillverkaruppgifter snarare än tredjepartsverifierade EPD:er, vilket innebär att resultaten bör tolkas med viss försiktighet.



Figur 36: Klimatpåverkan från solceller - Kinatillverkade (basfall) jämfört med svensktillverkade (Midsummer).

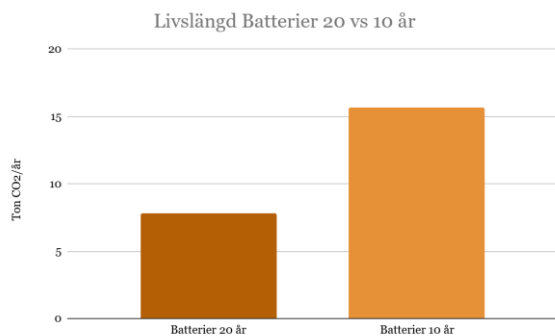


Figur 37: Systemets klimatpåverkan vid olika livslängd för solceller - färgade staplar visar 30 år och streckade staplar 25 år (huvudfall).

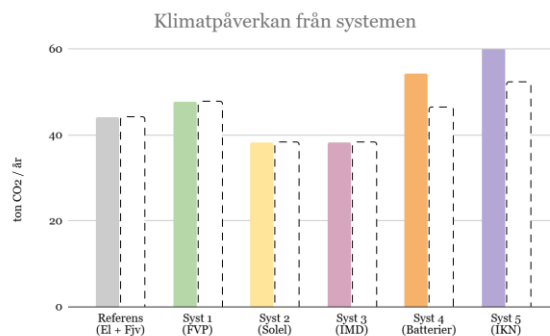
### Livslängd batterier

I huvudresultatet uppskattas livslängden för batterier till 20 år enligt teknisk beskrivning. Däremot uppskattar Carvalho et al. (2021) att batterier som används för solet snarare har en

livslängd på ungefär 10 år. Detta skulle resultera i en betydligt större påverkan och klimatpåverkan från batterierna skulle öka med 7,8 ton per år, vilket illustreras i Figur 38 samt systemförändringen i Figur 39. Batterierna utgör därmed även den största andelen av den totala klimatpåverkan på komponentnivå. Systemval 4 och 5 försämras avsevärt vid denna ändring.



Figur 38: Klimatpåverkan från batterier vid 20 års (huvudfall) respektive 10 års livslängd.



Figur 39: Systemets klimatpåverkan vid olika batterilivslängder - färgade staplar visar 10 år och streckade staplar 20 år (huvudfall).

### 6.5.3 Övriga analyser

Utöver de känslighetsanalyser som redovisats ovan har ytterligare analyser genomförts för att undersöka hur olika antaganden påverkar resultaten. Dessa analyser gav dock relativt små utslag på den totala klimatpåverkan och redovisas därför sammanfattat i Tabell 4. Ett positivt värde innebär att klimatpåverkan ökar och ett negativt värde innebär att klimatpåverkan minskar. Detta indikerar att resultaten är relativt robusta mot mindre förändringar i antaganden kopplade till exempelvis vissa komponenters livslängd, ursprung och systemutformning.

Tabell 4: Känslighetsanalyser med mindre utslag, procentuell förändring.

| Ändrad aspekt    | Referens | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|------------------|----------|----|----|----|----|----|
| FVP (annan)      | 0        | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| FVP 10 år        | 0        | 4  | 5  | 5  | 4  | 4  |
| Solceller 30 år  | 0        | 0  | -4 | -4 | -3 | -3 |
| Batterier EU     | 0        | 0  | 0  | 0  | -4 | -4 |
| IKN förlängt x 3 | 0        | 0  | 0  | 0  | 0  | 3  |

|              |   |   |   |   |   |   |
|--------------|---|---|---|---|---|---|
| Utan D-modul | 0 | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 |
|--------------|---|---|---|---|---|---|

Även om vissa förändringar har en begränsad påverkan på systemnivå har val av komponenter en betydelse på klimatpåverkan. Vissa köldmedier i värmepumpar har en stor klimatpåverkan och därmed har värmepumpar med andra köldmedium och tekniker analyserats. Användning av en kombinerad värmepump och ventilationsaggregat från IV Produkt minskade klimatpåverkan från värmepumparna på komponentnivå med 8,8 %.

Resultatet baseras på Ecoheater-serien med en normaliserad livslängd på 22 år i enlighet med den jämförda värmepumpen. Eftersom ventilation är inkluderat i produkten blir klimatnyttan större då produkten även kan ersätta separat ventilationsutrustning. Däremot inkluderas inte ventilation i denna studie eftersom den finns med i samtliga systemlösningar. En värmepump med liknande värmeeffekt och det mer miljövänliga köldmediet R290 analyserades och visade endast en liten påverkan på resultatet (Appendix D). Klimatpåverkan från solcellsmodulerna minskar med 17 % om livslängden förlängs från 25 till 30 år, men sett till systemen får det mindre än 5 % påverkan.

Om batteritillverkningen sker i Europa uppskattas klimatpåverkan minska med cirka 25 % på komponentnivå enligt Carvalho et al. (2021). Detta utgör en av de största relativa förändringarna inom denna kategori. Resultatet kan även anses indikera en möjlig framtida utveckling, där batterier producerade i exempelvis Kina tillverkas med en elmix med lägre emissionsfaktor. En tredubbling av omfattningen av det interna nätet (IKN), exempelvis genom längre kabeldragningar, ger endast en marginell ökning av klimatpåverkan (cirka 3 % i scenario S5), vilket visar att nätinfrastrukturen har en relativt liten påverkan i förhållande till övriga systemkomponenter.

Att exkludera modul D, det vill säga klimatkrediter för återvinning och energiåtervinning i slutskedet, leder till en viss ökning av klimatpåverkan för samtliga systemlösningar. Effekten är dock begränsad (upp till cirka 4 %), vilket indikerar att resultaten inte är starkt beroende av antaganden kring krediter i livscykelns slutskede.

#### 6.5.4 Aggregerad känslighetsanalys

För att komplettera de enskilda känslighetsanalyserna, där en parameter varierats i taget, har även en aggregerad känslighetsanalys genomförts. Flera förändrade antaganden kombineras för att bättre representera möjliga framtida utvecklingsbanor.

### *Bästa fall*

Ett bästa fall-scenario har analyserats för att illustrera en möjlig framtida utveckling där flera gynnsamma faktorer sammanfaller. Scenariot inkluderar en framtida nordisk elmix med låg klimatpåverkan (15,5 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh) samt teknikutveckling i form av klimatoptimerade, svensktillverkade solcellsmoduler. Dessa antaganden speglar en utveckling mot ett mer hållbart energisystem med både renare elproduktion och förbättrad materialprestanda. Resultaten visar att den totala klimatpåverkan minskar avsevärt jämfört med huvudresultatet. Referensfallet i scenariot uppgår till cirka 32 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år (en minskning med 27 % jämfört med huvudresultatet), medan systemlösningarna varierar mellan cirka 26 och 40 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år. De lägsta värdena erhålls för systemlösning 2 och 3, vilket indikerar att införandet av solex i kombination med en klimatmässigt fördelaktig elmix ger betydande utsläppsreduktioner. Samtidigt kvarstår en viss spridning mellan alternativen, där lösningar med högre elanvändning fortfarande uppvisar något högre klimatpåverkan. Resultaten indikerar även att kombinationen av solex och fjärrvärme med låg klimatpåverkan utgör en särskilt fördelaktig systemlösning för att minska byggnadernas totala klimatpåverkan.

### *Värsta fall*

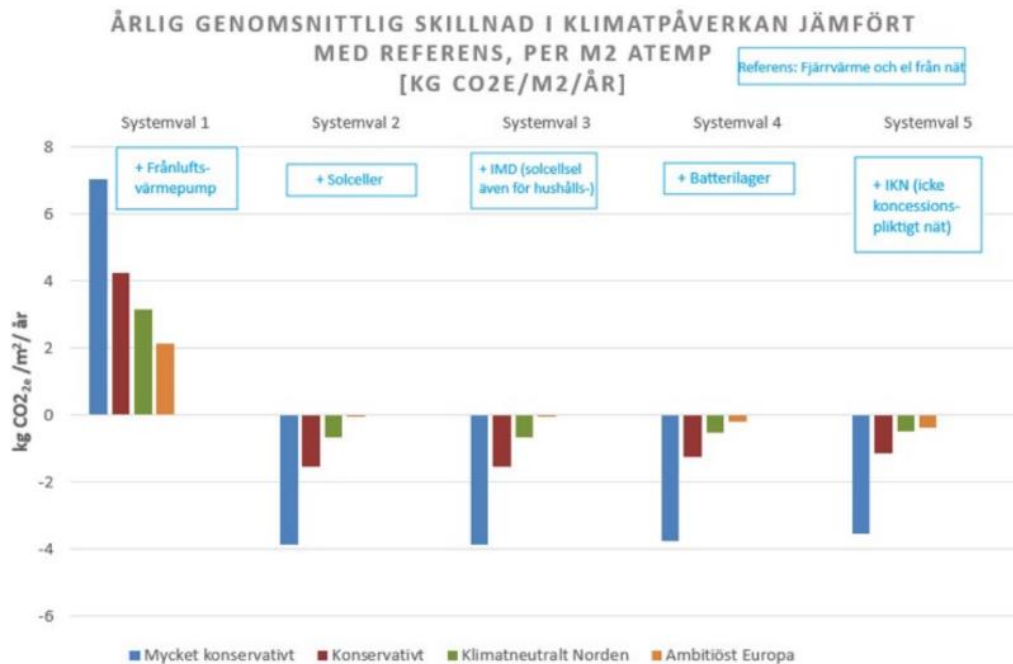
Ett värsta fall-scenario har även analyserats för att belysa hur systemet påverkas av samtidiga ogynnsamma antaganden. I detta scenario kombineras en europeisk elmix med hög klimatpåverkan (86,2 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh), en mer utsläppsintensiv fjärrvärmemix för Malmö/Burlöv (102,44 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh), kortare livslängd för batterier (10 år) samt avsaknad av klimatkrediter för såld solex. Dessa antaganden representerar en situation där både energisystemets utveckling och tekniska förutsättningar är mindre gynnsamma. Resultaten visar en kraftig ökning av klimatpåverkan i samtliga systemlösningar. Referensfallet i scenariot uppgår till cirka 246 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år (en ökning på 460 % jämfört med huvudresultatet), medan övriga system varierar mellan cirka 190 och 209 ton CO<sub>2</sub>-ekv/år.

Trots den generellt högre nivån kvarstår en liknande rangordning mellan systemlösningarna som i huvudresultatet, där lösningar med hög andel solex och lägre beroende av köpt energi presterar bättre relativt sett. Skillnaderna mellan alternativen minskar dock i betydelse i jämförelse med den övergripande ökningen av klimatpåverkan, vilket indikerar att externa faktorer såsom el- och fjärrvärmemix har en mycket stor inverkan på resultaten.

## 6.6 Jämförelse med resultatet från Tidstegen

Som komplement till den egna analysen används resultat från en analys genomförd i verktyget Tidstegen utförd av IVL Svenska Miljöinstitutet AB på uppdrag av Kraftringen Energi AB (Andersson, 2026). Analysen baseras på samma byggnader och energisystem som

i denna studie och omfattar en total A-temp på 22 981 m<sup>2</sup>. Resultaten presenteras i Figur 40 som årlig genomsnittlig förändring i klimatpåverkan uttryckt i kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup> A-temp och år.



Figur 40: Analys från Tidstegen: årlig genomsnittlig skillnad i klimatpåverkan per kvadratmeter A-temp i driftskede. Staplarna illustrerar skillnad från referensfallet (Andersson, 2026).

Resultaten avser förändring i klimatpåverkan jämfört med referensfallet och baseras på ett framåtblickande konsekvensperspektiv över perioden 2025 - 2050. Tidstegen använder ett livscykelperspektiv för energibärare såsom el, solceller och fjärrvärme, men inkluderar inte livscykeldata för övriga tekniska komponenter som ingår i denna studie, exempelvis batterier, energiroutrar och interna elnät. Resultaten är därför inte direkt jämförbara kvantitativt med studiens huvudresultat, men ger ett värdefullt komplement för att analysera systemövergripande effekter.

Resultaten visar att systemlösning 1 (frånluftsvarmepump) medför en ökad klimatpåverkan jämfört med referensfallet i samtliga scenarier. Ökningen är störst i scenarier med hög utsläppsintensitet i elsystemet och minskar i mer ambitiösa framtidsscenarier. För systemlösningar som inkluderar solceller (system 2 - 5) ses i stället en minskad klimatpåverkan jämfört med referensfallet. Däremot visar resultaten att åtgärder som ökar egenanvändningen av solel, såsom IMD, batterier och IKN-system, generellt inte ger en ökad klimatnytta. Istället minskar klimatnyttan något i majoriteten av fallen till följd av förluster i systemen samt klimatpåverkan från tillkommande komponenter och infrastruktur. För IKN-

systemet gäller detta dock inte i det mest ambitiösa framtidsscenariot, där klimatpåverkan istället minskar något jämfört med huvudscenariot.

Om lagringstekniker skulle möjliggöra att marginalet med högre klimatpåverkan ersätts kan komponenter som batterier bidra till klimatnytta. Detta verkar däremot inte vara fallet utifrån resultatet i Tidstegen, som tar hänsyn till timvis marginalet. Detta beror troligtvis på att marginalet inte skiljer sig avsevärt mellan de tidpunkter då majoriteten av solelen produceras och lagras. Om solelen istället skulle kunna lagras under längre tidsperioder, eller i större utsträckning anpassas för att ersätta fossil produktion, skulle resultatet kunna se annorlunda ut.

En viktig observation är att skillnaderna mellan systemlösningarna minskar i scenarier med en mer klimatneutral elproduktion. Detta beror på att marginalets klimatpåverkan minskar vilket reducerar klimatnyttan av att ersätta köpt el med solel, vilket stämmer överens med resultaten i denna studie. I scenariot Ambitiöst Europa är därför skillnaderna mellan alternativen relativt små, medan de är betydligt större i mer konservativa scenarier. Övergripande bekräftar Tidstegen-analysen de huvudsakliga trenderna i denna studie:

- Frånluftsvärmepumpar ger en ökad klimatpåverkan i det studerade systemet.
- Solceller ger en tydlig klimatnytta.
- Batterier och IKN ger ingen ytterligare klimatnytta i driftfasen.

Användning av marginalet vid analys av en energiåtgärd ger en större påverkan på systemet. Detta beror på att marginalet ofta produceras från fossila energikällor och därmed har högre emissionsfaktorer än genomsnittet. I känslighetsanalysen med genomsnittlig marginalet 2025 (se kap 6.5.1) motsvarar resultaten bäst det mest konservativa scenariot i resultatet från Tidstegen. I analysen har komponenternas livscykelpåverkan en mindre relativ påverkan på resultatet, men utvecklingen av elsystemet kommer troligtvis göra att klimatpåverkan från marginalet även minskar. Det gör klimatpåverkan utifrån ett genomsnittsperspektiv blir mer likt resultaten från marginalperspektivet. Även om storleken kan skilja sig utifrån ett marginalperspektiv kvarstår samma slutsatser och mönster mellan de olika systemlösningarna.

## 7. Diskussion

I detta kapitel diskuteras och analyseras resultaten från studien med syfte att tolka deras innebörd och sätta dem i ett bredare sammanhang. Resultaten jämförs mellan de olika systemlösningarna och relateras till studiens metodval, antaganden och systemgränser. Vidare belyses centrala drivkrafter bakom skillnader i klimatpåverkan samt hur olika komponenter

och energiflöden påverkar utfallet. Kapitlet inkluderar även en diskussion om osäkerheter och begränsningar i analysen, exempelvis kopplat till val av emissionsfaktorer, datakällor och förenklingar i modelleringen. Resultaten sätts även i relation till alternativa beräkningsmetoder, såsom Tidstegen, för att ge en bredare förståelse av energigemenskapers klimatpåverkan.

## 7.1 Tolkning av resultaten

Resultaten visar att den största klimatnyttan i det studerade systemet uppnås genom införande av solel, medan ytterligare teknisk komplexitet i form av batterier och energidelning inte ger proportionella klimatvinster. I flera fall leder dessa lösningar istället till en ökad total klimatpåverkan. Detta tyder på att klimatoptimering i lokala energisystem i första hand bör fokusera på lokal elproduktion snarare än på mer avancerad systemintegration.

Användning av endast frånluftsvärmepumpar (FVP) i systemlösning 1 framstår inte som klimatmässigt fördelaktigt eftersom klimatpåverkan från den fjärrvärme som ersätts redan är låg. FVP möjliggör däremot uppvärmning med solel i de efterföljande systemlösningarna, där kombinationen av värmepumpar och solel kan bidra till en uppvärmningslösning med låga utsläpp. Samtidigt är uppvärmningsbehovet som störst under vinterhalvåret när solelproduktionen är låg, vilket innebär att fjärrvärme i detta system kan vara ett mer fördelaktigt uppvärmningsalternativ. Resultaten indikerar därmed att kombinationen av solel och fjärrvärme med låg klimatpåverkan kan vara mer fördelaktigt än att ersätta fjärrvärme med värmepumpsdrift i denna typ av system. Solelen skulle då istället kunna användas till annan elanvändning inom fastigheterna eller exempelvis till laddning av elfordon, där den kan bidra till att minska behovet av köpt el och fossilbaserade transporter. Solel ger en tydlig klimatnytta, främst genom att minska områdets elbehov samt genom den kredit som tilldelas exporterad solel som kan ersätta annan elproduktion.

### *Betydelsen av individuell mätning och debitering (IMD)*

IMD ger endast begränsade ytterligare klimatutsläpp i detta fall. Det tyder på att åtgärden främst påverkar fördelningen av energiflöden snarare än den totala klimatpåverkan, eftersom ökad egenanvändning i stor utsträckning motsvaras av minskad exporterad el med klimatkredit. Samtidigt är klimatpåverkan från IMD-mätarna i sig försumbar.

### *Avtagande klimatnytta vid ökad systemkomplexitet*

När ytterligare tekniska lösningar adderas, såsom batterilagring och energidelning via IKN, ökar istället klimatpåverkan. I ambitiösa scenarier med låga utsläpp från el och fjärrvärme kan mer komplexa system vara sämre utifrån ett klimatperspektiv än endast el och fjärrvärme

(referensfallet). Under de kommande åren förväntas däremot ett förändrat energibehov påverka elproduktion med höga utsläpp, vilket ökar klimatnyttan av solet, och alla efterföljande systemlösningar (S2 - S5) blir betydligt bättre än referensfallet. Samtidigt kvarstår det övergripande mönstret mellan systemen, där systemlösning 4 och 5 med batterier och IKN uppvisar högre klimatpåverkan än systemlösningarna med endast solet och IMD. Lågst klimatpåverkan per levererad kWh energi uppnås vid systemlösningarna med solet, med eller utan IMD, medan ytterligare systemintegration genom batterier och IKN ökar klimatpåverkan. Detta illustrerar en mer generell systemprincip, där tillkommande tekniska lösningar i energisystem ofta ger avtagande marginalnytta ur ett klimatperspektiv.

#### *Drivande komponenter bakom resultaten*

Solcellssystemet utgör den enskilt viktigaste åtgärden i analysen och bidrar till en tydlig minskning av klimatpåverkan genom ersättning av köpt el. Samtidigt innebär tillkommande tekniker såsom batterilagring, energiroutrar, kablage och övrig infrastruktur i IKN-systemet en ökad klimatpåverkan från tillverkning, utan att ge en motsvarande ytterligare klimatnytta. Inom systemlösning 5 (IKN) är det framförallt energiroutrar som bidrar till den tillkommande klimatpåverkan. Kablarna inom det interna nätet har en förhållandevis lång livslängd och därmed en begränsad påverkan jämfört med övriga komponenter. Däremot visar kablar och övriga komponenter i IKN-systemet ingen ytterligare klimatnytta. Det interna nätet skulle kunna bidra till klimatnytta genom minskade distributionsförluster till följd av kortare distributionsavstånd. Det är dock osäkert i vilken utsträckning detta faktiskt leder till en minskade totala förluster, eftersom motsvarande avstånd även kan antas i det anslutande nätet mellan produktion och konsumtion.

Utifrån resultatet i Tidstegen bedöms lagring i batterier inte medföra någon betydande klimatnytta. Istället ökar den totala påverkan till följd av ökade förluster och höga utsläpp i tillverkningen. Detsamma antas gälla för energirouteren, som kan eventuellt kan möjliggöra mer effektiv styrning av energin och effektbalansering till det anslutna elnätet. Lagring av energi och ersättning av marginalel under andra tidpunkter antas dock inte vara klimatmässigt fördelaktigt i detta system enligt resultaten i Tidstegen. Den korta referenslivslängden gör även att klimatpåverkan för energiroutrarna blir förhållandevis hög.

Sammanfattningsvis är det främst batterier och energiroutrar som driver den ökade klimatpåverkan, medan IMD-mätarna har en marginell påverkan på resultaten. I det studerade systemet med låga klimatutsläpp från elanvändning och fjärrvärme får tillkommande komponenter som batterier och IKN ett större bidrag till de totala utsläppen.

### *Robusthet och känslighet för tolkning*

Slutsatsen om att solet och IMD (S2-S3) är de mest klimatsmarta alternativerna är robusta vid variationer i centrala antaganden. Vid en mer koldioxidintensiv elmix förbättras samtliga system med solet relativt referensfallet, men systemlösningarna med solet och IMD framstår fortfarande som de mest gynnsamma. Samma övergripande mönster återkommer även vid antagandet om en mer koldioxidintensiv fjärrvärmemix. Vid lägre emissionsfaktorer för el, motsvarande framtida scenarier, minskar skillnaderna mellan systemen, men huvudresultatet består: den ytterligare klimatnyttan av batterier och IKN är begränsad i förhållande till deras klimatpåverkan. I vissa fall framstår dessa lösningar till och med som sämre än enklare alternativ. Detta visar att studiens huvudsakliga slutsatser är robusta gentemot variationer i centrala systemantaganden.

### *Europeiskt perspektiv*

Med europeisk elmix blir samtliga systemlösningar med solet (S2-S5) betydligt bättre än referensfallet, och komponenternas inbyggda påverkan utgör en mindre andel av den totala klimatpåverkan. Detta tyder på att mer komplexa energilösningar kan vara mer motiverade utifrån ett europeiskt perspektiv om det kan öka drivkraften till att investera i förnybart. I varmare klimatzoner, där elanvändningen i hög grad drivs av kylbehov, sammanfaller efterfrågan på el dessutom ofta med soletproduktionen under dygnets soliga timmar. Detta innebär att en större andel av den producerade soleten kan användas direkt, vilket minskar behovet av både export och lagring. I sådana system kan soleten troligtvis minska mer koldioxidintensiv marginalproduktion, vilket ytterligare förstärker klimatnyttan per producerad kWh.

Systemlösningarna med batterier och IKN har en fortsatt högre klimatpåverkan än alternativen med endast solceller och IMD. Detta bygger på att batterierna och IKN inte har någon klimatnytta i de analyserade systemen, eftersom klimatkredit ges för såld solet och en ökad egenanvändning därmed inte har någon påverkan. Om batterier kan ersätta marginalelproduktion under andra tidpunkter med högre klimatpåverkan i andra system kan det påverka resultatet. Då skulle införande av batterier kunna vara en klimatnytta som skulle kunna kompensera den inbyggda påverkan från komponenterna.

## **7.2 Energigemenskaper i framtiden**

Resultaten från denna studie visar att vissa tillkommande tekniska lösningar för energilagring och delning inte har någon klimatnytta i det studerade systemet, men de kan ändå bidra med andra typer av systemnyttor som inte fångas i analysen. I ett framtidsperspektiv kan faktorer som resiliens, effektbalansering, teknikutveckling i form av exempelvis effektivare och mer

klimatoptimerade komponenter samt hur energigemenskaper utformas och kopplar samman olika typer av byggnader få en ökad betydelse för deras roll i energisystemet.

## 7.2.1 Faktorer utöver LCA-perspektivet

### *Resiliens*

Resiliens är systemets förmåga att hantera störningar och upprätthålla funktion vid exempelvis avbrott i det övergripande elnätet. Genom lokal produktion, lagring och styrning kan energigemenskaper bidra till ökad robusthet och försörjningstrygghet. I synnerhet kan ett icke-koncessionspliktigt nät (IKN) möjliggöra omfördelning av energi mellan byggnader och därmed minska systemets sårbarhet. En särskilt relevant aspekt av resiliens är möjligheten till ö-drift, där en energigemenskap kan fortsätta fungera frikopplad från det överliggande elnätet vid exempelvis strömavbrott. Genom lokal produktion, lagring och styrning kan vissa kritiska funktioner upprätthållas, vilket kan vara betydelsefullt ur ett samhällsperspektiv. Denna typ av systemnytta beaktas inte i klimatberäkningarna, men kan utgöra ett viktigt motiv för implementering av mer komplexa energisystem.

### *Effektbalansering*

En annan central aspekt är effektbalansering. Genom att samordna produktion, lagring och elanvändning inom en energigemenskap kan effekttoppar reduceras, vilket minskar belastningen på det överliggande elnätet. Detta kan minska behovet av nätutbyggnad och nätförstärkningar, med både ekonomiska besparingar och potentiella klimatvinster som följd. Ur ett elnätsperspektiv är det dock viktigt att analysera det aktuella nätets förutsättningar, exempelvis om det finns kapacitetsbrist eller behov av förstärkningar. I områden där energigemenskaper kan bidra till att reducera effekttoppar, exempelvis under kalla vinterdagar med hög belastning, kan de utgöra en värdefull flexibilitetsresurs. Samtidigt är energigemenskaper endast en av flera möjliga lösningar för att bidra med flexibilitet i elsystemet. Dessa systemnyttor ingår inte i den genomförda analysen, men kan vara viktiga i en bredare bedömning av energigemenskapers samhällsnytta.

## 7.2.2 Framtida förändringar

### *Teknikutveckling*

En viktig faktor är utvecklingen av energiteknik, där särskilt solcellstekniken förväntas förändras. Nya typer av solceller, exempelvis byggnadsintegrerade lösningar i form av takpannor eller fasadmateriell, kan påverka både materialanvändning, verkningsgrad och livslängd (Energiföretagen Sverige, 2023 b). Därmed kan både klimatpåverkan från tillverkningen och systemets prestanda under användningsfasen förändras. Även förlängda

livslängder för komponenter såsom batterier, växelriktare och styrsystem kan ha stor betydelse för resultatet. Längre livslängd innebär att klimatpåverkan från tillverkning fördelas över fler år, vilket minskar den årliga klimatpåverkan och kan förbättra systemens relativa prestanda. Förändringar i byggnaders energieffektivitet kan också påverka resultaten. Om energibehovet minskar genom effektivare installationer, bättre styrning eller åtgärder i klimatskalet förändras både behovet av köpt energi och nyttan av olika tekniska systemlösningar. Detta kan i sin tur påverka den relativa klimatnyttan av exempelvis solel, värmepumpar och energilagring.

### *Europeisk produktion*

Utvecklingen av europeisk produktion av energiteknik kan också påverka resultaten. I dagsläget saknas ofta detaljerade och jämförbara livscykeldata för europeiskt tillverkade solceller och batterier, men tillgängliga studier tyder på att produktion i Europa generellt har lägre klimatpåverkan än produktion i regioner med mer fossilintensiv elmix. En ökad regional produktion av solceller och andra komponenter skulle därmed kunna minska energigemenskapers totala klimatpåverkan.

### *Utformning och variation av energigemenskaper*

En annan viktig aspekt är att energigemenskaper i praktiken kan utformas i många olika skalor. Större system med fler byggnader och mer diversifierade energiflöden kan ha bättre förutsättningar för optimering, exempelvis genom bättre matchning mellan produktion och användning. Den studerade energigemenskaper representerar ett relativt homogent system, där samtliga tio byggnader har liknande energibehov och i stort sett samma tekniska lösningar. Studien belyser därför främst hur tekniker samverkar i ett sådant system, snarare än ett klimatoptimerat upplägg.

I andra typer av energigemenskaper kan större klimatnytta uppnås genom att koppla samman byggnader med olika energiprofiler och laster över dygnet, exempelvis bostäder, lokaler och verksamheter. I sådana system kan överskottsel från en byggnad användas direkt i en annan, även om alla byggnader inte har egen produktion. En sådan diversifiering kan öka egenanvändningen av lokal elproduktion och därmed minska behovet av köpt el mer än i det homogena system som studeras här. Klimatpåverkan från installation av ett internt nät är lägre än klimatpåverkan från batterilagring. I system med större variation i produktions- och lastprofiler skulle interna nät därför kunna vara mer fördelaktiga ur klimatperspektiv, om de möjliggör ökad direktanvändning av solel. I ett system som Pottugnen och Spjället, där byggnaderna är relativt lika, kan däremot lagring över tid få större betydelse för att öka egenanvändningen.

### *Virtuella energigemenskaper*

Utöver fysiska energigemenskaper baserade på interna nät (IKN) finns även konceptet virtuella energigemenskaper, där energidelning sker utan direkt fysisk koppling mellan byggnader. I dessa system samordnas produktion och konsumtion genom det överliggande elnätet, ofta med hjälp av digital styrning, avtal och aggregeringstjänster (Energimyndigheten, 2026 a). Virtuella energigemenskaper möjliggör att aktörer med olika produktions- och lastprofiler kan samverka även om de är geografiskt åtskilda. Detta kan öka nyttan av lokal elproduktion och flexibilitet utan behov av investeringar i fysisk infrastruktur såsom interna nät eller kablage.

Ur ett klimatperspektiv kan detta innebära att vissa funktioner som eftersträvas med IKN, såsom ökad egenanvändning och bättre matchning mellan produktion och efterfrågan, kan uppnås med lägre materiella investeringar. Samtidigt beror klimatnyttan på hur elflöden allokeras i det överliggande elsystemet och på vilka antaganden som görs om vilken elproduktion som ersätts (Energimyndigheten, 2026 a). Virtuella energigemenskaper representerar därmed ett alternativt angreppssätt för att uppnå systemoptimering, vilket kan vara särskilt relevant i fall där investeringar i fysisk infrastruktur är begränsade eller där större geografisk spridning av aktörer eftersträvas. Därutöver förhindrar det klimatpåverkan från tillkommande infrastruktur.

### *Storskalig implementering*

En ytterligare aspekt är hur resultaten påverkas om energigemenskaper införs i stor skala. I ett sådant scenario kan den systemövergripande effekten förändras, eftersom en hög andel lokal elproduktion påverkar det överliggande elsystemets drift och sammansättning. Om många aktörer samtidigt exporterar solceller kan värdet av denna export minska, både ekonomiskt och ur klimatperspektiv, beroende på vilken elproduktion som faktiskt trängs undan. Detta innebär att klimatnyttan av lokal elproduktion inte nödvändigtvis är konstant, utan kan vara beroende av hur utbredd tekniken är i energisystemet.

## 7.2.3 Ekonomiska och sociala aspekter

Utöver klimatpåverkan finns även ekonomiska och sociala aspekter som är centrala vid utvärdering av energigemenskaper, men som inte inkluderas i denna studie. Investeringar i tekniker såsom batterier och interna elnät kan exempelvis vara motiverade ur ett ekonomiskt perspektiv genom minskade effekttariffer eller ökad självförsörjningsgrad, trots att de inte framstår som klimatmässigt fördelaktiga i denna analys. Ekonomiska incitament och regelverk har samtidigt stor betydelse för energigemenskapers attraktivitet. Idag finns exempelvis skattefördelar kopplade till fysiska energigemenskaper och energidelning via

interna nät, medan motsvarande fördelar i nuläget saknas för virtuella energigemenskaper. Intresset för olika typer av energigemenskaper kan därför påverkas av framtida förändringar i regelverk, skatter och ersättningsmodeller. Även möjligheten att söka investeringsstöd och bidrag kan ha stor betydelse för vilka lösningar som bedöms ekonomiskt attraktiva och därmed implementeras i praktiken. Samtidigt kan interna energigemenskaper innebära att vissa kostnader för elnät och infrastruktur fördelas på färre användare i det överliggande elnätet, vilket kan påverka kostnadsfördelningen mellan olika kundgrupper.

Även sociala aspekter, såsom rättvis fördelning av kostnader och nyttor mellan deltagare i energigemenskaper, kan ha stor betydelse. Införande av exempelvis IMD och energidelning kan påverka incitament, beteenden och tillgång till energi på olika sätt. Energigemenskaper kan även bidra till ökat engagemang bland boende genom att synliggöra energianvändning, lokal produktion och möjligheten att påverka det gemensamma energisystemet. Dessa aspekter faller utanför ramen för denna studie men är viktiga att beakta i en helhetsbedömning av energigemenskapers hållbarhet.

## 7.3 Betydelsen av antaganden

Resultaten i denna studie är i hög grad beroende av de antaganden som gjorts om systemutformning, energisystem och modellval. Dessa antaganden påverkar både storleken på den beräknade klimatpåverkan och den relativa jämförelsen mellan systemlösningarna.

En central fråga är i vilken utsträckning resultaten påverkas av att analysen genomförs i ett svenskt energisystem med låg klimatpåverkan från el. För en vidare analys av hur förändrade emissionsfaktorer påverkar resultaten hänvisas till känslighetsanalyserna i kapitel 6.5. I elsystem med högre utsläpp skulle nyttan av tekniker som ökar egenanvändning och flexibilitet sannolikt vara större.

### 7.3.1 Systemantaganden

Upplägget med systemantaganden möjliggör en tydlig jämförelse mellan olika tekniska lösningar, men innebär samtidigt att systemet inte nödvändigtvis är optimerat ur klimatperspektiv. I verkliga energigemenskaper kan variationer i energianvändning, lastprofiler och tillgång till lokal produktion skapa bättre förutsättningar för energidelning och därmed högre klimatnytta. De valda systemantagandena kan därför bidra till att underskatta potentialen i mer heterogent sammansatta energigemenskaper.

### 7.3.2 Antaganden om energisystem

Valet av emissionsfaktorer för el och fjärrvärme har stor påverkan på resultaten. I denna studie används en uppskattad genomsnittlig elmix för de kommande åren i huvudresultatet, vilket ger en låg emissionsfaktor i ett svenskt och nordiskt sammanhang jämfört med Europa. Detta påverkar särskilt resultaten för tekniker som ökar elanvändningen, såsom frånluftsvärmepumpar, samt klimatnyttan av att ersätta köpt el med egenproducerad solel.

Den framtida antagna emissionsfaktorn på 15,5 g CO<sub>2</sub>-ekv/kWh representerar ett scenario med ett väldigt klimatmässigt ambitiöst elsystem. Samtidigt är det osäkert i vilken utsträckning en så låg nivå är realistisk, eftersom det beror på utvecklingen av bland annat förnybar produktion, kärnkraft och flexibilitetslösningar i elsystemet. Resultaten bör därför tolkas som en indikation på hur systemen presterar i ett system med låga emissionsfaktorer, snarare än som en exakt prognos.

Även antaganden om fjärrvärmens klimatpåverkan är avgörande, särskilt i jämförelsen mellan fjärrvärme och elbaserade lösningar. Eftersom fjärrvärmens i det studerade systemet har en låg emissionsfaktor påverkas resultatet i riktning mot att elbaserade alternativ inte alltid ger en klimatmässig fördel.

En viktig aspekt som påverkar resultaten är hur exporterad solel hanteras i analysen. I denna studie tilldelas exporterad solel en klimatcredit, eftersom den antas ersätta elproduktion i det överliggande elnätet. Detta innebär att exporterad el ger ett negativt bidrag till systemets klimatpåverkan. Detta antagande har stor betydelse för resultaten, särskilt för systemlösningar med hög solelproduktion och låg egenanvändning. Om exporterad solel inte hade tilldelats någon kredit, eller om en annan metod för allokering hade använts, hade den beräknade klimatnyttan från solcellssystemen blivit lägre och skillnaderna mellan systemlösningarna förändrats.

En central utgångspunkt i analysen är att solel saknar rörlig produktionskostnad, vilket innebär att all producerad el i praktiken kan antas tas i anspråk i elsystemet och därmed ersätta annan elproduktion. Det är därför rimligt att anta att exporterad solel tränger undan annan elproduktion i det överliggande elsystemet, vilken ofta kan utgöras av mer koldioxidintensiva produktionsslag, exempelvis fossilbaserad kraftproduktion i delar av Europa såsom Tyskland. Detta stärker antagandet att den exporterade elen bidrar till en faktisk klimatnytta på systemnivå.

Valet att inkludera krediter för exporterad solel är motiverat utifrån ett systemperspektiv, där lokal elproduktion antas minska behovet av annan elproduktion i det övergripande energisystemet. Samtidigt gör detta resultaten beroende av antaganden om vilken

elproduktion som faktiskt ersätts. Hur exporterad solcell värderas är nära kopplat till vilket systemperspektiv som tillämpas. I denna studie används ett bokföringsperspektiv med genomsnittlig elmix, medan ett konsekvensperspektiv med marginalel skulle kunna ge en annan värdering av den exporterade elen. Detta innebär att klimatnyttan av solcell och egenanvändning i hög grad är beroende av vilket systemperspektiv som tillämpas. I synnerhet påverkas jämförelsen mellan systemlösningar med olika grad av egenanvändning och export, vilket gör att resultaten bör tolkas i ljuset av de metodval som gjorts.

### 7.3.3 Modellval och metodperspektiv

Valet mellan genomsnittsel och marginalel är centralt för tolkningen av resultaten. I verktyget Tidstegen används ett marginaelperspektiv, vilket ger ett mer konsekvensbaserat synsätt på klimatpåverkan. Resultaten därifrån visar att skillnaderna mellan systemlösning 2 - 5 är relativt små, och att samtliga system med solcell ger liknande klimatbesparingar. Det innebär att ungefär samma marginalel ersätts i de olika systemlösningarna och att införandet av batterier, som möjliggör användning av egenproducerad el vid andra tidpunkter, därmed inte bedöms medföra någon större klimatnytta.

Effekterna av den förändrade energianvändningen kan även anses vara underskattade ur ett marginaelperspektiv, eftersom en genomsnittlig användningsmix används för det förändrade energibehovet i stället för marginalel med högre utsläpp. Detta innebär att införandet av systemlösning 2 och 3 (solcell och IMD) leder till en större minskning av klimatpåverkan, medan påverkan från systemlösning 1 (FVP) blir högre. Däremot uppstår ingen större klimatnytta vid införande av IKN och batterier, vilket överensstämmer med resultaten i denna studie.

Ett helhetsperspektiv som kombinerar marginalel med livscykelanalys skulle vara det mest representativa vid analys av klimatpåverkan från en energiåtgärd. Detta ligger dock utanför ramarna för detta arbete, eftersom det skulle kräva tillgång till och analys av timvis data över marginalel för ett helt år. Därför används i stället en genomsnittlig emissionsfaktor som jämförs med resultaten i tidssteget. Resultaten visar att systemen uppvisar samma övergripande mönster oavsett val av genomsnittsel eller marginalel, men storleken på effekterna av en förändrad elanvändning skiljer sig. Slutsatsen att klimatoptimering uppnås genom solcell och IMD kvarstår oavsett val av genomsnittlig användningsmix eller marginalel.

## 7.4 Osäkerheter

Det finns ett antal osäkerheter i studien som kan påverka resultaten, främst kopplade till datatillgång, användning av proxydata och förenklade antaganden. Osäkerheterna bedöms

dock påverka resultaten i varierande grad, både vad gäller absoluta nivåer och jämförbarheten mellan systemlösningarna.

Studien fokuserar enbart på klimatpåverkan (CO<sub>2</sub>-ekv), vilket innebär att andra miljöpåverkanskategorier, toxicitet och resursanvändning, inte beaktas. Detta skapar en osäkerhet i helhetsbedömningen, särskilt för tekniker med hög materialintensitet såsom batterier och solcellsmoduler. Tidigare studier och miljövarudeklarationer (EPD:er) indikerar dock att klimatpåverkan ofta är en central miljöeffekt för energisystem, vilket motiverar dess användning som huvudfokus i denna studie. Samtidigt är olika miljöpåverkanskategorier svåra att direkt jämföra, eftersom de avser olika typer av miljöeffekter.

Vidare finns osäkerheter kopplade till transportdata, eftersom exakta transportavstånd och logistiklösningar inte är kända. Transporterna har därför uppskattats utifrån rimliga antaganden och tillgängliga uppgifter i EPD:erna. Dessa bidrag utgör dock en relativt liten andel av den totala klimatpåverkan, vilket innebär att även större relativa avvikelser i transportantaganden sannolikt endast får begränsad påverkan på slutresultatet. Ytterligare osäkerheter är kopplade till uppskattningar av exempelvis komponenters livslängd, systemuppbyggnad och energiflöden. Dessa antaganden har varit nödvändiga för att genomföra analysen, men innebär att resultaten bör tolkas som indikativa snarare än exakta.

Sammanfattningsvis bedöms de identifierade osäkerheterna främst påverka de absoluta nivåerna av klimatpåverkan, medan studiens huvudsakliga slutsatser och jämförelser mellan systemlösningarna bedöms vara robusta.

## 7.5 Metodbegränsningar

Studien innehåller ett antal metodbegränsningar som påverkar hur resultaten kan tolkas och generaliseras. En viktig begränsning är att degradering av solceller och batterier inte har inkluderats i analysen. I verkligheten minskar prestandan över tid, men i denna studie baseras energiberäkningarna på ett representativt år med timupplöst data utan hänsyn till sådan utveckling. Att inkludera degradering skulle kräva att samtliga timvärden räknas om över hela systemets livslängd, vilket inte varit möjligt inom ramen för studien. Detta innebär att den långsiktiga systemprestandan och klimatpåverkan kan vara något under- eller överskattad beroende på systemlösning.

En relaterad begränsning är att analysen baseras på ett enskilt år som antas vara representativt för hela systemets livslängd. Därmed fångas inte variationer över tid, såsom förändringar i energibehov, klimatförhållanden eller systemprestanda. Resultaten är också beroende av de systemgränser som valts, där vissa delar av energisystemet exkluderas, såsom eventuella ombyggnadsåtgärder, vissa infrastrukturella komponenter och mindre delsystem. Även om

dessa avgränsningar tillämpas konsekvent mellan systemlösningarna kan de påverka de absoluta resultaten. Sammanfattningsvis innebär dessa metodbegränsningar att resultaten bör tolkas som en förenklad representation av verkligheten, där vissa dynamiska och systemövergripande effekter inte fullt ut fångas.

## 8. Slutsatser

Denna studie har analyserat och jämfört klimatpåverkan från olika systemlösningar inom en energigemenskap. Resultaten visar att val av systemlösning har stor betydelse, men att ökad teknisk komplexitet inte nödvändigtvis leder till lägre klimatpåverkan. Den enskilt viktigaste åtgärden för att minska klimatpåverkan i det studerade systemet är införandet av solceller. IMD ökar användningen av egenproducerad solel och minskar behovet av köpt el ytterligare. Klimatpåverkan från komponenter som krävs för IMD är liten, vilket gör det till det bästa alternativet för att öka egenanvändningen. Resultaten visar samtidigt att det i det studerade fallet inte framstår som klimatmässigt fördelaktigt att gå längre än systemlösning 3, det vill säga att inte gå fullt ut till en energigemenskap. Batterier och IKN med energiroutrar ökar klimatpåverkan, eftersom den tillkommande inbyggda klimatpåverkan från komponenterna inte verkar kompenseras av den extra nyttan i form av ökad egenanvändning av solel. Däremot behöver en samlad bedömning göras med hänsyn till andra nyttor som övriga komponenter bidrar med.

En central slutsats är att emissionsfaktorer för el och fjärrvärme har mycket stor påverkan på resultaten, eftersom en betydande del av energibehovet i samtliga systemlösningar fortfarande täcks av köpt energi. Detta innebär att klimatnyttan av lokala energisystem i hög grad är beroende av hur energisystemet utvecklas på regional och nationell nivå. Vidare visar studien att antaganden om produktion och livslängd för tekniska komponenter, särskilt solceller och batterier, har stor betydelse för resultaten. Förbättrade produktionsförhållanden med lägre klimatpåverkan samt längre livslängder kan avsevärt förändra den relativa fördelaktigheten mellan olika systemlösningar. Studien visar även vikten av att analysera energisystem ur ett helhetsperspektiv, där både driftrelaterad och inbyggd klimatpåverkan beaktas. Annars finns en risk att åtgärder framstår som fördelaktiga ur ett energiperspektiv utan att vara det ur ett klimatperspektiv.

## 9. Rekommendationer & framtida studier

Baserat på studiens resultat och identifierade begränsningar kan ett antal rekommendationer ges, både till praktiska aktörer och för framtida analyser och studier.

### *Rekommendationer till fastighetsägare*

För fastighetsägare såsom LKF visar resultaten att solceller i kombination med IMD är en lämplig strategi för att minska klimatpåverkan i denna typ av system. Åtgärderna ger tydlig klimatnytta samtidigt som de innebär låg teknisk komplexitet jämfört med mer avancerade systemlösningar. Införande av mer komplexa system, såsom batterilagring och energigemenskaper med interna nät (IKN), bör utvärderas utifrån ett livscykelperspektiv tillsammans med övriga potentiella nyttor. I det studerade fallet medför dessa lösningar en ökad klimatpåverkan, vilket visar att ökad egenanvändning av el inte nödvändigtvis leder till minskad klimatpåverkan. Samtidigt bör beslut inte enbart baseras på klimatpåverkan. Energigemenskaper kan även bidra med andra värden, såsom ökad flexibilitet, resiliens och minskad effektbelastning på elnätet. Det är därför viktigt att fastighetsägare gör en samlad bedömning där klimat, ekonomi och energisystemnytta vägs samman. Även andra miljöpåverkanskategorier, såsom resursanvändning och toxicitet, kan vara relevanta att beakta vid val av tekniska lösningar, särskilt för materialintensiva system.

### *Rekommendationer till energibolag*

Resultaten visar att val av energibärare har stor betydelse för klimatpåverkan, särskilt i system där fjärrvärme har låg utsläppsintensitet. För energibolag såsom Kraftringen innebär detta att det finns ett värde i att tydliggöra klimatpåverkan från fjärrvärme i relation till elbaserade lösningar. Vidare indikerar resultaten att ökad lokal elproduktion kan påverka energisystemet på olika sätt beroende på hur elen används eller exporteras. Energibolag kan därför spela en viktig roll i att utveckla styrmedel och incitament som främjar systemeffektiva lösningar, exempelvis genom att i större utsträckning värdera flexibilitet samt tidpunkt för elanvändning och export.

### *Rekommendationer till beslutsfattare och policyutveckling*

Studien visar att val av metodik, exempelvis användning av marginalet eller genomsnittsel, har stor påverkan på den beräknade klimatpåverkan. Detta innebär att riktlinjer för klimatbedömning av energisystem bör utformas med tydlighet kring vilka antaganden, systemgränser och metodperspektiv som ska tillämpas. Marginalet kan göra att effekterna av en energiåtgärd redovisas på ett mer rättvist sätt, där klimatnyttan från investeringar på förnybar energi tydligare framgår. IVL:s verktyget Tidstegen är ett initiativ som möjliggör denna typ av analys.

Ekonomiska styrmedel och regelverk kan användas för att öka incitamenten för flexibilitetslösningar och förnybar energiproduktion. En skattereduktion som gör det mer gynnsamt att sälja el till elnätet kan minska drivkraften att investera i ytterligare infrastruktur

som ökar egenanvändningen men samtidigt medför ökad klimatpåverkan. Om interna ledningar och energigemenskaper skapas för ekonomisk vinning skulle förändringar i regelverk och ersättningsmodeller kunna uppnå samma ekonomiska fördelar utan behov av ytterligare komponenter.

Enligt energimyndigheten finns det inga drivkrafter för virtuella delning eftersom det idag inte finns några skatteförmåner för matchning av produktion och användning i en virtuell energigemenskap. Skattelättnader för el som produceras och konsumeras samtidigt kan öka flexibiliteten i energisystemet samt öka incitamenten för virtuella energigemenskaper. Detta kan leda till att fördelar som effektbalansering och ökat engagemang uppnås, samtidigt som behovet av ny infrastruktur och den tillhörande klimatpåverkan minskar (Svensk solenergi, 2024)

Därutöver kan utökade satsningar på förnybart även bidra till att fler satsar på producerande energikällor och minska klimatpåverkan betydligt.

### *Framtida studier*

Analysen identifierar flera områden där ytterligare analyser behövs för att bättre förstå energigemenskapers roll i framtidens energisystem. En samlad bild av energigemenskapers för- och nackdelar utöver klimatpåverkan rekommenderas att analyseras mer systematiskt. Detta inkluderar exempelvis effekter på elnätet, flexibilitet, energisäkerhet och ekonomiska incitament. En sådan helhetsanalys är nödvändig för att kunna jämföra olika systemlösningar på ett mer rättvisande sätt. Framtida studier bör även inkludera fler miljöpåverkanskategorier utöver klimatpåverkan, för att möjliggöra en mer heltäckande livscykelanalys av energisystemens miljöprestanda.

En annan viktig utvecklingsmöjlighet är att studera energigemenskaper där byggnader har olika produktions- och användningsprofiler. I denna studie analyseras ett homogent system, men mer heterogena energigemenskaper kan ge bättre förutsättningar för energidelning och högre egenanvändning av lokal elproduktion. Det finns också behov av mer detaljerade data för att minska osäkerheterna i analysen, särskilt avseende livscykeldata för komponenter såsom energiroutrar och olika typer av omvandlare, samt tredjepartsverifierade data för batterier i liknande storlek. Vidare behövs mer omfattande driftdata för energigemenskaper, inklusive information om hur mycket energi som faktiskt flödar genom det interna nätet och potentiella minskade distributionsförluster. Det är även av intresse att undersöka vilken ytterligare funktion och nytta energiroutrarna bidrar med utöver den styrning som redan möjliggörs genom batterisystemens egna styrsystem. Slutligen bör framtida studier inkludera mer dynamiska analyser över tid, där exempelvis degradering av komponenter, förändrade

energisystem och variationer i elanvändning beaktas. Detta skulle ge en mer exakt bild av energigemenskapers klimatpåverkan över hela systemets livslängd.

## 10. Referenser

ABB (2024). *D13 15 & D11 15 EQ meters*. Product Environmental Profile (PEP ecopassport®). Hämtad 2026-03-07 från:

<https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK108469A4516&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Amokabel AB (2025). *AMOCharge Q-Flex 1x70*. NEPD-9863-9803. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-08 från:

[https://www.epd-global.com/getfile.php/13227553-1745845974/EPDer/Byggevarer/Elektronisk/NEPD-9863-9803\\_AMOCharge-Q-Flex-1x70.pdf](https://www.epd-global.com/getfile.php/13227553-1745845974/EPDer/Byggevarer/Elektronisk/NEPD-9863-9803_AMOCharge-Q-Flex-1x70.pdf)

Andersson, R. (2026). *Tidstegen-analys av systemlösningar inkl. IKN, batteri, IMD m.m.* Rapport U11187. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, på uppdrag av Krafttringen Energi AB.

ATP SRL (2023). *AQUA-LUX Panel made of GFRP*. EPD-IES-0009602:001. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-09 från: <https://www.environdec.com/library/epd9602>

Beemsterboer, S. (2019). *Simplifying LCA use in the life cycle of residential buildings in Sweden*. Chalmers University of Technology. Hämtad 2026-02-19 från: [https://research.chalmers.se/publication/512280/file/512280\\_Fulltext.pdf](https://research.chalmers.se/publication/512280/file/512280_Fulltext.pdf)

Brattström Mathiesen, V. & Nyzell, F. (2026). *Energigemenskaper i praktiken: En fallstudie av Projekt Beta i Lund*. Examensarbete på civilingenjörsnivå, Lunds universitet, Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Energivetenskaper. Hämtad 2026-03-15 från: <https://lup.lub.lu.se/luur/download?fileOid=9223317&func=downloadFile&recordOid=9223315>

Boverket (2024 a). *Individuell mätning och debitering av uppvärmning och tappvarmvatten (IMD)*. Hämtad 2026-03-05 från:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/IMD/>

Boverket (2018). *Miljövarudeklaration för byggprodukter (EPD)*. Hämtad 2026-03-11 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/miljodata-och-lca-verktyg/miljovardeklaration-for-byggprodukter-epd/>

Boverket (2024 b). *Ordlista*. Hämtad 2026-03-20 från: <https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/om-klimatdeklaration/ordlista/>

Boverket (2024 c). *Så här görs en LCA*. Hämtad 2026-03-03 från: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/sahar-gors-en-lca/>

Boverket. (u.å.). *Boverkets klimatdatabas*. Hämtad 2026-04-21 från: <https://www.boverket.se/sv/om-boverket/oppna-data/boverkets-klimatdatabas/>

Cables de Comunicaciones Zaragoza S.L. (2022). *Optical fibre cables for telecommunication networks through duct installation*. EPD-IES-0005723:002. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-12 från: <https://www.environdec.com/library/epd5723>

Carvalho, M.L., Temporelli, A. and Girardi, P. (2021). *Life Cycle Assessment of Stationary Storage Systems within the Italian Electric Network*. *Energies*, 14(8), p. 2047. Hämtad 2026-03-03 från: <https://doi.org/10.3390/en14082047>

Chint New Energy Technology Co., Ltd. (2025). *Mono-crystalline Photovoltaic Module*. EPD-IES-0022493:001. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-03 från: <https://www.environdec.com/library/epd22493>

CTC (u.å.). *Akkumulatortankar*. Hämtad 2026-04-10 från: <https://ctc.se/produkter/akkumulatortankar#read-m>

Daikin Europe N.V. (u.å.) *Environmental Product Declaration (EPD): EWYE-CZ*. Hämtad 2026-04-10 från: [https://www.daikin.co.uk/en\\_gb/commercial/sustainability/EPD.html](https://www.daikin.co.uk/en_gb/commercial/sustainability/EPD.html)

Dahiya, D. & Laishram, B. (2024) *Life cycle energy analysis of buildings: A systematic review*. *Building and Environment*, 252, p. 111160. Hämtad 2026-02-13 från: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111160>

DONGKUK COATED METAL CO., LTD (2024). *Hot-Dipped Galvanized Steel Sheets*. EPD-IES-0007699:005. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från: <https://www.environdec.com/library/epd7699>

E.ON Sverige AB (2026). *Fjärrvärme i Malmö*. Hämtad 2026-03-27 från: <https://www.eon.se/foeretag/vaerme-och-kyla/fjaerrvaerme-i-malmoe>

Effektiv Energi (u.å.). *Frånluftsvärmepump*. Hämtad 2026-02-24 från: <https://effektivenergi.nu/franluftsvarmepump/>

Energiföretagen Sverige (2017). *Miljövärdering av el – med fokus på utsläpp av koldioxid*. Stockholm: Energiföretagen Sverige. Hämtad 2026-04-27 från: <https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/det-erbjuder-vi/publikationer/miljovardering-av-el.pdf>

Energiföretagen Sverige (2023 a). *Kabelförläggning max 145 kV – KJ 41:21.1*. Stockholm: Energiföretagen Sverige.

Energiföretagen Sverige (2023 b). *Solceller och solenergi*. Hämtad 2026-04-15 från: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/produktion/solceller/>

Energimarknadsinspektionen (2023). *Undantag från kravet på nätkoncession (IKN)*. Hämtad 2026-03-05 från: <https://ei.se/bransch/undantag-fran-kravet-pa-natkoncession-ikn>

Energimyndigheten (2025 a). *Energiindikatorer 2025: Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål*. Hämtad 2026-04-28 från: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=68756b7ec3d8469c8e5b855646bf6b9e&q=energiindikatorer&lstqty=1>

Energimyndigheten (2025 b). *Energy in Sweden: Facts and Figures 2025* [Excel-fil]. Hämtad 2026-05-11 från: <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energilaget/>

Energimyndigheten (2026 a). *19 projekt får stöd för att utveckla energigemenskaper*. Hämtad 2026-04-20 från: <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/energisystem->

[och-analys/energigemenskaper-en-viktig-del-av-framtidens-energisystem/19-projekt-far-stod-for-att-utveckla-energigemenskaper/](#)

Energimyndigheten (2026 b). *Det här ingår i en solcellsanläggning*. Hämtad 2026-03-02 från:

<https://www.energimyndigheten.se/effektiv-energianvandning/guider/solelportalen/har-mitt-hus-ratt-forutsattningar/det-har-ingar-i-en-solcellsanlaggning/>

Energimyndigheten (2024). *Energigemenskaper behöver bättre och tydligare förutsättningar*. Hämtad 2026-02-13 från:

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/energigemenskaper-behoover-battre-och-tydligare-forutsattningar/>

Energimyndigheten (2022 a). *En översikt över energiläget i Sverige*. Hämtad 2026-02-05 från:

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2022/en-oversikt-over-energilaget-i-sverige/>

Energimyndigheten (2022 b). *Välj rätt värmepump*. Hämtad 2026-02-20 från:

<https://www.energimyndigheten.se/effektiv-energianvandning/guider/husguiden-for-dig-som-vill-energieffektivisera-ditt-hus/se-over-husets-uppvarmningssystem/valj-ratt-varmepump/>

European Commission (u.å. a). *Energy communities*. Hämtad 2026-02-05 från:

[https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/energy-consumers-and-prosumers/energy-communities_en)

European Commission (u.å. b). *Renewable Energy Directive*. Hämtad 2026-02-05 från:

[https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en)

European Environment Agency (2025). *Renewables, electrification and flexibility - for a competitive EU energy system transformation by 2030*. Hämtad 2026-02-17 från:

<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/renewables-electrification-and-flexibility-for-a-competitive-eu-energy-system>

Ferroamp AB. (2023). *EnergyHub XL 28 kW*. S-P-11583. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-04-10 från:

<https://ferroamp.com/wpcontent/uploads/2024/02/EPD-EnergyHub-XL.pdf>

Forsman, S. (2024). *MI - Montageinstruktion CC90-UNUM på takpannor av betong*. Dokument nr 2103010. CC90.

Gebwell Oy (2026). *Environmental Product Declaration: G-Eco Core 40 inverter heat pump with R290 refrigerant*. Hämtad 2026-04-27 från: [https://gebwell.se/app/uploads/2026/02/Gebwell-G-EcoCore40-EPD\\_HUB-5091\\_2026-01-27\\_en.pdf](https://gebwell.se/app/uploads/2026/02/Gebwell-G-EcoCore40-EPD_HUB-5091_2026-01-27_en.pdf)

Gutsch, M. & Leker, J. (2022). *Global warming potential of lithium-ion battery energy storage systems: A review*. *Journal of Energy Storage*, 52, p. 105030. Hämtad 2026-03-02 från: <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105030>.

Harter, H. et al. (2023). *Life Cycle Assessment of building energy systems on neighbourhood level based on semantic 3D city models*. *Journal of Cleaner Production*, 407, p. 137164. Hämtad 2026-02-05 från: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137164>

Huawei Technologies Co., Ltd. (2023). *Product Carbon Footprint Report - LUNA2000-161KWH-2H1*. Hämtad 2026-03-03 från: [https://ske-solar.com/fileadmin/user\\_upload/LUNA2000-161KWH-2H1\\_Product\\_Carbon\\_Footprint\\_Report\\_Rel\\_HW\\_20230804.pdf](https://ske-solar.com/fileadmin/user_upload/LUNA2000-161KWH-2H1_Product_Carbon_Footprint_Report_Rel_HW_20230804.pdf)

International Council on Clean Transportation (2025). *Life-cycle greenhouse gas emissions from passenger cars in the European Union - A 2025 update and key factors to consider*. Hämtad 2026-03-10 från: [https://www.rinnovabili.it/wp-content/uploads/2025/07/ID-392-%E2%80%93-Life-cycle-GHG\\_report\\_final.pdf](https://www.rinnovabili.it/wp-content/uploads/2025/07/ID-392-%E2%80%93-Life-cycle-GHG_report_final.pdf)

International Energy Agency (2023). *Empowering people - the role of local energy communities in clean energy transitions*. Hämtad 2026-02-10 från: <https://www.iea.org/commentaries/empowering-people-the-role-of-local-energy-communities-in-clean-energy-transitions>

International Energy Agency (2025). *Energy flexible buildings towards resilient low carbon energy systems (Annex 82): Summary report*. *Energy in Buildings and Communities Programme*. Hämtad 2026-02-19 från: <https://www.iea-ebc.org/Data/publications/Energy%20Flexible%20Buildings%20Towards%20Resilient%20L>

ow%20Carbon%20Energy%20Systems%20%28Annex%2082%29%20Summary%20report.pdf

International Energy Agency (2022). *World Energy Outlook 2022*. Hämtad 2026-03-11 från: <https://iea.blob.core.windows.net/mcas.ms/assets/830fe099-5530-48f2-a7c1-11f35d510983/WorldEnergyOutlook2022.pdf>

IV Produkt AB (2025). *EcoHeater 240 with controls*. NEPD-14051-14394. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-03 från: [https://www.epd-global.com/getfile.php/13240381-1763114551/EPDer/Byggevarer/Ventilasjon/NEPD-14051-14394\\_EcoHeater-240-with-controls.pdf](https://www.epd-global.com/getfile.php/13240381-1763114551/EPDer/Byggevarer/Ventilasjon/NEPD-14051-14394_EcoHeater-240-with-controls.pdf)

IV Produkt AB (2024). *Nya generationens köldmedium till våra innovativa produkter*. Hämtad 2026-03-02 från: <https://www.ivprodukt.se/kunskap/r454b>

IV Produkt AB (u.å.) *Broschyr: Home Concept EcoHeater* [PDF]. Hämtad 2026-04-10 från: <https://www.ivprodukt.se/file/2429>

Johansson, N. C. & Sandgren, A. (2026). *Emissionsfaktor för nordisk elmix år 2021 - 2023: Direkt och indirekt klimatpåverkan med hänsyn tagen till import och export samt beräkning av andelen förnybart*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad 2026-02-19 från: <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:2039769/FULLTEXT01.pdf>

Kraftringen (u.å.). *Allt om fjärrvärme*. Hämtad 2026-02-17 från: <https://www.kraftringen.se/privat/fjarrvarme/allt-om-fjarrvarme/fem-fordelar-med-fjarrvarme/>

Kraftringen Energi AB (2022). *District heating grid Lund-Lomma-Eslöv*. EPD-IES-0006687:002. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-05 från: <https://environdec.com/library/epd6687>

Kraftringen Energi AB (2024). *Ledningsanvisning och grävningsbestämmelser*. Hämtad 2026-03-03 från: <https://www.kraftringen.se/globalassets/kraftringen/media/dokument-ny-sajt/ovrigt/kundservice/ledningsanvisning-och-gravningsbestammelser-09-09-24.pdf>

Larsson, J., Morfeldt, J., Johansson, D., Rootzén, J., Hult, C., Åkerman, J., Hedenus, F., Sprei, F., Nässén, J. (2021). *Konsumtionsbaserade scenarier för Sverige - underlag för diskussioner om nya klimatmål*. Mistra Sustainable Consumption, Rapport 1:11. Göteborg: Chalmers tekniska högskola. Hämtad 2026-03-01 från: <https://www.sou.gov.se/globalassets/nyheter/konsumtionsbaserade-scenarier-for-sverige-larsson-morfeldt-2021..pdf>

LKF AB (u.å.). *Spjället och Pottungen*. Hämtad 2026-03-10 från: <https://www.lkf.se/omrade/spjallet-och-pottungen>

Lätt, A. & Nilsson, J. (2020). *Verktysstöd för Tidstegen (version 0.27)*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB. Hämtad 2026-04-17 från: <https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbe174fee4974b269e/1603293407044/Verktysst%C3%B6d-Tidstegen.pdf>

Lätt, A., Gode, J., Sidvall, A., Boberg, N., Nilsson, J. & Berglund, R. (2019). *Miljövärdering av energilösningar i byggnader: Tidstegen etapp III*. IVL Svenska Miljöinstitutet. Hämtad 2026-02-19 från: <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:1552292/FULLTEXT01.pdf>

Midsummer (u.å.). *Midsummer WAVE*. Hämtad 2026-04-05 på: <https://midsummer.se/midsummer-wave/>

Olsson, N. (2021). *LCA of low-temperature district heating network components*. Master's thesis, Lund University. Hämtad 2026-04-21 från: <https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/9038080>

Network for Transport Measures. (u.å.). *Road cargo transport baselines Sweden*. Hämtad 2026-04-21 från: <https://www.transportmeasures.org/en/wiki/evaluation-transport-suppliers/road-transport-baselines-sweden/>

Our World in Data. (2023). *Energy data*. Hämtad 2026-02-17 från: <https://ourworldindata.org/search?topics=Energy&countries=China>

Our World in Data. (2026). *Lifecycle carbon intensity of electricity generation*. Hämtad 2026-02-17 från: <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>

Oy Botnia Bolt Ab (2025). *Stainless steel fasteners*. EPD-IES-0021371:001. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-09 från:  
<https://www.environdec.com/library/epd21371>

Profu (2026). *Klimatpåverkan från elproduktion och elanvändning år 2025*. Hämtad 2026-04-29 från:  
<https://www.datocms-assets.com/106793/1773150061-klimatpaverkan-fran-elproduktion-och-anvandning-ar-2025-profu-2026-03-10.pdf>

Prysmian Group Sverige AB (2025). *FXQJ-EMC Pure 4x35/16*. NEPD-9139-8714. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-09 från:  
[https://www.epd-global.com/getfile.php/13177236-1741651597/EPDer/Byggevarer/NEPD-9139-8714\\_FXQJ-EMC-Pure-4x35-16.pdf](https://www.epd-global.com/getfile.php/13177236-1741651597/EPDer/Byggevarer/NEPD-9139-8714_FXQJ-EMC-Pure-4x35-16.pdf)

Radius CTS (2024). *Single Microduct HDPE*. EPD-IES-0013525:002. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från:  
<https://www.environdec.com/library/epd13525>

RISE Research Institutes of Sweden (u.å.). *Energy communities make it possible to share electricity with each other*. Hämtad 2026-02-11 från:  
<https://www.ri.se/en/story/energy-communities-make-it-possible-to-share-electricity-with-each-othr>

Specialcavi Baldassari (2026). *SOLAR CABLE H1Z2Z2-K*. EPD-IES-0019617:003. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-12 från:  
<https://www.environdec.com/library/epd19617>

Svensk Solenergi. (2024). *Starkare incitament för energigemenskaper*. Hämtad 2026-05-18 från:  
<https://svensksolenergi.se/energigemenskaper-behover-starkare-incitament/>

Sungrow Power Supply Co., Ltd. (2025). *String inverter*. EPD-IES-0022962:001. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från:  
<https://www.environdec.com/library/epd22962>

Uponor Corporation (2023). *ICT DW Blue Cable Protection Pipes*. HUB-0612. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-11 från:  
[https://www.e-nummersok.se/infoDocs/EPD/EPD\\_29032\\_0663287.pdf](https://www.e-nummersok.se/infoDocs/EPD/EPD_29032_0663287.pdf)

Vardanyan, Y. (2025). *Energy communities in Sweden: barriers and driving forces*. Current Sustainable/Renewable Energy Reports, 12(1). Hämtad 2026-03-10 från: <https://doi.org/10.1007/s40518-025-00257-w>

Varlet, T.L. et al. (2020). *Comparative life cycle assessment of lithium-ion battery chemistries for residential storage*. Journal of Energy Storage, 28, p. 101230. Hämtad 2026-03-02 från: <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101230>.

Vattenfall AB (2023). *Electricity from Vattenfall's Nuclear Power Plants*. EPD-IES-0000923:002. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från: <https://www.environdec.com/library/epd923>

Vattenfall AB (2025). *Electricity from Vattenfall's wind farms*. EPD-IES-0001435:005 (S-P-01435). Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från: <https://www.environdec.com/library/epd1435>

Vattenfall AB (2026). *Electricity, steam and hot/cold water generation and distribution*. EPD-IES-0000088:003. Environmental Product Declaration. Hämtad 2026-03-10 från: <https://www.environdec.com/library/epd88>

Wallnér, E. (2020). *Så tolkar du termerna i din solcellsoffert*. Solcellskollen. Hämtad 2026-03-02 från: <https://solcellskollen.se/blogg/sa-tolkar-du-termerna-i-din-solcellsoffert>

# Appendix

## Appendix A - Systembeskrivningar och beräkningar

### *A1. Värmeanvändning*

Fjärrvärmeanvändningen fördelas mellan uppvärmning och tappvarmvatten, med antagandet att 75 % av energin används för uppvärmning och 25 % för tappvarmvatten, vilket ligger i linje med etablerade schabloner. Dygnsvariationer för tappvarmvatten antas vara desamma året runt. Medeleffekten för tappvarmvatten beräknas utifrån sommarförbrukningen (juni - augusti), då uppvärmningsbehovet är som lägst. Fjärrvärmeförbrukningen korrigeras för kulvertförluster med en konstant faktor på 0,65. Fördelning av värme till respektive byggnad sker med hjälp av A-temp, där varje byggnads andel av den totala uppvärmda arean används som fördelningsnyckel. I systemval där frånluftsvärmepump (FVP) ingår antas FVP endast täcka uppvärmningsbehovet och inte behovet av tappvarmvatten. Andelen värme som produceras av FVP beräknas utifrån månatliga COP-värden, och fjärrvärmen fungerar som spets- och kompletteringsvärmekälla.

### *A2. Elanvändning*

Timvärden för elanvändning har använts för varje byggnad, där hushållsel och fastighetsel redovisas i separata tidsserier. Elanvändningen baseras på data från år 2024, som betraktas som ett standard år. Eftersom 2024 är ett skottår har den 29 februari exkluderats vid sammanställning av data för att säkerställa jämförbarhet. I systemval med solceller antas negativ solelsproduktion innebära att solcellsanläggningen använder en mindre mängd el

under timmar utan produktion. Solelen används i första hand direkt till att täcka elanvändningen enligt respektive scenarios systemlogik, och överskott matas ut till elnätet om inget lokalt behov finns.

### *A3. Batterisimulering och systemintegration*

För systemlösningar som inkluderar batterilagring används ett separat batterisimuleringsverktyg, baserat på timupplösta last- och produktionsprofiler samt antagna batteriegenskaper. Batteriets maximala urladdningseffekt antas vara lägre än laddningseffekten, och en urladdningsverkningsgrad på 95 % tillämpas. I systemval 4 simuleras batterier på byggnadsnivå, medan systemval 5 behandlar området som ett gemensamt system via IKN, där en samlad last- och produktionsprofil används.

### *A4: Montagesystem*

Beräkningen av montagesystemets materialmängder har genomförts stegvis med utgångspunkt i solcellssystemets dimensionering och tekniska installationsanvisningar (Forsman, 2021).

Antalet installerade solcellsmoduler har först fastställts till cirka 1480 stycken baserat på taklayouten för samtliga byggnader, vilket verifierats både genom geometrisk uppdelning av taktytor och genom effektdimensionering av systemet.

Därefter har antal montagesystemkomponenter per modul uppskattats baserat på typiska installationsprinciper. För skenor har två horisontella skenor per modulrad antagits, vilket motsvarar cirka 2,3 meter skena per modul baserat på modulens bredd ( $\approx 1,13$  m). Antalet skenor har sedan beräknats genom att dividera total skenlängd med standardlängden för en montageskena (4,8 m) och avrunda uppåt till närmaste heltal.

Antalet takkrokar har beräknats utifrån ett maximalt avstånd på 1,2 meter mellan krokar enligt installationsanvisningar för aktuell snözon. Detta ger cirka 2 krokar per modul, vilket har multiplicerats med det totala antalet moduler för att erhålla den totala mängden.

För panelklämmor har ett schablonvärde om fyra klämmor per modul använts (två mittklämmor och två ändklämmor), vilket är standard för denna typ av system. Antal gavlar och skenskarvar har uppskattats baserat på antal modulrader och behov av skarvning vid längre rader, där två gavlar per rad samt skarvar beroende på skenlängd har antagits. Antalet av respektive komponent i monteringsystemet beskrivs i Tabell 1.

*Tabell 1: Antal komponenter i monteringsystemet på byggnadernas tak.*

| Skenor | Panelklämmor | Takkrokar | Gavlar | Skarvar |
|--------|--------------|-----------|--------|---------|
| 810 st | 3260 st      | 3260 st   | 600 st | 510 st  |

För varje komponent har produktdata använts för att omvandla antal till massa. Exempelvis väger en 4,8 m montageskena 2,7 kg och en panelklämma cirka 0,1 kg, medan takkrokar väger cirka 0,7 kg styck. Materialfördelningen inom respektive komponent har därefter applicerats. För takkrokar antas materialfördelningen vara 70 % GFRP och 30 % galvaniserat stål, medan panelklämmor antas bestå av 80 % GFRP och 20 % rostfritt stål. Skenor och gavlar antas bestå helt av GFRP. Detta möjliggör uppdelning av total massa per materialslag.

Slutligen har den totala massan för respektive material (GFRP, galvaniserat stål och rostfritt stål) erhållits genom summering över samtliga komponenter (Tabell 2). Dessa massor ligger till grund för klimatberäkningen, där respektive material multipliceras med tillhörande emissionsfaktor i LCA-modellen.

Tabell 2: Mängden av respektive materialslag i taksystemet.

| GFRP                       | Galvaniserat stål                               | Rostfritt stål                     |
|----------------------------|---|------------------------------------|
| 3900 kg<br>(ATP SRL, 2023) | 620 kg<br>(DONGKUK COATED METAL CO., LTD, 2024) | 60 kg<br>(Oy Botnia Bolt Ab, 2025) |

#### A5: DC-kabel

Mängden DC-kabel har beräknats utifrån antal solcellsmoduler och antagen strängindelning. Kablarna har delats upp i två delar: kablage inom strängarna på taket samt kablage mellan strängarna och växelriktaren.

Totalt ingår cirka 1 480 moduler, vilka fördelas i strängar om 20 moduler, vilket ger totalt 74 strängar. Längd per sträng antas till 10 m och eftersom det ligger två kablar parallellt uppgår den totala kabelsträckningen på taket till cirka 1 480 m. För kablage mellan sträng och växelriktare har en längd om 5 m per sträng och riktning antagits. Eftersom både positiv och negativ ledare ingår motsvarar detta 10 m kabel per sträng. En spillfaktor på 10 % har inkluderats, vilket ger en total kabellängd på cirka 814 m

Den totala längden DC-kabel i systemet uppgår därmed till cirka  $1\,480 + 814 \approx 2\,294$  m.

Klimatpåverkan har beräknats med hjälp av en miljövarudeklaration med funktionell enhet 1 m kabel (Specialcavi Baldassari, 2026). Den totala klimatpåverkan erhålls genom att multiplicera kabellängden med emissionsfaktorn, och därefter fördelas resultatet över kabelns livslängd (30 år) för att erhålla ett årligt värde.

#### *A6: Solcellsmoduler*

De moduler som ska användas på fastigheterna i Pottugnen och Spjället är av typen glas/glas. Det innebär att solcellerna är inkapslade mellan två lager härdat glas, i stället för den mer traditionella konstruktionen med glas på framsidan och plastfolie (backsheet) på baksidan. Glas/glas-moduler är generellt mer robusta och erbjuder ofta längre produktgarantier, upp till 30 år, jämfört med 10 - 15 år för glas/folie-moduler (Wallnér, 2020). Den dubbla glasinkapslingen kan bidra till förbättrad hållbarhet och mekanisk stabilitet, vilket är relevant ur ett livslängds- och livscykelperspektiv.

De moduler som används är av typen all-black, vilket innebär att även baksidan är svart i stället för vit. I standardmoduler är solcellerna vanligtvis laminerade mot en vit plastbaksida, vilket ger panelen dess karakteristiska rutnmönster. Genom att använda en svart bakgrund smälter solcellerna visuellt samman med resten av panelen och ger ett mer enhetligt, helsvart utseende (Wallnér, 2020). All-black-moduler kan dock ha något lägre verkningsgrad, i vissa fall upp till cirka 1 procentenhet lägre, eftersom den svarta baksidan absorberar mer värme och därmed kan leda till högre driftstemperaturer (Wallnér, 2020).

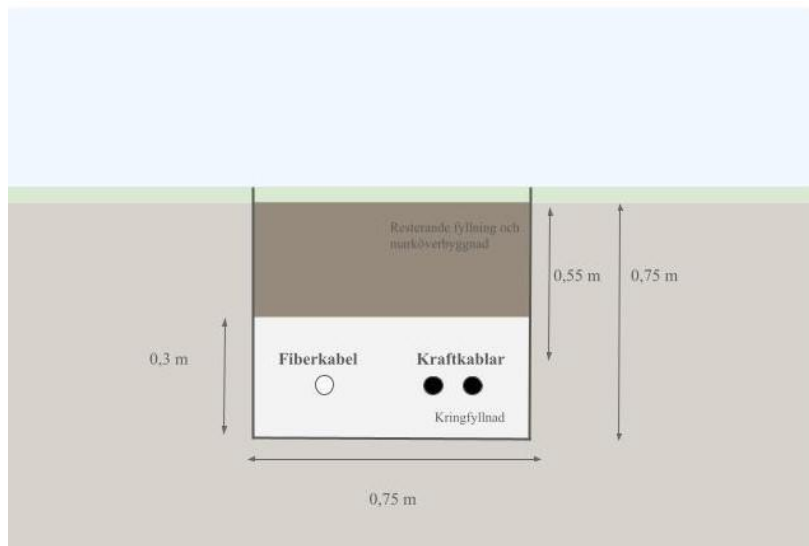
Solcellsmoduler är i regel försedda med en ram, vanligtvis av aluminium, som ger mekanisk stabilitet och möjliggör infästning i monteringsystemet. Glas/glas-moduler kan förekomma både med och utan ram, medan glas/folie-moduler alltid har ram (Wallnér, 2020). I denna studie används glas/glas-moduler med metallprofil, vilket är den vanligaste lösningen vid takmonterade system.

#### *A7: Grävning av IKN-kablar*

Vid anläggning av det interna nätet krävs schaktning för förläggning av kablar och skyddsror. Den totala schaktlängden uppskattas till cirka 1 000 meter vilket motsvarar ringmatningens sträckning mellan byggnaderna.

Kablar förläggs på ett djup om cirka 0,45 - 0,75 meter och omges av ett skyddande lager av finkornigt material enligt riktlinjer för anläggning av kablar (Energiföretagen, 2023). Kornstorleken i kringfyllnaden får inte överstiga 8 mm, och materialet antas behöva införskaffas.

Resterande fyllning och marköverbyggnad utgår från att den utgrävda massan kan återläggas, där inga kornstorlekar förväntas vara större än 300 mm och andelen kornstorlekar mellan 100 och 300 mm är begränsad. Om resterande fyllning och marköverbyggnad behöver införskaffas bedöms klimatpåverkan vara av samma storleksordning som för kringfyllnadsmaterialet. Klimatpåverkan från återfyllnadsmaterial skulle därmed ungefär fördubblas. Schaktningen utförs med grävmaskin och effektiv arbetstid har uppskattats till 6 timmar för en sträcka på 100 meter enligt tidigare studier (Olsson, 2021). Beskrivning av den antagna grävningen visas i Figur 1.



Figur 1: Illustration av grävningen (egen illustration).

Klimatpåverkan från grävning kan delas upp i användning av arbetsmaskiner, transport av material samt produktion av återfyllnadsmaterial. Bränsleförbrukning för grävmaskin har uppskattats till 20 liter diesel per timme och emissionsfaktorer för diesel har hämtats från Boverkets klimatdatabas (Boverket, u.å.). Transporter av material har beräknats baserat på transportavstånd och emissionsfaktorer för vägtransport i Sverige (Network for Transport Measures, u.å.).

## Appendix B - Exkluderade delar av systemgränsen

| Exkluderad aspekt | Motivering   |
|-------------------|--|
|                   | Lokalanpassning och brandanpassning exkluderas eftersom de är projektspecifika åtgärder som varierar |

|   |  |
|---|--|
| Fastigheter: anpassning och konstruktion                    | mellan installationer och bedöms inte påverka jämförelsen mellan systemen.   |
|   | Fokus ligger på energisystem och tekniska installationer och därför exkluderas byggnadens konstruktion.  |
|   | Underhåll av byggnaderna påverkas inte av de studerade systemlösningarna.  |
|   | Befintliga elcentraler och transformatorer ingår inte då de redan finns installerade och inte förändras mellan systemen.   |
| Transport och förpackning                                   | Antas ha försumbar klimatpåverkan för mindre komponenter då transport till Europa är inkluderat och resterande sträcka samtransporteras de ofta med andra produkter. Transport av större komponenter ingår redan i EPD-data.   |
|   | Förpackningar ingår sällan i EPD:er och bedöms ha liten påverkan på total klimatpåverkan.  |
| Infrastruktur vid tillverkning (byggnader, maskiner, vägar) | Ingår inte i EPD:er och ligger utanför studiens systemgräns.   |
| Tekniska komponenter  | Kabel mellan batteri och växelriktare bedöms ha marginell påverkan och liknande kablage inkluderas redan i solcellssystemet.   |
|   | Degradering av solceller och batterier exkluderas från den kvantitativa analysen. Detta beror på att den använda rådata för energisystemet baseras på timvärden för ett representativt grundår, där degradering inte är inräknad. För att inkludera degradering hade det krävts att samtliga timvärden justerades över systemets livslängd, vilket skulle innebära en avsevärt mer omfattande modellering än |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>vad som är möjligt inom ramen för detta projekt. Istället behandlas degradering kvalitativt i diskussionskapitlet, där dess potentiella påverkan på resultaten analyseras.</p> |
| Beteendeförändringar                    | <p>Studien antar samma energibehov i alla system för att möjliggöra jämförbarhet.</p>   |
| Ekonomiska och marknadsmässiga effekter | <p>Studien fokuserar enbart på klimatpåverkan och inkluderar inte ekonomiska aspekter.</p>  |

## Appendix C - Tekniska antaganden

*CI: Uppskattad livslängd för respektive komponent*

| Komponent                | Livslängd (år) |
|--------------------------|----------------|
| Frånluftsvärmepump (FVP) | 22             |
| Akkumulatortank          | 25             |
| Solcellsmodul            | 25             |
| Montagesystem            | 50             |
| Växelriktare             | 10             |
| IMD-mätare               | 10             |
| Batterilagringssystem    | 20             |
| DC-kabel                 | 40             |
| AC-kabel                 | 40             |
| Markrör                  | 100            |
| Fiberkabel               | 25             |
| Markrör fiber            | 100            |
| Energirouter             | 10             |

## Appendix D – Livscykeldata

D1: Insamlad livscykeldata för alla komponenter utom batteri

| Insamlad livscykeldata                     |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
|--|---------|-------|------|----|-----|---------|------|------|------|------|-------|------------------------|
| Produkt                                    | A1 - A3 | A4    | A5   | B1 | B2  | B3 - B7 | C1   | C2   | C3   | C4   | D     | Summa (kg CO2-ekv) /FE |
| <b>Systemlösning 1: Frånluftsvärmepump</b> |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| Daikin EWYE                                | 2899    | 179   | 127  |    |     | 557     |      |      |      | 394  | -994  | 3163                   |
| Ecoheater240                               | 3690    | 31,4  | 0    | 0  | 0   | 0       | 0    | 9,81 | 101  | 5,69 | -1300 | 2537,9                 |
| Gebwell                                    | 3602,9  | 14,3  | 20   | 0  | 0   | 0       | 0    | 14,7 | 57   | 38,5 | -480  | 3267,4                 |
| <b>Systemlösning 2: Solcellssystem</b>     |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| Mono-crystalline Photovoltaic Module       | 0,373   | 0,022 | 0,00 | 0  | 0,0 | 0       | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | -0,04 | 0,371                  |
| String inverter                            | 0,00    | 0,00  | 0,00 | 0  | 0   | 0       | 0    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,000 | 0,0001                 |
| AQUA-LUX Panel made of GFRP                | 14,50   | 0     | 0    | 0  | 0   | 0       | 0,02 | 0,03 | 0    | 8,1  | 0     | 22,65                  |
| Hot-Dipped Galvanized Steel Sheets         | 2940    | 0     | 0    | 0  | 0   | 0       | 3,31 | 26,1 | 54,7 | 3,31 | -1580 | 1447,42                |
| Stainless Steel Fasteners                  | 8,5     | 0,65  | 0,22 | 0  | 0   | 0       | 0    | 0,01 | 0,02 | 0,00 | -0,61 | 8,7938                 |
| SOLAR CABLE H1Z2Z2-K                       | 0,612   | 0,014 | 0,05 | 0  | 0   | 0,08    | 0    | 0,00 | 0,12 | 0    | -0,48 | 0,39731                |
| <b>Systemlösning 3: IMD</b>                |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| D11-D13 Meters                             | 0,194   | 0,001 | 0,00 | 0  | 0   | 0       | 0,01 | 0    | 0    | 0    | -0,06 | 0,144                  |
| <b>Systemlösning 4: Batteri</b>            |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| I separat tabell                           |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| <b>Systemlösning 5: IKN</b>                |         |       |      |    |     |         |      |      |      |      |       |                        |
| EPD AMO Charge Q-Flex 1x70                 | 3,312   | 0,084 | 0,10 | 0  | 0   | 0,00    | 0    | 0,01 | 0,23 | 0,01 | -0,60 | 3,75                   |

|                                    |       |       |      |   |   |      |      |      |      |      |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|------|---|---|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Prysmian FXQJ-EMC Pure 4x35/16     | 6,744 | 0,157 | 0,15 | 0 | 0 | 0,04 | 0    | 0,09 | 0,47 | 0,04 | -0,29 | 7,68  |
| ICT DW Blue Cable Protection Pipes | 0,617 | 0,064 | 0,12 | 0 | 0 | 0    | 0,00 | 0,00 | 0,12 | 1,95 | -0,10 | 2,77  |
| Optical fibre cables (duct)        | 254   | 26,1  | 0    | 0 | 0 | 0    | 0    | 0,80 | 0    | 0,62 | 0     | 281,5 |
| Single Microduct HDPE              | 2,72  | 0,05  | 0    | 0 | 0 | 0    | 0,01 | 0,00 | 1,35 | 0,08 | -0,79 | 3,42  |
| Ferroamp EnergyHub XL              | 0,003 | 0,00  | 0,00 | 0 | 0 | 0,01 | 0    | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,00 | 0,008 |

## D2: Funktionella enheter för komponenterna

| Komponent                            | Funktionell enhet  |
|--------------------------------------|--|
| Daikin EWYE                          | 1 värmepump(på beräknad värmeeffekt = 26,89 kW)  |
| Ecoheater240                         | 1 värmepump  |
| Gebwell (G-Eco Core 40)              | 1 värmepump  |
| Mono-crystalline Photovoltaic Module | 1 Wp   |
| String inverter                      | Den växelriktarfunktion som krävs i ett referensbaserat solcellssystem (med 25 års livslängd) för att leverera 1 kWh växelström (AC), omvandlad från likström (DC) producerad av solpanelerna. |
| AQUA-LUX Panel made of GFRP          | 1 m2 panel   |
| Hot-Dipped Galvanized Steel Sheets   | 1000 kg  |
| Stainless Steel Fasteners            | 1 kg   |
| SOLAR CABLE H1Z2Z2-K                 | 1 m  |
| D11-D13 Meters                       | 1 mätare   |
| Huawei 161 kWh                       | 1 batteri  |
| (Locatelli et al., 2021)             | kWh kapacitet  |
| EPD AMO Charge Q-Flex 1x70           | 1 m  |

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| Prysmian FXQJ-EMC Pure 4x35/16     | 1 m  |
| ICT DW Blue Cable Protection Pipes | 1 kg   |
| Optical fibre cables (duct)        | 1000 m   |
| Single Microduct HDPE              | 1 kg   |
| Ferroamp EnergyHub XL              | Den växelriktarfunktion som krävs i ett referenssystem för solceller (med en livslängd på 25 år) för att leverera 1 kWh växelström (AC), omvandlad från likström (DC) som genereras av solpanelerna. |

### D3: Livscykeldata för batterier

| Systemlösning 4: Batterier |           |  |                |  |
|----------------------------|-----------|--|----------------|--|
| Referens                   | Livslängd | Kg CO <sub>2</sub> -ekv / kWh kapacitet (Utan B1-B7) | Utsläpp totalt | Anteckning   |
| Huawei 161 kWh             | 20        | 145,8  | 7843,06        | Räknat om klimatpåverkan per kWh kapacitet (6.6 batterier). Tillverkning i Kina. |
| (Locatelli et al., 2021)   | 10        | 137  | 7407,04        | Tillverkning i Kina  |
| (Locatelli et al., 2021)   | 10        | 103  | 5579,54        | Tillverkning i Europa  |

## Appendix E - Antaganden och scenarier

### E1: Emissionsfaktorer per scenario och år

| Scenario                     | Källa  | Geografi | 2023 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|------------------------------|--------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| <b>JRC POTEnCIA CETO</b>     | JRC    | Europa   | 320  | 150  | 88   | 45   | 45   | -    | 40   |
| <b>IEA Stated Policies</b>   | IEA    | Europa   | 300  | 264  | 113  | 67   | 45   | -    | 40   |
| <b>IEA Announced Pledges</b> | IEA    | Europa   | 300  | 230  | 90   | 45   | 45   | -    | 31   |
| <b>Nettonoll 2045</b>        | Mistra | Sverige  | 45   | -    | -    | -    | -    | 14   | 14   |
| <b>EU ETS</b>                | Mistra | Sverige  | 45   | -    | -    | -    | -    | 28   | 24   |

*E2: Tidsviktade genomsnittliga emissionsfaktorer (2023 - 2050)*

| Scenario              | Genomsnittlig emissionsfaktor<br>(g CO <sub>2</sub> -ekv/kWh) | Medelvärde |
|-----------------------|---|------------|
| JRC POTEnCIA CETO     | 75.8  | 86.2       |
| IEA Stated Policies   | 98.6  |            |
| IEA Announced Pledges | 84.2  |            |
| Nettonoll 2045        | 26.6  | 30.6       |
| EU ETS                | 34.5  |            |

## Appendix F - Systemdata

*F1: Användning av egenproducerad solel*

| System | Producerad solel<br>(kWh/år) | Använd solel<br>(kWh/år) | Såld solel (kWh/år) | Andel använd (%) |
|--------|------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------|
| S2     | 622 000                      | 198 000                  | 424 000             | 32               |
| S3     | 622 000                      | 338 000                  | 284 000             | 54               |
| S4     | 609 000                      | 464 000                  | 144 000             | 76               |
| S5     | 607 000                      | 493 000                  | 114 000             | 81               |

## Appendix G - Systemdata

*G1: Resultaten i ton CO<sub>2</sub>-ekv per år*

|                      | Referensval | S1    | S2    | S3    | S4    | S5    |
|----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Huvudresultat</b> | 44,22       | 47,85 | 38,35 | 38,35 | 46,53 | 52,32 |

|  |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Europeisk elmix</b>                               | 88,71  | 106,72 | 63,03  | 63,03  | 71,96  | 77,82  |
| <b>E.O.N Fjärrvärmemix</b>                           | 201,82 | 150,07 | 140,57 | 140,57 | 148,75 | 154,54 |
| <b>Nordeurpeisk användningsmix 2023</b>              | 55,55  | 62,84  | 44,63  | 44,63  | 53,00  | 58,81  |
| <b>Svensk produktionsmix 2050</b>                    | 31,69  | 31,26  | 31,39  | 31,40  | 39,36  | 45,13  |
| <b>Svensktillverkade solceller (Midsummer)</b>       | 44,22  | 47,85  | 32,73  | 32,74  | 40,91  | 46,70  |
| <b>Batterier livslängd 10 år</b>                     | 44,22  | 47,85  | 38,35  | 38,35  | 54,36  | 60,16  |
| <b>Ingen såld sol</b>                                | 44,22  | 47,85  | 51,48  | 47,16  | 51,00  | 55,86  |
| <b>Genomsnittlig Marginalet 2025 (Solel och FVP)</b> | 44,22  | 162,65 | -14,15 | -14,14 | -2,44  | 3,67   |