



Nr x xx
Januari 2020

Klimatbedömning av energilösningar i byggnader

Pilotprojekt för test av verktyget Tidstegen

Jenny Gode, Johanna Nilsson, Jonas Ottosson, Anders Sidvall

SBUF®

SVENSKA BYGGBRANSCHENS UTVECKLINGSFOND
The development fund of the Swedish construction industry

 **ivl**
SVENSKA
MILJÖINSTITUTET

I samarbete med Stockholm Exergi, Tekniska Verken i Linköping,
Stockholmshem, Skanska, Stångåstaden, Einar Mattsson och
Solkompaniet

Författare: Jenny Gode, Johanna Nilsson, Jonas Ottosson, Anders Sidvall, IVL Svenska Miljöinstitutet

Medel från: SBUF, Naturvårdsverket och Formas via Stiftelsen IVL

Fotograf: Klicka och ange text

Rapportnummer x xx

ISBN Klicka här för att ange ISBN nr

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2019**

IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm

Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Förord

Arbetet har utförts av forskare vid IVL Svenska Miljöinstitutet och har finansierats av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), Stockholm Exergi, Tekniska Verken i Linköping, Stockholmshem samt Naturvårdsverket och Formas via Stiftelsen IVL (SIVL). Arbetet är en fortsättning på ett flertal tidigare projekt som bedrivits sedan 2013, ursprungligen initierat av Skanska. I projektet har ett antal pilotprojekt genomförts för att testa verktyget Tidstegen. Arbetet med pilotprojekten har genomförts av IVL i samarbete med representanter från energi-, fastighets-, bygg- och solcells företag. Parallellt med pilotprojekten har Jonas Gräslund (Skanska), Hannes Schmied (NCC) och Johnny Kellner (Samhällsbyggarna, tidigare Veidekke) deltagit i arbetsmöten med projektgruppen under projektets gång. Detta nära samarbete mellan forskning och utveckling och näringsliv har möjliggjort att projektet fått god förankring både i byggbranschen och i energibranschen samt mycket god spridning.

I projektets referensgrupp har följande personer deltagit: Jonas Gräslund och Björn Berggren, Skanska; Erik Dotzauer, Stockholm Exergi; Lars Holmquist, Göteborg Energi; Anna Jarnehammar, IVL; Johnny Kellner, Samhällsbyggarna; Roland Jonsson, WSP; Raziye Khodayari, Energiföretagen Sverige; Johan Lundén och Teresia Göransson, Tekniska Verken i Linköping; Hannes Schmied, NCC; Hans Söderström, Installatörsföretagen; Kjell-Åke Henriksson, JM; Mari-Louise Persson, Riksbyggen; Roland Jonsson, WSP; Johan Tjernström, Akademiska hus samt Johan Svensson, Peab. I pilotprojekten har dessutom följande organisationer och personer deltagit: Skanska (Jonas Gräslund och Josefine Holmgren), Stockholmshem (Mattias Övelius, Johanna Wikander, Mona Norbäck, Gösta Jansson), Einar Mattsson (Artur Scholl), Solkompaniet (David Larsson), Stångåstaden (Mårten Danckwardt-Lillieström), Stockholm Exergi (Christer Boberg, Erik Dotzauer, Kjell Rilegård) och Tekniska Verken i Linköping (Johan Lundén, Teresia Göransson).

Denna rapport utgör slutrapport i SBUF-projektet: 13702 – Klimatbedömning av energilösningar i byggnader - Överbrygning (etapp IV).

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	6
Summary.....	7
1 Inledning	8
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte.....	8
1.3 Studerade pilotprojekt	9
1.4 Metod.....	9
1.4.1 Konsekvensanalys	9
1.4.2 Sammanfattning av metodik och verktyg	10
1.5 Ordlista och förklaring till begrepp som används i rapporten	11
2 Pilotprojekt	13
2.1 Generellt om indata och resultat	13
2.1.1 Generellt om indata för fastigheter	13
2.1.2 Generellt om indata för energisystem	13
2.1.3 Generellt om resultat.....	14
2.2 Pilot 1: Olika driftstrategier för värmepumpar.....	15
2.2.1 Beskrivning av pilotprojektet	15
2.2.2 Resultat pilotprojekt 1	18
2.3 Pilot 2: Säsongslager värme, DGC och solceller.....	19
2.3.1 Beskrivning av pilotprojektet	20
2.3.2 Resultat från verktyget Tidstegen.....	25
2.4 Pilot 3: Värmepump, solceller och värmelager	26
2.4.1 Beskrivning av pilotprojektet	26
2.4.2 Resultat från verktyget Tidstegen.....	29
2.5 Pilot 4: Byggnadstekniska lösningar	30
2.5.1 Beskrivning av pilotprojektet	30
2.5.2 Resultat från verktyget Tidstegen.....	33
3 Testning, verktygs- och metodutveckling.....	35
3.1 Utvärdering efter genomförda pilotprojekt	35
3.2 Återkoppling under pilotprojektens gång	36
3.2.1 Metodfrågor.....	36
3.2.2 Övrig återkoppling	37
3.3 Lansering av verktyget Tidstegen	37
4 Diskussion	38
5 Slutsatser	41
6 Referenser.....	42

Bilaga 1. Förtydligande av solcellsanläggning i Pilotprojekt 2	43
Bilaga 2. Frågeformulär för utvärdering av verktyget Tidstegen.....	45

Sammanfattning

I projektet har ett verktyg för klimatbedömning av energilösningar i byggnader testats och vidareutvecklats i fyra pilotprojekt. Verktyget kallas Tidstegen och bygger på metodik som tagits fram i tidigare forskningsprojekt. Verktyget Tidstegen har utvecklats för att beräkna klimatprestanda av byggnaders energianvändning vid ny- eller ombyggnation. Pilotprojekten har genomförts i samarbete mellan ett bygg- eller fastighetsbolag, ett energibolag och IVL. I ett pilotprojekt har även ett solcellsföretag deltagit. Syftet har varit att analysera klimatpåverkan från olika energilösningar och att bidra till vidareutveckling av verktyget. Deltagarna i pilotprojekten har gett återkoppling kring verktyget både kontinuerligt under projektets gång och genom systematisk utvärdering i pilotprojektens slutskede. Resultat från verktyget Tidstegen kan användas som ett av flera underlag när ett företag (vanligtvis ett bygg- eller fastighetsföretag) står inför beslut att genomföra en investering antingen i nybyggnation eller i ändring av befintlig byggnad. Resultaten som erhålls med verktyget kan med fördel användas som ett komplement till andra beslutsunderlag såsom ekonomi och inom miljö med mera.

De fyra pilotprojekten har omfattat fjärrvärmeuppvärmda fastigheter i Linköping, nordvästra Stockholm, södra Stockholm respektive centrala Stockholm. Ett av pilotprojekten har avsett nybyggnation medan de övriga har avsett befintliga fastigheter. Två av pilotprojekten har inkluderat solcellslösningar. Ett av pilotprojekten har omfattat energilösningar med fjärrkyla. Pilotprojekten valdes ut genom intresseanmälan från de aktuella företagen och säkerställande att de hade möjlighet att genomföra piloterna under hösten 2019.

I verktyget Tidstegen analyseras konsekvenserna ur klimatsynpunkt av förändrad energi-användning och klimatberäkningen baseras därför endast på de anläggningar i energisystemet som påverkas av förändringen. Aktuellt fjärrvärme- och fjärrkylaföretag lägger in data i verktyget kring de anläggningar som påverkas av förändrad efterfrågan på värme och kyla. IVL lägger in data för elsystemet utifrån tre nordeuropeiska elscenarier, då konsekvensen av förändrad elanvändning även påverkar elproduktion utanför Sverige och Norden. Denna elproduktion är främst fossilbränslebaserad på kort sikt och därefter elproduktion med lägre klimatpåverkan. Åtgärder som innebär ökad elanvändning får relativt hög klimatpåverkan medan åtgärder som minskar elbehovet ger låg klimatpåverkan. Installation av solceller blir därför en effektiv åtgärd ur klimatsynpunkt. Två av pilotprojekten har inkluderat solcellslösningar. Av samma skäl är det inte klimatmässigt gynnsamt med energiåtgärder som minskar fjärrvärmebehovet vid tidpunkter då kraftvärmeanläggningar påverkas av förändringen, eftersom den förlorade elproduktionen i kraftvärmeanläggningen måste ersättas med annan el i det nordeuropeiska elsystemet. Lokal elproduktion genom kraftvärme minskar även problem med kapacitetsbrist i elnätet i städer. Samtliga pilotprojekt har fjärrvärmeförsörjning med mycket kraftvärme. Två av pilotprojekten har analyserat energieffektiviseringsåtgärder som under dessa förutsättningar inte är klimatmässigt fördelaktiga. Energieffektivisering har dock många andra betydelsefulla nyttor, såsom lägre effektbehov, förbättrad inom miljö, ökad standard och lägre driftskostnader. Dessutom rustas byggnaderna för förändringar i energisystemet i framtiden. Det är exempelvis sannolikt att elsystemen i våra nordeuropeiska grannländer successivt kommer att bli bättre och då ökar klimatnyttan med energieffektivisering.

Åtgärder som minskar kraftvärmebehovet kan ibland innebära att värme måste kylas bort om det till exempel finns krav på förbränning av avfall av bland annat hygieniska skäl. En åtgärd som kan vara klimatmässigt gynnsam är till exempel värmelager som flyttar värme från sommar till vinter, vilket har studerats i ett av pilotprojekten.

Summary

The tool Tidstegen for climate assessment of energy solutions in buildings has been tested and developed in four pilot projects. The tool is based on methodology developed in previous research projects. The pilot projects have been carried out in collaboration between a construction or real estate company, an energy company and IVL. One of the pilot projects involved a solar PV company as well. The purpose has been to analyze the climate impact of various energy solutions as well as to contribute to the development of the tool. The participants in the pilot projects have provided feedback about the tool continuously during the project and through systematic evaluation at the final stage of the project. The climate calculations from the tool provides one of several decision bases for companies (usually construction or real estate companies) when they plan for investments either in new buildings or in changes of existing buildings. The results can thus be used as a complement to other decision bases such as economy and indoor environment.

The four pilot projects have included district heating heated properties located in either Linköping, northwest Stockholm, southern Stockholm or central Stockholm. One of the pilot projects analyzed a new building, while the others analyzed measures in existing properties. Two of the pilot projects have included solar cell solutions. One of the pilot projects included energy solutions with district cooling. The pilot projects were selected through a declaration of interest from the companies in question and ensuring that they would be able to carry out the analysis in the autumn of 2019.

The tool Tidstegen analyzes the climate consequences of a change in energy use and the climate calculation therefore only takes into account the plants in the energy system that are affected by the change. The district heating and cooling companies enter data into the tool about the plants affected by a change in demand for heating and cooling. IVL adds data for the electricity system based on three North European electricity scenarios, as the consequence of changed electricity use also affects electricity generation outside Sweden and the Nordic region. This electricity production is mainly fossil fuel-based in the short term and electricity generation with lower climate impact in the long term. Measures that involve increased electricity use have a relatively high climate impact, while measures that reduce the need for electricity have a low climate impact. The installation of solar PVs is therefore an effective measure from a climate point of view. For the same reason, energy measures that reduce the need for district heating at times when CHP¹ plants are affected by the change are not favorable from a climate perspective, since the lost electricity generation in the CHP plant must be replaced by other electricity generation in the North European electricity system. All pilot projects have district heating supply with a lot of CHP. Two of the pilot projects have analyzed energy efficiency improvement measures that, under these conditions, are not climate favorable. However, energy efficiency improvement has many other important benefits, such as lower power requirements, improved indoor environment, increased standards and lower operating costs. In addition, the buildings will be equipped for changes in the energy system in the future. For example, it is likely that the North European electricity system will gradually improve.

One pilot project has studied the climate impact of local heat storage which moves heat demand from summer to winter. This is favorable from a climate perspective because the climate impact of the district heating system is lower in the summer than in the winter.

¹ CHP = Combined Heat and Power, also called cogeneration

1 Inledning

Verktyget Tidstegen har utvecklats för att beräkna klimatprestanda av byggnaders energi-användning vid ny- eller ombyggnation. Byggnaders energianvändning påverkar inte bara byggnadens klimatprestanda utan medför också effekter på det övergripande energisystemet. Att välja klimatmässigt gynnsamma energilösningar och renoveringsstrategier i byggnadsbeståndet är därför en viktig del i omställningen till ett mer hållbart energisystem. Verktyget bygger på metodik och data som tagits fram och rapporterats i flera tidigare etapper av forskningsprojektet (Gode m.fl. 2015, Hagberg m.fl. 2017, Lätt m.fl. 2019).

1.1 Bakgrund

Verktyget Tidstegen och metodiken bakom det har tagits fram för att det saknats hjälpmedel för bygg- och fastighetsbolag att använda för att analysera klimatpåverkan vid förändrad energianvändning och som tar hänsyn till hur en byggnads energibehov och tillförseln av el/fjärrvärme/fjärrkyla varierar i tid. I dagsläget beaktas ofta bara byggnadens energiprestanda i form av köpt energi på årsbasis och inte den totala energi-och resursanvändningen då byggnaden kopplas ihop med energisystemet. Detta kan leda till felaktiga och i vissa fall kostsamma investeringar i ett enskilt projekt utan att en verklig energi- och miljövinst uppnås. Verktyget Tidstegen och den metod verktyget bygger på tar hänsyn till detta systemperspektiv och hur användning och produktion av el/värme/kyla matchar i tid. Genom scenarier för utveckling av framtida energisystem tar metoden även hänsyn till hur en energiåtgärd i en byggnad över hela sin livslängd påverkar energisystemet. Verktyget analyserar konsekvenser av förändrad energianvändning och kan användas som underlag vid beslut om vilken åtgärd som påverkar energianvändningen som ska utföras.

Detta projekt har samfinansierats av byggbranschen genom SBUF, Stockholmshem, Stockholm Exergi, Tekniska Verken i Linköping samt Naturvårdsverket och Formas genom stiftelsen IVL.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att testa och vidareutveckla den betaversion av verktyget Tidstegen som utvecklas i den tredje etappen av forskningsprojektet "Tidstegen". Detta görs i ett antal pilotprojekt, med mål att vid projektets slut lansera verktyget för bred användning. Varje pilotprojekt genomförs i samarbete mellan minst ett bygg- eller fastighetsbolag, ett energibolag och IVL. Vid val av pilotprojekt eftersträvas bredd avseende projekt för nybyggnad, ombyggnad/driftsstrategier samt för byggnader med egen energiomvandling. Arbetet utgår från den metodik och den betaversion av verktyget Tidstegen som utvecklats i tidigare projekt.

Genom detta projekt ska verktyget kvalitetssäkras, för att sedan kunna ta fram underlag för beslut kopplat till klimatpåverkan av olika energilösningar. Resultaten som erhålls med metoden kan användas som ett komplement till andra beslutsunderlag såsom ekonomi, köpt energi m.m.

1.3 Studerade pilotprojekt

Följande pilotprojekt har ingått i projektet:

- Olika drifttid för värmepumpar i fastigheter kopplade till fjärrvärmenät med kraftvärme
- Säsongslager för värme, frikyla genom Skanskas koncept "Deep Green Cooling" (DGC)² samt investering i solceller
- Värmepump, värmelager och solceller
- Renoveringsåtgärder typ ROT inklusive FTX i fastighet kopplad till fjärrvärmenät med kraftvärme

Det är deltagarna i pilotprojekten som själva har lagt in uppgifter om referensbyggnad och energilösningar och som har namngivit dessa i verktyget. IVL har således inte haft rådighet över hur energilösningarna har namngivits.

1.4 Metod

Beräkningarna av klimatprestanda utgår från metodiken som tagits fram i tre tidigare forskningsprojekt (Gode m.fl. 2015, Hagberg m.fl. 2017, Lätt m.fl. 2019). Baserat på metodiken har en betaversion av ett verktyg tagits fram. Metodiken bygger på så kallad konsekvensanalys, vilket beskrivs kortfattat nedan. Beräkningsgången i metodiken och verktyget sammanfattas därefter.

1.4.1 Konsekvensanalys

Verktyget Tidstegen bygger på miljöbedömning med så kallad konsekvensanalys, även kallat miljöbedömning i beslutsperspektiv eller konsekvens-LCA. Med detta menas att effekten av förändrad energianvändning analyseras. Detta skiljer sig från så kallad bokföring som innebär kartläggning av utsläpp från en viss produkt, byggnad, företag och liknande och som används vid till exempel miljöredovisning eller miljövarudeklarationer. Konsekvensanalys är alltså lämpligt att använda vid beslutssituationer där konsekvenser av förändringar ska analyseras medan bokföring passar för att beräkna vilka utsläpp som hör till en viss produkt exempelvis vid miljöredovisning. För mer information om miljöbedömning av energi och specifikt konsekvensanalys och bokföring hänvisas till exempelvis Ekvall (2018).

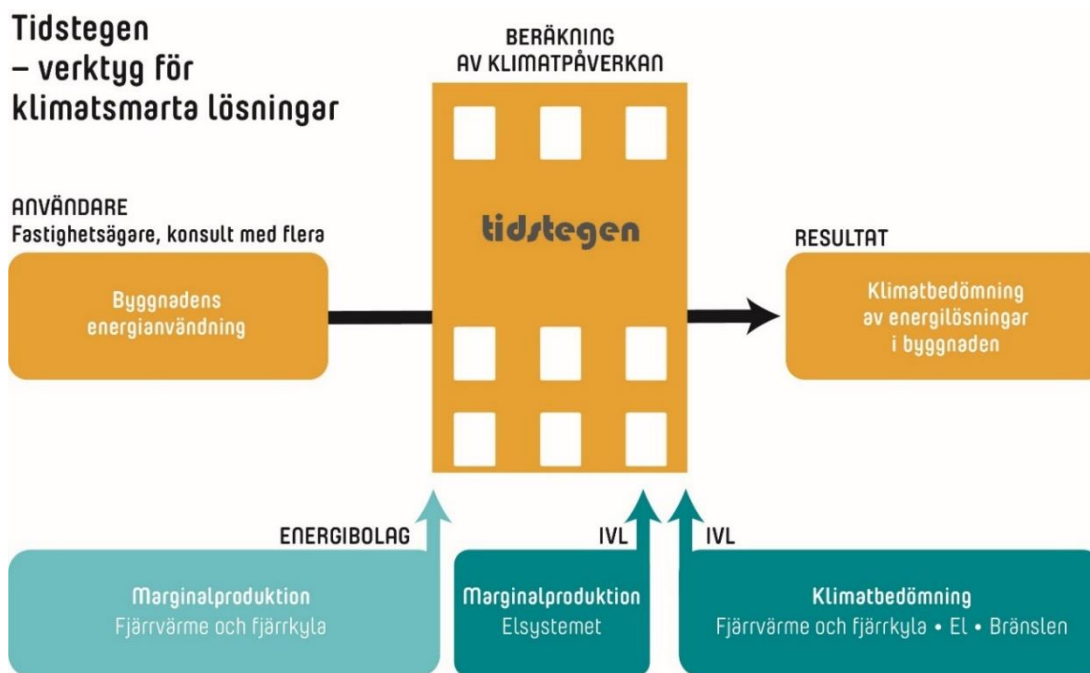
Eftersom verktyget Tidstegen bygger på konsekvensanalys är det lämpligt att använda när effekterna av ett beslut som påverkar energianvändningen ska studeras, t.ex. vid nybyggnation, renovering och energieffektivisering. Eftersom det är förändringen som studeras så beräknar verktyget skillnaden i klimatpåverkan mellan olika energilösningar jämfört med ett referensfall. Det är verktygsanvändaren som själv definierar både energilösningar och referensfall. Eftersom det är klimatpåverkan av förändrad energianvändning som är relevant i konsekvensanalys baseras klimatberäkningen endast på de anläggningar i energisystemet som påverkas av förändringen. Detta sker genom att aktuellt energibolag lägger in data i verktyget kring vilka anläggningar i fjärrvärme- respektive fjärrkylanätet som påverkas av förändrad efterfrågan på värme och kyla vid olika temperaturer. IVL lägger in data för elsystemet utifrån tre elscenarier som framtagits i tidigare etapper av projektet. Elscenarierna har ett nordeuropeiskt perspektiv eftersom effekten av

² Deep Green Cooling innebär att nyttja bergkyla utan värmepumpar eller kylmaskiner

förändrad elanvändning även påverkar elproduktion utanför Sverige och Norden. I konsekvensperspektiv är denna el i stor utsträckning fossilbränslebaserad elproduktion på kort sikt och därefter elproduktion med lägre klimatpåverkan i samtliga scenarier men olika mycket beroende på scenario.

1.4.2 Sammanfattning av metodik och verktyg

I Figur 1 och efterföljande text sammanfattas kortfattat verktyget Tidstegen och den metodik som verktyget bygger på.



Figur 1. Beräkningsgång i metoden och verktyget Tidstegen.

Metoden inom pilotprojekten omfattar förenklat följande steg:

1. Energilösningar i byggnader

Användaren (t.ex. ett bygg- eller fastighetsbolag) tar fram energidata (producerad och använd el, värme och kyla) för en referensbyggnad och för ett antal fallstudier som ska analyseras. Dessa data bör vara tidsupplösta, och högsta detaljgrad är per timme.

2. Fjärrvärme

Energibolaget tar fram data för fjärrvärmesystemet enligt en särskild metod och mall. Detta ger information om vilka fjärrvärmeanläggningar och bränslen som påverkas vid förändrad energianvändning vid en viss utetemperatur. Data bör levereras för dagens situation och minst ett framtida scenario.

3. El

IVL tar fram data för tre scenarier för utveckling av elsystemet. Scenarierna beskriver vilka elproduktionstekniker (och resulterande klimatprestanda) som påverkas av en förändrad elanvändning/elproduktion i det nordeuropeiska elsystemet. De tre scenarierna är ett referensscenario, ett klimattungt scenario och ett klimatsnålt scenario. Det som skiljer

scenarierna åt är antaganden om vilka anläggningar som kommer att påverkas av förändrad efterfrågan på el, där det klimatsnåla ger lägst klimatpåverkan, följt av referensscenariot och sedan det klimattunga scenariot.

I detta projekt har IVL använt de scenarier som togs fram i Tidstegen 2 (Hagberg m.fl. 2017) vilka i sin tur baseras på NETP-scenarierna (Nordic Energy Technology Perspectives) framtagna av IEA. För detaljer om siffror och antaganden hänvisas till Hagberg m.fl. 2017.

4. Beräkning klimatprestanda

Beräkning av klimatprestanda för olika energilösningar sker genom beräkning av skillnaden i klimatpåverkan mellan varje fallstudie och referensbyggnaden.

5. Vidareutveckling av verktyg

I momenten 1,2,4 testas verktyget Tidstegen i de olika pilotprojekten och utvecklingsbehov för verktyget identifieras. Deltagarna i pilotprojekten rapporterar löpande eventuella buggar i verktyget till IVL. Deltagarna fyller även i ett frågeformulär med frågor relaterat till användarvänlighet och utvecklingsbehov för verktyget och användarmanualer. Resultaten från pilotprojekten avseende verktygets utformning, resultatredovisning, användarbehov, utvecklingspotential, eventuella buggar m.m. diskuteras sedan vid en gemensam eller flera workshops då även utbyte mellan pilotprojekten sker. IVL vidareutvecklar sedan verktyget utifrån den återkoppling som framkommer.

1.5 Ordlista och förklaring till begrepp som används i rapporten

I tabellen nedan sammanfattas några av de termer och begrepp som återkommer i rapporten.

Tabell 1. Ordlista

Term	Beskrivning
Additionalitet	Med additionalitet avses att en investering i exempelvis ny förnybar elproduktion är ett resultat av ett specifikt projekt och att investeringen inte hade skett utan det projektet.
Bokföring	Miljövärderingsmetod som används när utvärdering ska göras av enskilda produkter. Det innebär en fördelning av resursanvändning och emissioner för ett system som hör till en aktör eller en funktion. Resultatet blir en miljöprofil för aktören eller funktionen. Summan av alla produkters resursanvändning och emissioner inom ett system ska motsvara det systemets totala resursanvändning och emissioner.
CO ₂ -ekvivalenter (koldioxid-ekvivalenter, CO _{2e} , CO _{2ekv})	Gemensam enhet för att jämföra olika växthusgasers påverkan på klimatet. För beräkning av koldioxidekvivalenter används olika växthusgasers GWP, se nedan.
GWP	GWP = Global Warming Potential. Avser omräkningsfaktor för att kunna jämföra olika växthusgasers bidrag till växthuseffekten. Anges i CO ₂ ekvivalenter.
Konsekvensanalys	Konsekvensanalys ger information om effekterna av ett specifikt beslut, eller information om hur en beslutsfattare kan påverka miljön. Det inkluderar indirekta effekter av en förändring eller ett beslut på andra system.

LCA-perspektiv	LCA står för livscykelanalys, som beskriver en produkts miljöpåverkan "från vaggan till graven". Med LCA-perspektiv på ett bränsle inkluderas därmed all miljöpåverkan från utvinning av bränslet, via förädling och distribution, till omvandling och slutanvändning.
Marginalmix (för fjärrvärme och fjärrkyla)	Fördelningen av produktionsanläggningar för ett specifikt fjärrvärme- eller fjärrkylanät som vid varje utomhustemperatur på verkas av förändrad efterfrågan. I verktyget Tidstegen tas marginalmixen fram av respektive fjärrvärmebolag. Vid en specifik utomhustemperatur kan det beroende på exempelvis tid på året och förutsättningar i nätet vara olika anläggningar i fjärrvärmesystemet som påverkas av förändringen, därav att det blir en mix.
Referens, referensbyggnad	I verktyget Tidstegen anger varje användare vilken byggnad som de olika energilösningarna ska jämföras mot. Denna byggnad kallas referens eller referensbyggnad. Det kan vara lite förvirrande för läsaren av denna rapport att ordet referens även förekommer för att beskriva ett av elscenarierna (Elscenario referens). De avser dock två helt olika saker. Det ena är en jämförelsebyggnad och det andra är ett av tre scenarier för utvecklingen av det nordeuropeiska elsystemet.
Växthusgas	Gemensamt namn för de olika gaser som bidrar till förstärkt växthuseffekt. De vanligaste är koldioxid (CO ₂), kvävedioxid (N ₂ O) och metan (CH ₄).

2 Pilotprojekt

Inom projektet har fyra pilotprojekt utförts för att beräkna byggnaders förändrade klimatpåverkan vid olika åtgärder eller nybyggnationer då de ingår i fyra olika lokala energisystem med koppling till det nordeuropeiska elsystemet. I detta avsnitt redovisas utfallet av dem. Pilotprojekten har haft en viktig funktion för att testa och vidareutveckla den betaversion av verktyget Tidstegen som togs fram inom den tredje etappen av projektet Tidstegen. De fyra pilotprojekten sammanfattas i Tabell 2. Genomgående i denna rapport menas med begreppet "användare" en aktör som utför åtgärder i en byggnad eller bygger en ny byggnad och vill undersöka hur åtgärderna påverkar byggnadens klimatpåverkan med avseende på energianvändning. Användare som har varit delaktiga i pilotprojekten inom projektet har varit allmännyttiga och privata fastighetsbolag, projektörer och installatörer av solceller samt byggherrar.

Tabell 2 Översikt av pilotprojekt som genomförts i projektet

Pilotprojekt	Energibolag	Användare	Typ av åtgärd som undersökts
1	Stockholm Exergi AB	AB Stockholmshem	Olika driftstrategier för värmepumpar i befintlig byggnad
2	Stockholm Exergi AB	Skanska AB	Olika värme/kyla-lösningar vid nybygge samt installation av solceller
3	Stockholm Exergi AB	Solcellskompaniet AB och Einar Mattsson AB	Installation av solceller, frånluftsvärmepump samt värmelager i befintlig byggnad
4	Tekniska Verken i Linköping AB	AB Stångåstaden	ROT-renoveringsåtgärder i befintlig byggnad, inklusive installation av FTX-aggregat

2.1 Generellt om indata och resultat

2.1.1 Generellt om indata för fastigheter

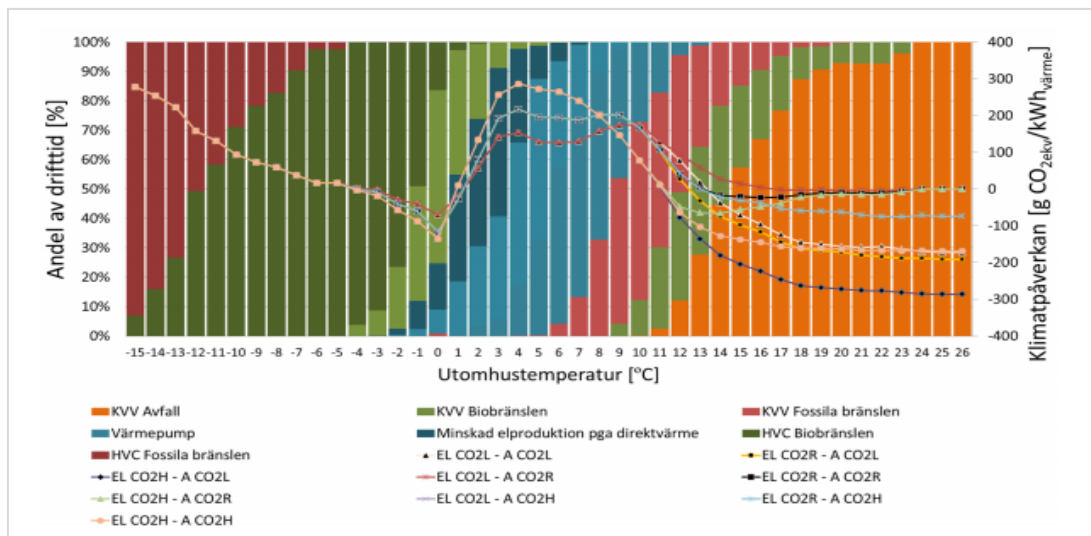
I samtliga pilotprojekt har användaren tagit fram uppmätt eller uppskattad energianvändning per timme för ett år i en fastighet innan åtgärd. Denna data har använts för att bilda ett utgångsläge eller referens, mot vilka olika åtgärder och energilösningar har jämförts.

2.1.2 Generellt om indata för energisystem

Energibolagen har i pilotprojekten angivit vilka produktionsanläggningar som finns i deras fjärrvärme- och kylproduktion samt respektive anläggnings totalverkningsgrad, bränsle och alfavärde. Därefter har energibolagen genom eget utvecklade metoder angett sannolikheten för att en viss produktionsanläggning påverkas av förändrad efterfrågan på värme eller kyla vid varje utomhustemperatur mellan -25°C och +25°C. De anläggningar som redan är i full drift påverkas ej och medräknas därför ej. Underlag för att ange denna sannolikhet har varit historiska

produktionsdata eller framtida produktionsplaner. Resultatet blir en så kallad marginalmix för fjärrvärme eller fjärrkyla.

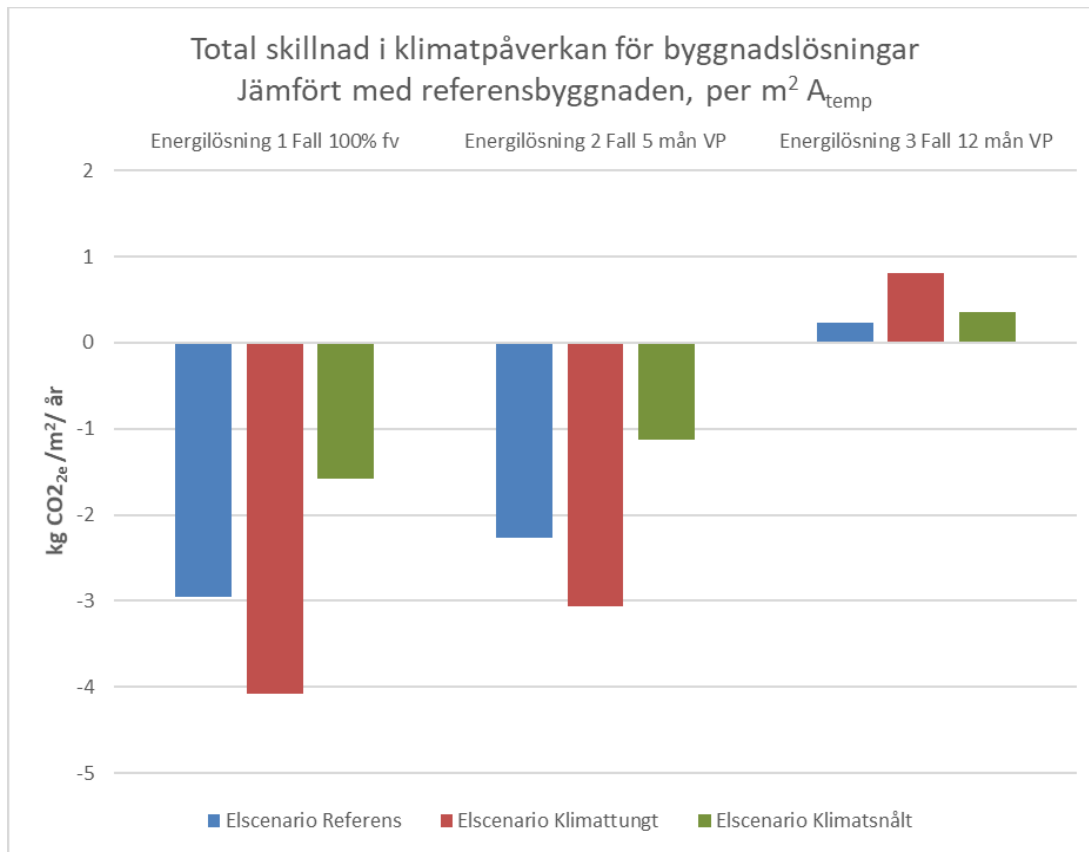
Med hjälp av ovanstående information om energisystemen har IVL genom verktyget Tidstegen eller separata beräkningar uppskattat klimatpåverkan från en förändrad energianvändning i en byggnad kopplad till energisystemet. För varje energisystem beräknas klimatpåverkan per utomhustemperatur i tre olika scenarier för det nordeuropeiska elsystemets utveckling. Se Hagberg m.fl. (2017) för en mer utförlig beskrivning av hur klimatpåverkan för ett fjärrvärme- eller kylsystem bedöms enligt Tidstegen-metoden. I Figur 2 visas ett exempel på hur ett fjärrvärmesystems marginalmix och klimatpåverkan beskrivs enligt Tidstegen-metoden.



Figur 2 Exempel på marginalmix och klimatpåverkan för ett fiktivt fjärrvärmesystem. Staplarna anger en fördelning av anläggningar som vid en viss utomhustemperatur påverkas av förändrad efterfrågan på fjärrvärme. Linjerna anger den resulterande klimatpåverkan vid varje utomhustemperatur. Figuren är hämtad från (Hagberg m. fl., 2017) och innehåller fler olika linjer för klimatpåverkan än vad som används i denna rapport. (KVV: Kraftvärmeverk; HVC: Hetvattencentral)

2.1.3 Generellt om resultat

Resultaten av fjärrvärmens klimatprestanda presenteras i pilotprojekten enligt formatet i Figur 3. Det utgör indata till klimatberäkningarna av energilösningarna, där det huvudsakliga resultatet som redovisas är den förändrade klimatpåverkan för en byggnad som erhålls då olika åtgärder eller energilösningar implementeras i byggnaden. Klimatpåverkan är uttryckt som ton koldioxidekvivalenter (CO_{2e} eller CO_{2ekv}) per år eller kg koldioxidekvivalenter per m² A_{temp} och är ett medelvärde av den årliga förändrade klimatpåverkan från byggnaden mellan året då åtgärden eller energilösningen implementeras och år 2040. Resultaten redovisas för de tre olika framtida elscenarier som beskriver klimatpåverkan från förändrad efterfrågan på el i det nordeuropeiska elsystemet, utvecklade och beskrivna i Hagberg m.fl. (2017). Ett negativt värde innebär att energilösningen ger minskad klimatpåverkan jämfört med om ingen åtgärd eller energilösning implementeras, det vill säga referensfallet. Ett positivt värde innebär ökad klimatpåverkan jämfört med referensen.



Figur 3 Exempel på resultat från verktyget tidstegen.

2.2 Pilot 1: Olika driftstrategier för värmepumpar

Pilotprojekt 1 genomfördes under våren 2019 och var det första inom projektet. Pilotprojektet utfördes av Stockholmshem tillsammans med Stockholm Exergi. I en byggnad i Stockholmshems bestånd är frånluftsvärmepumpar installerade i kombination med fjärrvärme från Stockholm Exergi. I pilotprojektet undersökte Stockholmshem hur olika driftstrategier för värmepumparna påverkar byggnadens klimatpåverkan. Eftersom pilotprojektet var det första projektet att testa betaversionen av verktyget Tidstegen var fokus att få återkoppling kring buggar, verktygsutveckling och användarvänlighet i verktyget. Klimatberäkningarna utfördes främst i Excel av IVL, men vissa beräkningar gjordes även i verktyget. Efter avslutat pilotprojekt har beräkningarna även till fullo utförts i verktyget. Beräkningarna i Excel från pilotprojektet har på så vis kvalitetssäkrat bakomliggande beräkningar i verktyget.

2.2.1 Beskrivning av pilotprojektet

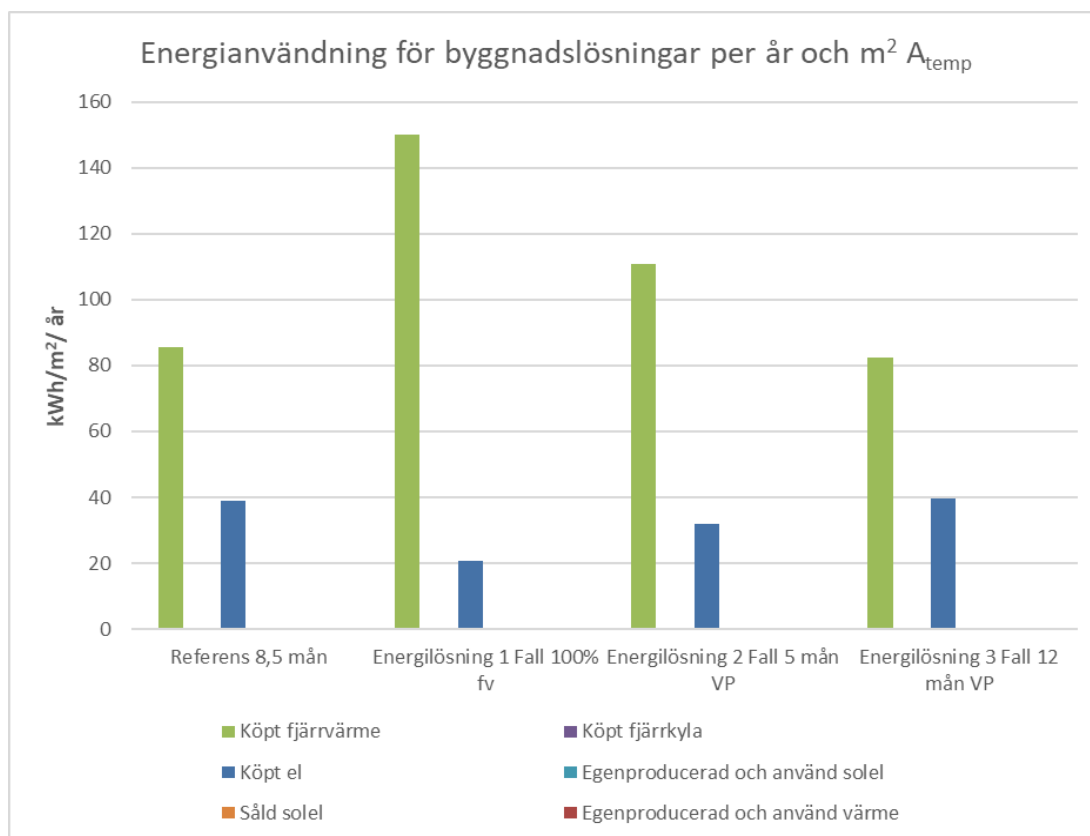
I pilotprojektet undersöktes en fastighet i Stockholmshems bestånd i Hökarängen. Fastigheten består av två byggnader om totalt $3\,920\ m^2 A_{temp}$. Byggnaderna värms idag med fjärrvärme och frånluftsvärmepumpar och det totala värmebehovet i de två byggnaderna är $588\ MWh/år$. 2018 täcktes detta av $336\ MWh$ fjärrvärme och $252\ MWh$ av värmepumparna. Värmepumparna har en genomsnittlig verkningsgrad (COP) på 3,54, vilket innebär att $71\ MWh$ el användes för att driva

värmepumparna 2018. I Tidstegen jämförs alltid klimatpåverkan från olika åtgärder mot ett referensfall, vilket i pilotprojekt 1 har utgjorts av dagens driftstrategi för värmepumparna. Värmepumparna prioriteras i dagsläget under vintersäsongen september till maj och fjärrvärme används som spets då värmepumparnas effekt inte räcker till. I projektet har Stockholmshem studerat hur ändringar av denna driftstrategi påverkar byggnadens klimatpåverkan, de olika driftstrategierna beskrivs i Tabell 3. För referensfallet har uppmätt förbrukning av fjärrvärme och el i fastigheten per timme använts, medan övriga fall eller energilösningar har beräknats och/eller uppskattats av Stockholmshem.

Tabell 3 Undersökta energilösningar i pilotprojekt 1

	Namn	Beskrivning
Referensfall	Referens 8,5 mån	Värmepumpar körs 8,5 månader (september till maj), övrigt värmebehov täcks av fjärrvärme.
Energilösning 1	Fall 100% fv	Hela värmebehovet täcks av fjärrvärme.
Energilösning 2	Fall 5 mån VP	Värmepumpar körs 5 månader (november-mars), övrigt värmebehov täcks av fjärrvärme.
Energilösning 3	Fall 12 mån VP	Värmepumpar körs 12 månader, övrigt värmebehov (t.ex. värme till varmvatten) täcks av fjärrvärme.

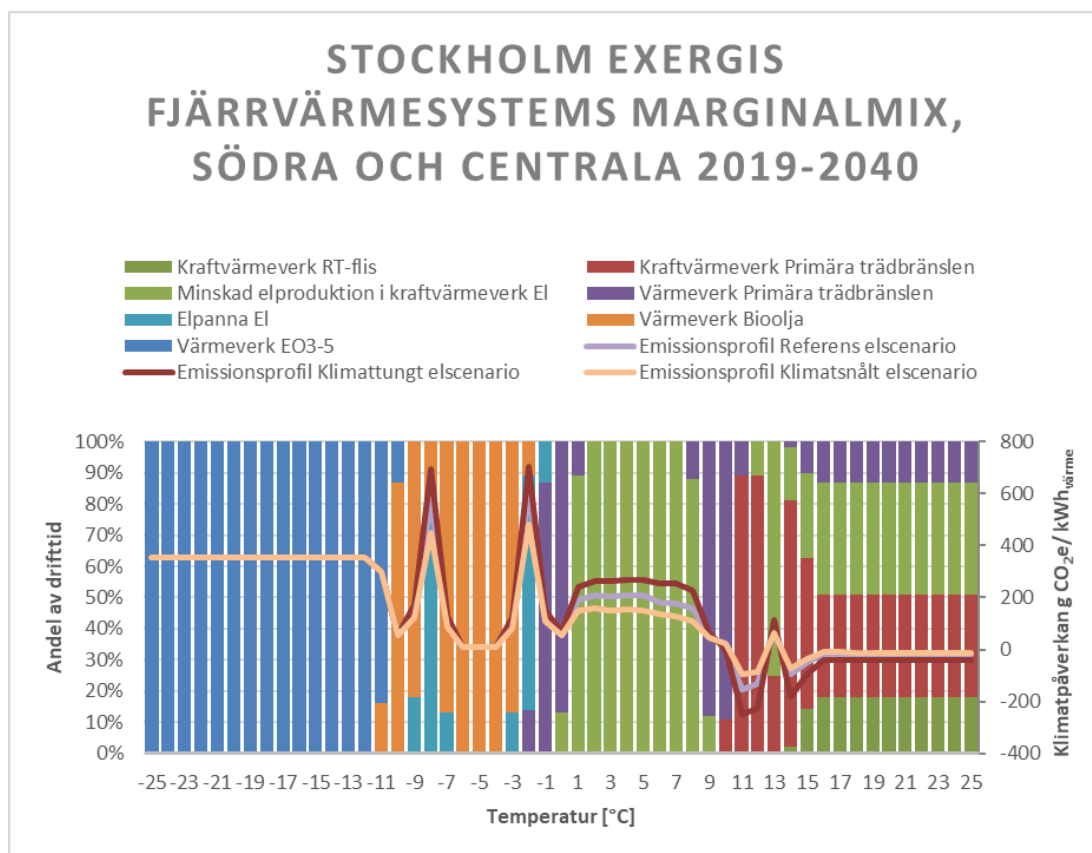
Den totala energianvändningen per år och $m^2 A_{temp}$ (inköpt fjärrvärme och el) i fastigheten sammanfattas i Figur 4, för dagens driftstrategi (Referens 8,5 mån) och de tre olika energilösningarna.



Figur 4. El- och fjärrvärmeanvändning per år och $m^2 A_{temp}$ för dagens driftstrategi (Referens 8,5 mån) samt i de tre olika studerade energilösningarna i pilotprojekt 1.

Indata energisystem – fjärrvärme från Stockholm Exergi

Klimatprestanda för Stockholm Exergis Södra och Centrala fjärrvärmenät har beräknats i enlighet med Tidstegen-metoden, vilket innebär att de anläggningar som påverkas av förändrad efterfrågan på fjärrvärme vid olika utomhustemperaturer har identifierats av Stockholm Exergi för dagens situation. Det finns för närvarande planer på förändringar i drift av anläggningar, investering i nya tekniker och anläggningar samt nedläggning av gamla anläggningar i Stockholm Exergis fjärrvärmenät. Inom pilotprojekt 1 fanns ingen möjlighet att identifiera ett framtidsscenario, vilket hade varit lämpligt med tanke på de stora förändringarna som kommer att ske närmsta åren. Därför får beräkningarna ses som exempel. I övriga pilotprojekt som utfördes senare under projektet kunde framtida utvecklingar av fjärrvärmesystemet inkluderas. Klimatpåverkan av förändrad fjärrvärmeproduktion vid olika utomhustemperaturer sammanfattas i Figur 5. Vid temperaturer under -11°C påverkas endast ett värmeverk av förändrad efterfrågan, varmed klimatpåverkan är konstant.



Figur 5 Marginalmix och klimatpåverkan för fjärrvärmeproduktion i Stockholm Exergis Södra och Centrala nät år 2019 till år 2040. Efter att underlaget till figuren togs fram har Stockholm Exergis system förändrats. Dessutom har metodutveckling skett angående klimatberäkning och beskrivning av vissa bränslen och energislag. Figuren ska därför ses som ett exempel.

Vid temperaturer mellan -9°C och -1°C finns minskad elproduktion i kraftvärmeverk i marginalmixen. Detta innebär att elproduktionen i kraftvärmeverk har minskats till förmån för ökad värmeproduktion. Detta benämns i figuren "Minskad elproduktion i kraftvärmeverk" och har i aktuell version av modellen approximerats med en elpanna, vilket ger en överskattning av emissionerna. I övriga pilotprojekt där minskad elproduktion i kraftvärmeverk varit aktuellt har en

bättre approximation gjorts. För en mer detaljerad beskrivning av "minskad elproduktion", se avsnitt 3.2.1.

I intervallet 0°C till 9°C är det främst Stockholm Exergis värmepumpar som påverkas av förändrad efterfrågan på fjärrvärme, vilket gör att klimatpåverkan från fjärrvärmeproduktion påverkas av vilket elscenario som gäller. Det klimattunga scenariot ger högst klimatpåverkan, eftersom elen som används i värmepumparna har den högsta bedömda klimatpåverkan. I de två övriga elscenarierna är klimatpåverkan lägre vilket leder till lägre klimatpåverkan även för den producerade värmen.

I intervallet 10°C till 25°C återfinns olika fossilfria kraftvärmeverk i marginalmixen, varmed klimatpåverkan även vid dessa temperaturer varierar i de olika elscenarierna. Ordningen av vilket elscenario som ger högst klimatpåverkan är dock det omvända jämfört med då värmepumpar utgör stor del av marginalmixen. I kraftvärmeverken produceras el som kan ersätta annan elproduktion i det nordeuropeiska elsystemet med högre klimatpåverkan och ju högre klimatpåverkan som denna ersatta el har, desto lägre blir klimatpåverkan från fjärrvärmesystemet. Därmed erhålls högst klimatpåverkan från fjärrvärme i det klimatsnåla elscenariet och lägst i det klimattunga.

2.2.2 Resultat pilotprojekt 1

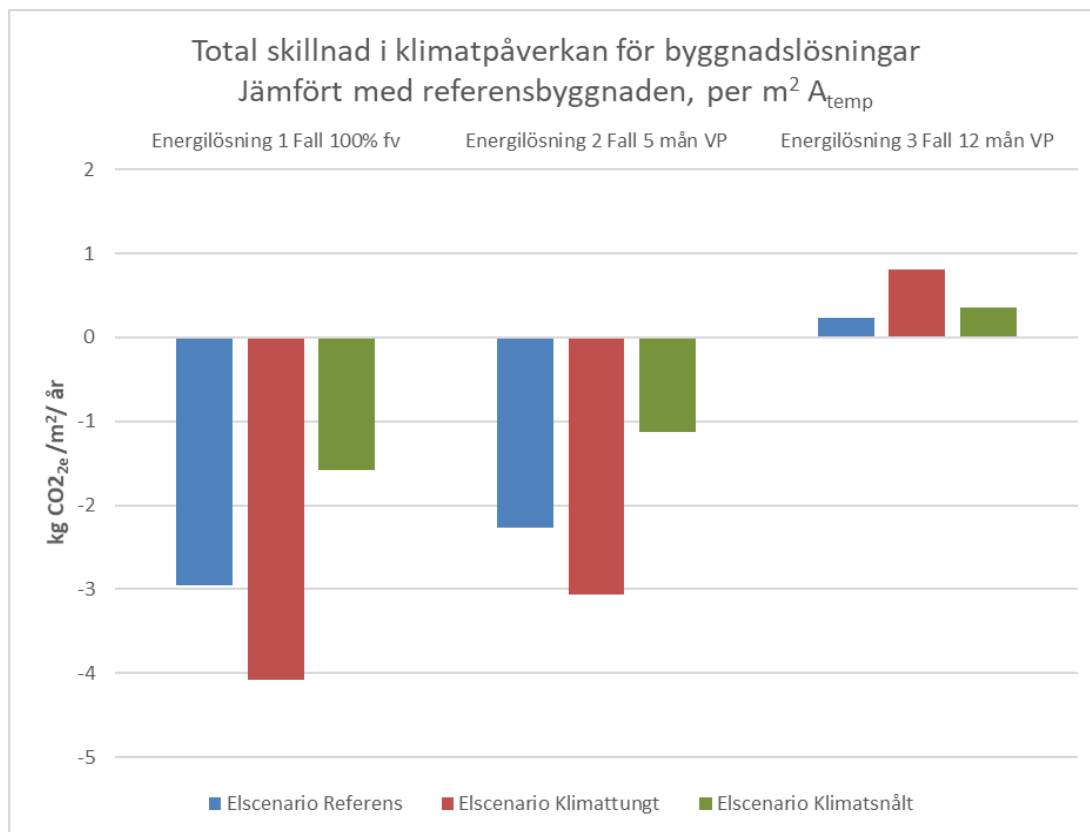
För varje undersökt energilösning beräknas den förändring i klimatpåverkan jämfört med referensen (dagens driftstrategi) som energilösningen innebär. De resulterande skillnaderna i pilotprojekt 1 visas i Figur 6, för varje elscenario. Ett negativt värde innebär att energilösningen ger minskad klimatpåverkan ur ett konsekvensperspektiv, medan ett positivt värde ger ökad klimatpåverkan. Då värmepumparnas drifttid minskas och ersätts med fjärrvärme fås minskad klimatpåverkan, vilket är fallet vid 100% fjärrvärme och 5 månaders värmepumpsdrift. Vid 12 månaders värmepumpsdrift erhålls något högre klimatpåverkan.

Beräkningarna som gjorts i Pilotprojekt 1 visar att för samtliga av de elscenarier som används i Tidstegen är 100% fjärrvärme mest fördelaktigt ur klimatsynpunkt jämfört med dagens situation och de andra undersökta driftsfallen. Det beror på att elen har förhållandevis hög klimatpåverkan och att den fjärrvärme som påverkas av de undersökta driftsförändringarna har relativt låg klimatpåverkan. För det klimattunga elscenariot är bilden tydligast. För det klimatsnåla elscenariot är däremot inte skillnaden i klimatpåverkan så stor mellan de olika studerade fallen. För elscenario referens är klimatpåverkan av 12 månaders drift av värmepumpar i princip densamma som för dagens driftsfall. Här visar både det klimatsnåla och det klimattunga scenariot högre klimatpåverkan. Det beror på att det klimatsnåla elscenariot under nattetid sommar, vår och höst ligger högre än referensscenariot och skillnaden mellan 12 månaders drift och 8,5 månaders drift av värmepumparna är just under sommaren (och i viss mån vår/höst).

De värmepumpar som används i Stockholms hems byggnader (Russinvägen 6 och 8) har en genomsnittlig COP³ på 3,54. Den genomsnittliga klimatpåverkan för de olika elscenarierna är 460-830 g CO_{2e}/kWh_{el}. Det innebär att den genomsnittliga klimatpåverkan av att använda värmepumparna är 130-235 g CO_{2e}/kWh_{värme}. Det innebär att vid de temperaturer och tidpunkter då fjärrvärmenätets klimatpåverkan överstiger dessa värden är det ur klimatsynpunkt bättre att Stockholms hem kör sina värmepumpar. Det gäller t.ex. vid mycket låga temperaturer (under -

³ COP = coefficient of performance och anger verkningsgraden för en värmepump. Ju högre COP desto mer värme erhålls per insatt el och ju högre är alltså verkningsgraden.

11°C) samt vid vissa övriga temperaturer. Vid de temperaturer då värmepumparna ersätter drift av värmepumpar i fjärrvärmenätet är klimatpåverkan relativt likvärdig, men Stockholmshems värmepumpar har en något högre verkningsgrad (COP = 3,54) jämfört med Stockholm Exergis värmepumpar (COP = 3,3), varför det vid dessa tidpunkter också är till viss fördel att driva Stockholmshems värmepumpar. Det inträffar t.ex. vid +2-7°C.



Figur 6 Total skillnad i klimatpåverkan för de olika fallen jämfört med referensbyggnaden (dagens driftsituation, dvs. 8,5 månader drifttid för värmepump).

2.3 Pilot 2: Säsongslager värme, DGC och solceller

Pilotprojekt 2 genomfördes under september till november 2019. Projektet har utförts av Skanska i samarbete med Stockholm Exergi. Skanska utredde klimatpåverkan av olika energilösningar i en tilltänkt nyproducerad fastighet i Hornsberg, Stockholm. Eftersom fastigheten ännu inte är byggd blir referensfallet i detta pilotprojekt att ingen byggnad existerar, vilket blir jämförelsegrunden vid beräkningen av klimatpåverkan. Stockholm Exergi har försett IVL med data för fjärrvärme-produktionen i det centrala/södra fjärrvärmenätet utifrån dagens situation samt i ett framåtblickande perspektiv, där möjliga och planerade förändringar i produktionsmixen efter år 2024 beaktas. Det är alltså en uppdatering och förfining jämfört med fjärrvärmenätet som användes i Pilotprojekt 1.

2.3.1 Beskrivning av pilotprojektet

I pilotprojektet undersökte Skanska Fastigheter Stockholm klimatpåverkan för en planerad nybyggnad av ett kontorshus i Hornsberg, Stockholm. Eftersom projektet avser en ny byggnad inkluderas ett extra referensfall kallat nolläge där energianvändningen helt enkelt är noll under årets alla timmar. Därefter adderas ett andra referensfall där byggnaden uppförts i ett referensutförande vilket beskrivs på följande sätt:

Den uppvärmda ytan i byggnaden är 34 000 m² A_{temp}. Klimatskärmen består av välisolerade elementfasader i aluminium och glas med fönster med U-värden kring 1,0 W/m², C. Ventilationssystem FTX med låghastighetsaggregat kring 1,0 m/s och vätskekopplad värmeåtervinning med temperaturverkningsgrad över 80%. Värmesystem med radiatorer utefter fasader och värmebatterier i luftbehandlingsaggregat, båda dimensionerade för max 40°C framledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur. Tappvarmvatten är direkt anslutet till fjärrvärme. Kylsystemet består av högtemperatur-kylbafflar som matas med fjärrkyla. Energianvändningen i byggnaden i referensutförande har uppskattats till 1163 MWh fjärrvärme, 238 MWh fjärrkyla och 497 MWh el. De tekniska förutsättningarna är preliminära och med energisimuleringar i IDA ICE har timvisa effektbehov för ett år erhållits.

Tre alternativa energilösningar testas i projektet; säsongslager för värme, Deep Green Cooling för kyla och investering i solceller, se Tabell 4 och efterföljande stycken. Energianvändningen vid samtliga undersökta energilösningar visas i Figur 7.

Tabell 4 Undersökta energilösningar i pilotprojekt 2

	Namn	Beskrivning
Referensfall 1	Alt 0_Nolläge	Ingen byggnad, energianvändning är lika med 0
Energilösning 1	Alt 1_Referens	Byggnaden i referensutförande
Energilösning 2	Alt 2_Referens_Säsongslager	Referensbyggnadens värmesystem kopplade till borrhål som värms med fjärrvärme under sommarmånader, värmen används på höst, vår och vinter
Energilösning 3	Alt 3_Referens_Säsongslager_DGC	Referensbyggnaden med säsongslager i kombination med kylsystemet Deep Green Cooling (DGC)
Energilösning 4	Alt4_Referens_Säsongslager_DGC_Solceller	Referensbyggnaden med säsongslager i kombination med DGC samt solceller

Säsongslager

Byggnadens värmesystem med radiatorer är anslutna till fjärrvärme indirekt via ett säsongslager. Säsongsvärmelagret består av borrhål med ett slutet kollektorsystem som värmer berget till +50°C med fjärrvärme under sommarmånaderna. Den totala årliga användningen av fjärrvärme i byggnaden ökar därmed, men ökningen sker under sommarmånader då både priset på fjärrvärme och dess klimatpåverkan är låg. Säsongsvärmelagrets prestanda baseras på tidigare utredningar (Nilsson m.fl., 2016).

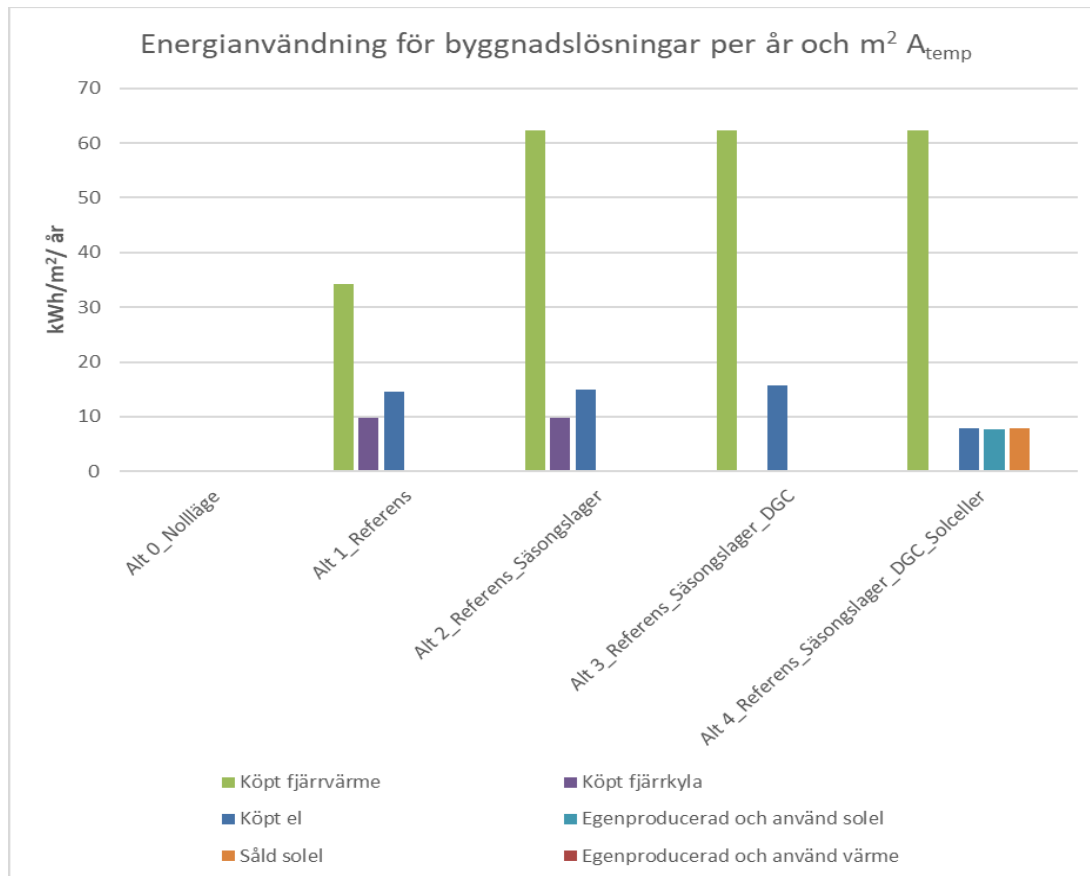
Deep Green Cooling

Deep Green Cooling innebär att nyttja bergkyla utan värmepumpar eller kylmaskiner för byggnadens hela kylbehov med en SPF (seasonal performance factor) på 17. Användningen av DGC avser helt ersätta inköpt fjärrkyla.

Investering i solceller

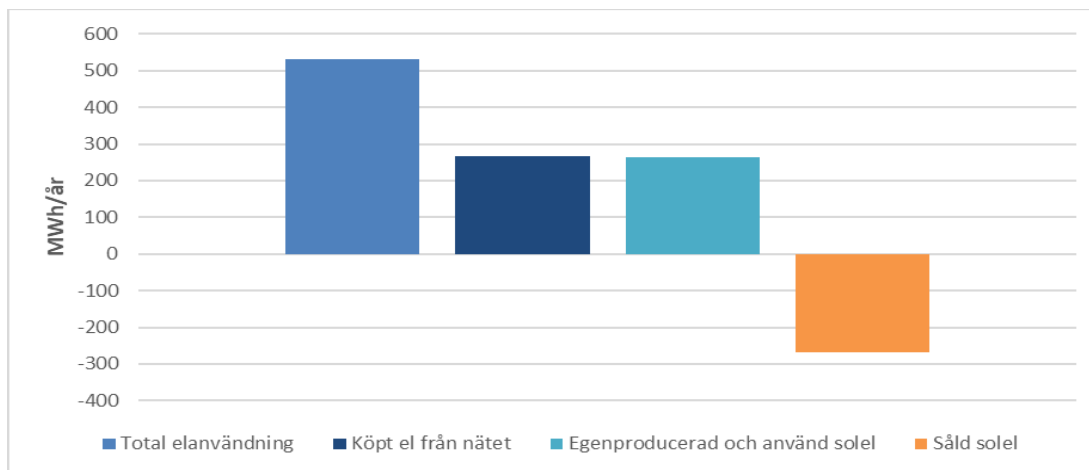
Solcellsalternativet avser att en investering görs i en off-site solcellspark motsvarande samma årlig elproduktion som kontorshusets årsbehov av fastighetsel (exklusive hyresgästernas verksamhetsel). Avtalet för el från solcellsparken är 20-årigt (+10 år i mån av funktion). Reell

additionalitet säkerställs genom att det är projektet som initierar den tillkommande off-site elproduktionen vilket innebär att solcellsanläggningen uppförs som en konsekvens av det långa avtalet och inte skulle ha uppförts annars. På så vis blir konsekvensen densamma som om anläggningen hade placerats on-site. Dessutom säkerställs att elcertifikaten ej får säljas vidare utan de lagras i systemet Cesar hos Energimyndigheten, vilket kontrolleras av revisor.



Figur 7 Total årlig energianvändning i nollläget och med tre olika energilösningar i pilotprojekt 2.

Totalt sett producerar solcellsparken samma mängd elenergi som fastigheten på ett år använder, men den producerade effekten i solcellsparken matchar inte alltid effektbehovet i fastigheten per timme. Det har uppskattats att ungefär hälften av solcellernas producerade el matchar fastighetens behov, medan det vissa tidpunkter kommer finnas ett överskott av solet och vissa tidpunkter ett underskott. I Figur 8 sammanfattas den totala elbalansen över ett år. Se Bilaga 1 för en mer detaljerad presentation av elbalansen för fastigheten och solcellsparken.



Figur 8 Elbalans för fastigheten i pilotprojekt 2. Staplarna "Köpt el från nätet" och "Egenproducerad och använd solex" summeras till "Total elanvändning". "Såld solex" är den mängd solex som har exporterats och sålts till andra kunder i nätet.

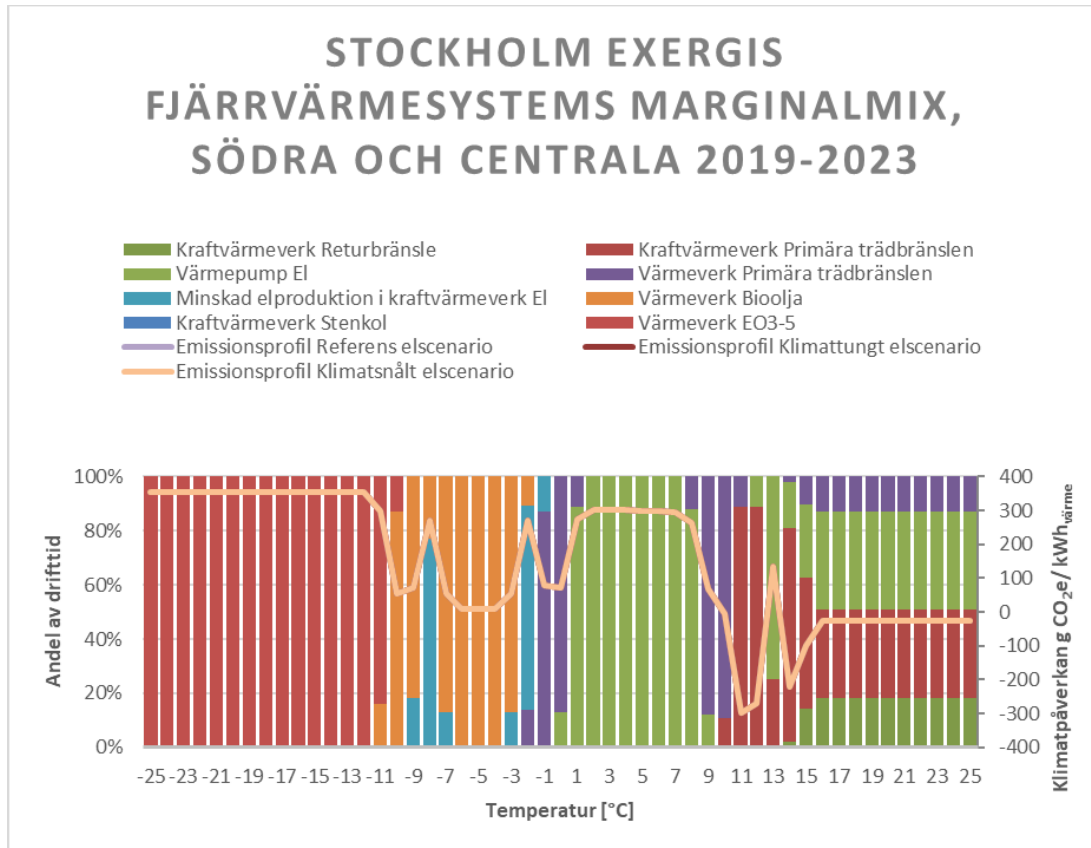
Indata energisystem – fjärrvärme och fjärrkyla från Stockholm Exergi

I pilotprojekt 2 tog Stockholm Exergi fram data för produktionsanläggningar som påverkas av förändrad efterfrågan på fjärrvärme i Södra, Nordvästra och Centrala nätet. Uppgifterna togs fram för dels det system som är i drift idag, 2019, och för ett system som förväntas vara i drift år 2024. Förändringen av systemet består främst av att Stockholm Exergi kopplar samman sina två, nu separerade, nät "Södra och Centrala" och "Nordvästra" senast år 2024.

Stockholm Exergis marginalmix i fjärrvärmesystemet per utomhustemperatur samt klimatpåverkan för tidsperioden 2019-2023 visas i Figur 9. I Figur 9 är klimatpåverkan från identisk för alla tre elscenarier. Detta beror på att klimatpåverkan från de tre elscenarierna skiljer sig först från 2025 (Hagberg m.fl., 2017).

Indata för fjärrvärmesystemet i Figur 9 är desamma som användes i pilotprojekt 1. Däremot har metodiken för att beräkna klimatpåverkan från minskad elproduktion i kraftvärmeverk förfinats under hösten 2019. Därför skiljer sig klimatpåverkan åt något. Förfiningen innebär att varje ökad kWh värme som behöver produceras antas ge upphov till en andel minskad elproduktion som bestäms av kraftvärmeverkets genomsnittliga alfavärde⁴.

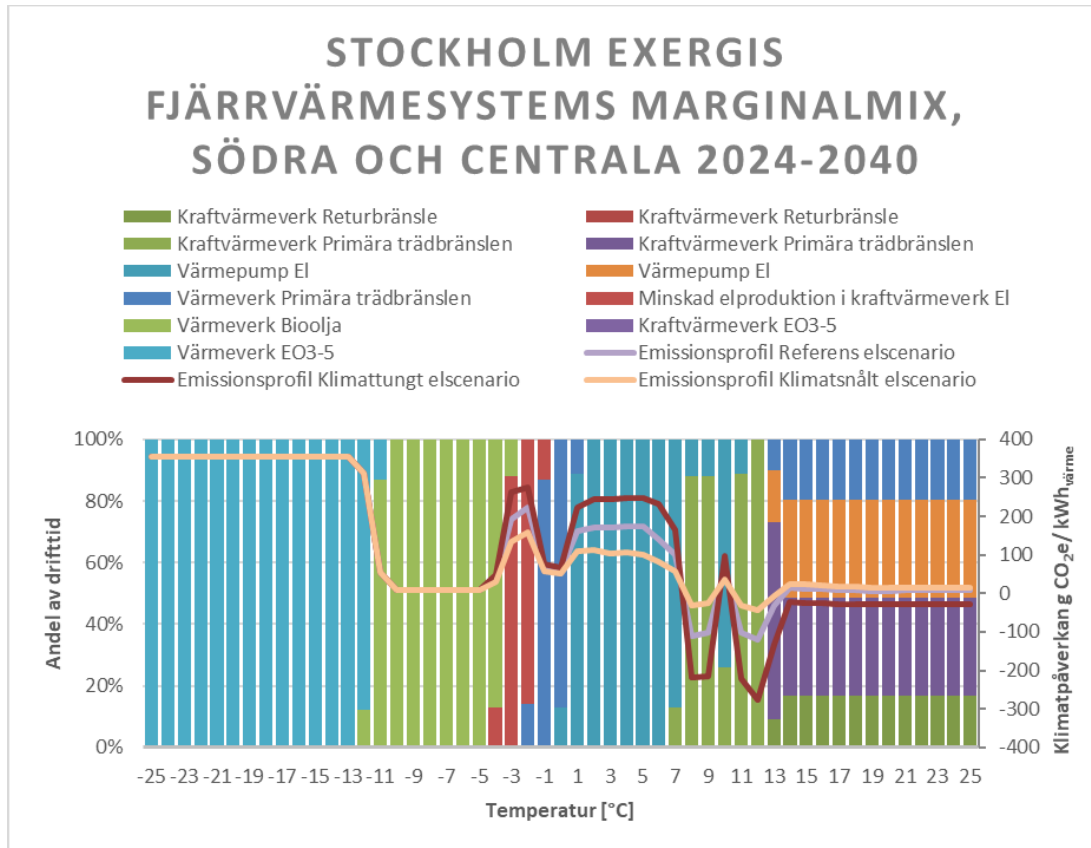
⁴ Alfavärdet är ett mått som beskriver relationen mellan producerad el och producerad värme i ett kraftvärmeverk. Alfavärdet varierar beroende på hur kraftvärmeverket körs. I beräkningarna av klimatpåverkan från minskad elproduktion i kraftvärmeverk har genomsnittligt alfavärde använts.



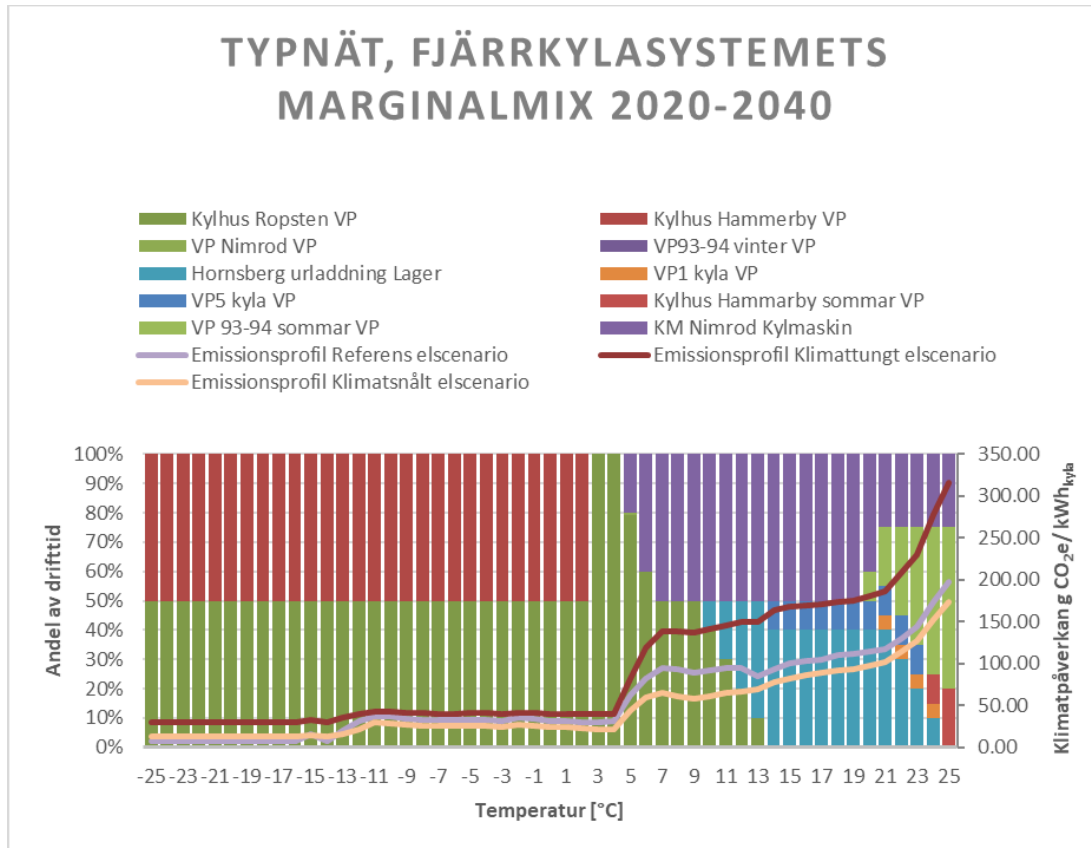
Figur 9 Marginalmix och klimatpåverkan för fjärrvärmeproduktion i Stockholm Exergis södra och centrala nät under tidsperioden 2019-2023. Observera att klimatpåverkan är identisk i de tre elscenarierna eftersom elscenarierna inte varierar förrän från år 2025.

I Figur 10 visas motsvarande marginalmix och klimatpåverkan per utomhustemperatur för Stockholm Exergis, framtida, sammankopplade nät under tidsperioden 2024-2040. Genom att koppla samman näten adderas ett kraftvärmeverk med returbränslen, ett kraftvärmeverk med primära trädbränslen, en värmepump, ett värmeverk med bioolja och ett värmeverk med Eldningsolja 3-5 till produktionsmixen i det centrala/södra nätet. Ett kraftvärmeverk med stenkol som bränsle antas tas ur drift.

Kontorsfastigheten i pilotprojekt 2 använder fjärrkyla, varmed även Stockholm Exergis fjärrkylasystem inkluderades i pilotprojektet. Detaljerade uppgifter kring fjärrkylasystemet fanns tyvärr inte tillgängliga inom tidsramen för pilotprojektet, varför ett modifierat typnät från en tidigare projektetapp (Hagberg m.fl., 2017) användes. Den ungefärliga marginalmixen och klimatpåverkan från Stockholm Exergis fjärrkylanät visas i Figur 11. Produktionen av fjärrkyla utgörs förenklat sett av frikyla vid låga utomhustemperaturer, upp till 5°C, och en blandning av absorptionskylmaskiner och kompressorkylmaskiner vid högre temperaturer. Samtliga dessa produktionslag ansätts som värmepumpar med varierande COP för att reflektera den elförbrukning som krävs för att producera kyla. Frikyla ansätts som en värmepump med mycket hög COP för att spegla den pumpenergi som krävs för att värmeväxla mot en värmesänka. Klimatpåverkan från fjärrkyla följer av den anledningen klimatpåverkan från elsystemet i de tre elscenarierna. Det klimattunga scenariet ger högst klimatpåverkan och det klimatsnåla lägst.



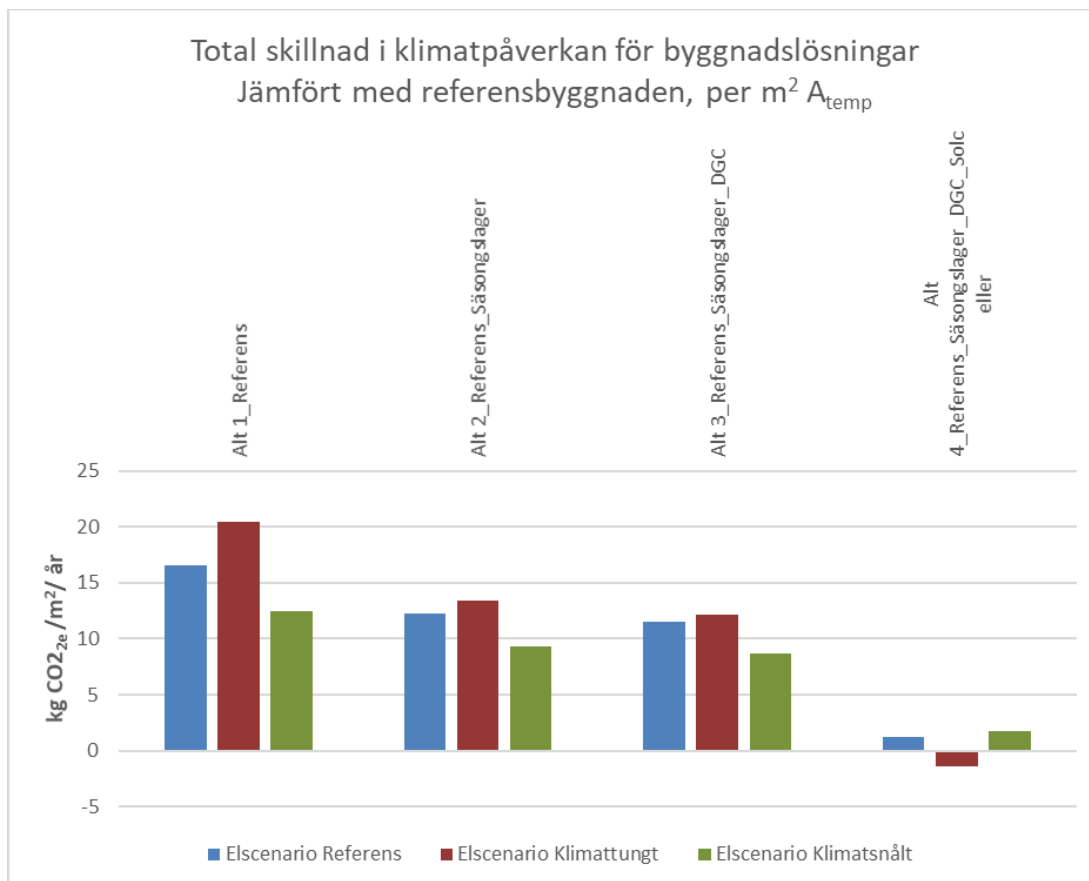
Figur 10 Marginalmix och klimatpåverkan för fjärrvärmeproduktion i Stockholm Exergis södra och centrala nät under tidsperioden 2024-2040. Fjärrvärmenätet är snarlikt det nordvästra nätet under denna tidsperiod vilket beror på att systemen sammankopplats, men där enbart del av effekten kan överföras.



Figur 11 Marginalmix och klimatpåverkan för produktion av fjärrkyla i ett typnät använt i pilotprojekt 2. Typnätet är baserat på Stockholm Exergis fjärrkylasystem men motsvarar inte exakt det verkliga systemet. Fjärrkylaproduktionen består av frikyla, absorptionskylmaskiner och kompressorkylmaskiner. Samtliga dessa produktionsslag är här ansatta som värmepumpar med olika COP.

2.3.2 Resultat från verktöget Tidstegen

Resultat av klimatberäkningarna för de olika energilösningarna visas i Figur 12. Samtliga energilösningar (med undantag för energilösning 4 vid ett av elscenarierna) innebär en ökad klimatpåverkan jämfört med nollalternativet, vilket förstås beror på att nollalternativet är att inte alls bygga. Jämfört med grundutförandet (energilösning 1) är dock samtliga av de övriga energilösningarna bättre ur klimatsynpunkt. Ett viktigt skäl till det är att värmelagret möjliggör flytt av last i fjärrvärmesystemet från vintertid till sommartid. I fallet med solceller ökar nyttan ytterligare på grund av tillförsel av ny förnybar el till elsystemet som tränger undan annan mer klimattung elproduktion.



Figur 12 Total skillnad i klimatpåverkan mellan energilösningarna och referensfastigheten i pilotprojekt 2, per år och $m^2 A_{temp}$.

2.4 Pilot 3: Värmepump, solceller och värmelager

Pilotprojektet genomfördes under oktober till november 2019. I detta projekt har Einar Mattsson i samarbete med Solkompaniet tagit fram energidata för en referensfastighet och två energilösningar. Stockholm Exergi har försett IVL med data för fjärrvärmenätet Nordvästra utifrån dagens situation samt ett framåtblickande system.

2.4.1 Beskrivning av pilotprojektet

I pilotprojektet undersöks den förändrade klimatpåverkan för två olika energilösningar i en fastighet som består av tre byggnader med en total uppvärmd yta av 10 987 m^2 .

För fastigheten Åvinge i området Tensta i Stockholm har energidata för följande referensfall och energilösningar studerats enligt I Figur 13 framgår energianvändningen i referensbyggnaden och de två energilösningarna. I referensfallet, som utgörs av fastigheten Åvinge innan en renovering, används fjärrvärme och inköpt el. För energilösning 1 där frånluftsvärmepumpar installeras i fastigheten minskar den inköpta fjärrvärmen med mer än hälften medan den inköpta elen mer än fördubblas jämfört med referensfallet. I energilösning 2 har frånluftsvärmepumparna kompletterats med solceller och värmelagring. Vid de tidpunkter som elproduktionen från

solcellerna är större än fastighetens elbehov lagras värme från värmepumparna. När lagret uppnått värmepumparnas arbetstemperatur används istället elpatroner för att höja temperaturen ytterligare om det fortfarande finns överskott av sol. Förutom den sol som på så vis lagras sker även en marginell export av sol till elnätet. Resultatet av simuleringen är att fjärrvärmeanvändningen blir marginellt mindre i energilösning 2 jämfört med energilösning 1, vilket bygger på värmelagringen. Dessutom minskar den inköpta elen jämfört med energilösning 1 som istället ersätts med producerad el från solcellerna.

Tabell 5.

I Figur 13 framgår energianvändningen i referensbyggnaden och de två energilösningarna. I referensfallet, som utgörs av fastigheten Åvinge innan en renovering, används fjärrvärme och inköpt el. För energilösning 1 där frånluftsvärmepumpar installeras i fastigheten minskar den inköpta fjärrvärmens med mer än hälften medan den inköpta elen mer än fördubblas jämfört med referensfallet. I energilösning 2 har frånluftsvärmepumparna kompletterats med solceller och värmelagring. Vid de tidpunkter som elproduktionen från solcellerna är större än fastighetens elbehov lagras värme från värmepumparna. När lagret uppnått värmepumparnas arbetstemperatur används istället elpatroner för att höja temperaturen ytterligare om det fortfarande finns överskott av sol. Förutom den sol som på så vis lagras sker även en marginell export av sol till elnätet. Resultatet av simuleringen är att fjärrvärmeanvändningen blir marginellt mindre i energilösning 2 jämfört med energilösning 1, vilket bygger på värmelagringen. Dessutom minskar den inköpta elen jämfört med energilösning 1 som istället ersätts med producerad el från solcellerna.

Tabell 5 Referensfall och energilösningar för pilot "Värmepump, solceller och värmelager"

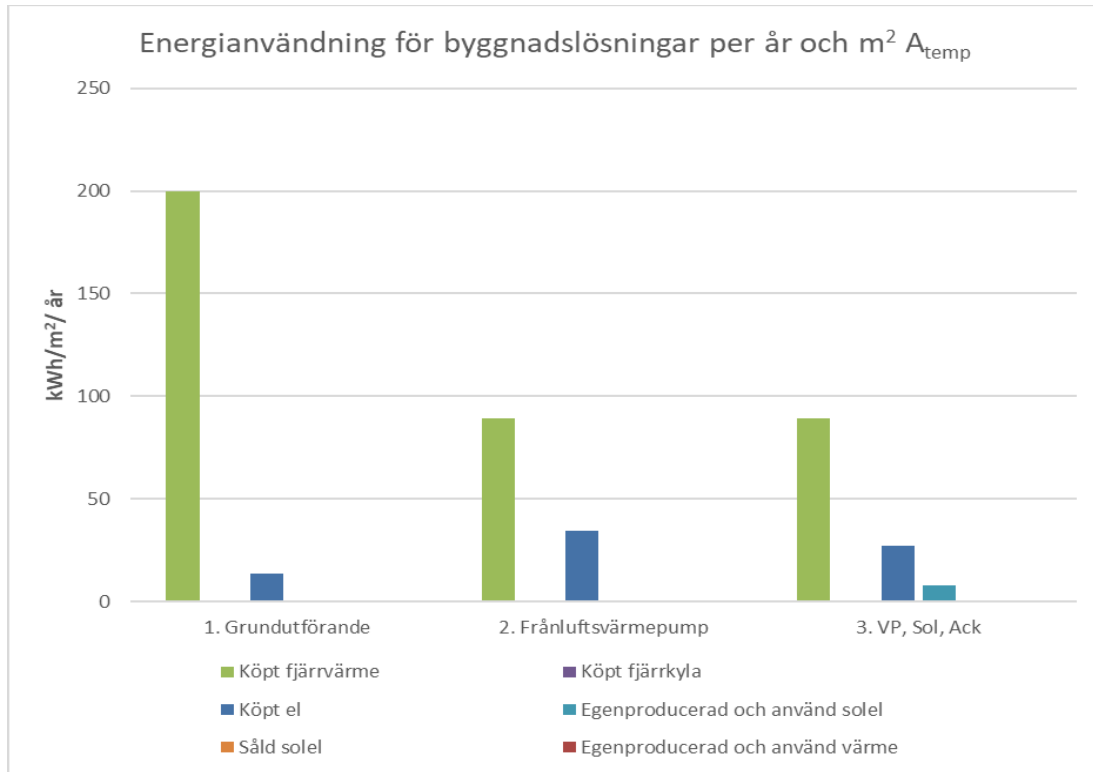
	Namn	Beskrivning
Referensfall	Grundutförande	Åvinge innan renovering: <ul style="list-style-type: none"> Fjärrvärme till hus 1, 2 och 3 (via kulvert). Fastighetsel till hus 1 och 2.
Energilösning 1	Frånluftsvärmepump	Grundläggande energiåtgärd: <ul style="list-style-type: none"> Central frånluftsvärmepump (hus 1) med värmeåtervinning (från hus 1, 2 och 3). Fjärrvärme till hus 1, 2, och 3 (minskar). Fastighetsel till hus 1 och 2 (ökar).
Energilösning 2	VP, Sol, Ack	Beslutat energiåtgärd: <ul style="list-style-type: none"> Frånluftsvärmepump, solceller, ackumulatortankar för värmelagring. Fjärrvärme till hus 1, 2 och 3 (marginellt mindre än i energilösning 1). Fastighetsel till hus 1 och 2 (mindre än i energilösning 1). Marginell export av sol till elnätet.

Indata energisystem – fjärrvärme från Stockholm Exergi

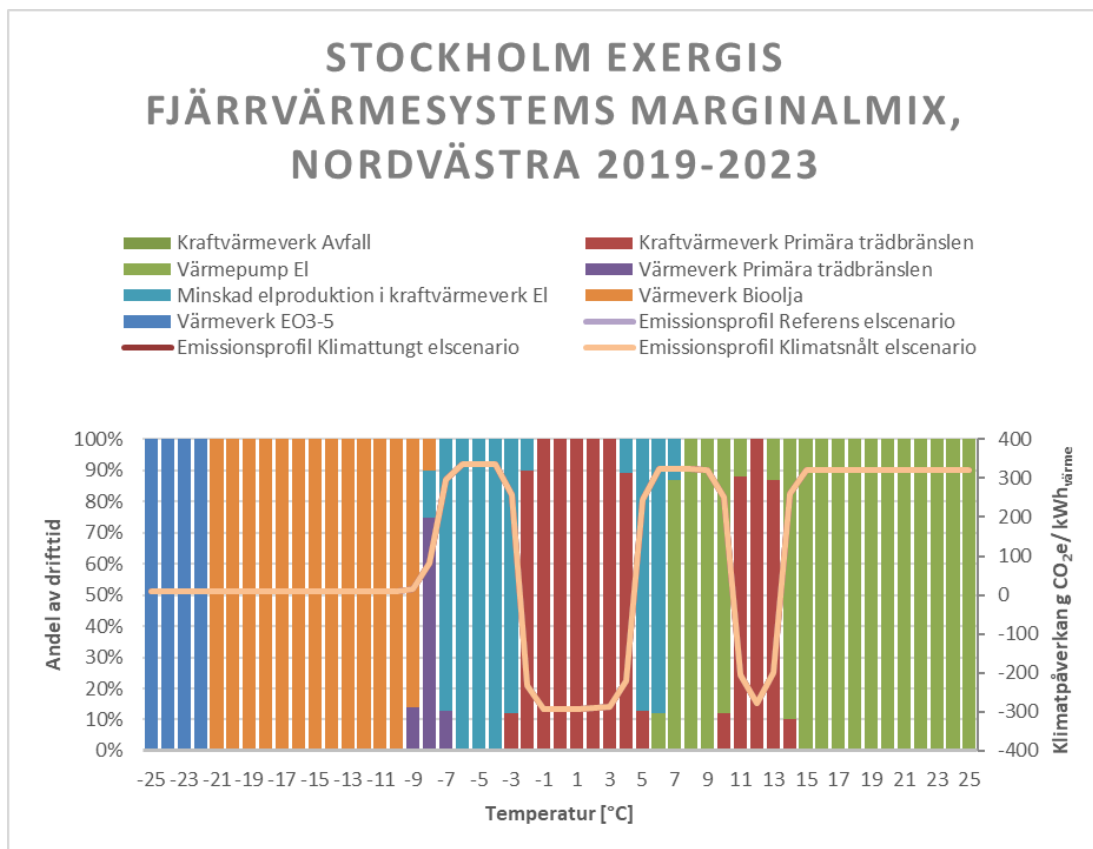
Stockholm Exergis nordvästra fjärrvärmesystem baseras i verktyget på marginalmixen för det befintliga systemet i Stockholm Exergis nordvästra nät (mellan 2019 och 2023, se Figur 14) samt ett framtida system (mellan 2024 och 2040, se Figur 15). På samma sätt som för Stockholm Exergis södra nät i pilotprojekt 2, påverkas inte klimatpåverkan från fjärrvärmeproduktionen av elscenarierna eftersom deras klimatpåverkan inte skiljer sig åt förrän efter år 2025.

Det framtida systemet här är detsamma som det framtida systemet i pilotprojekt 2, det vill säga att Stockholm Exergis två separata nät kopplas samman till ett stort nät.

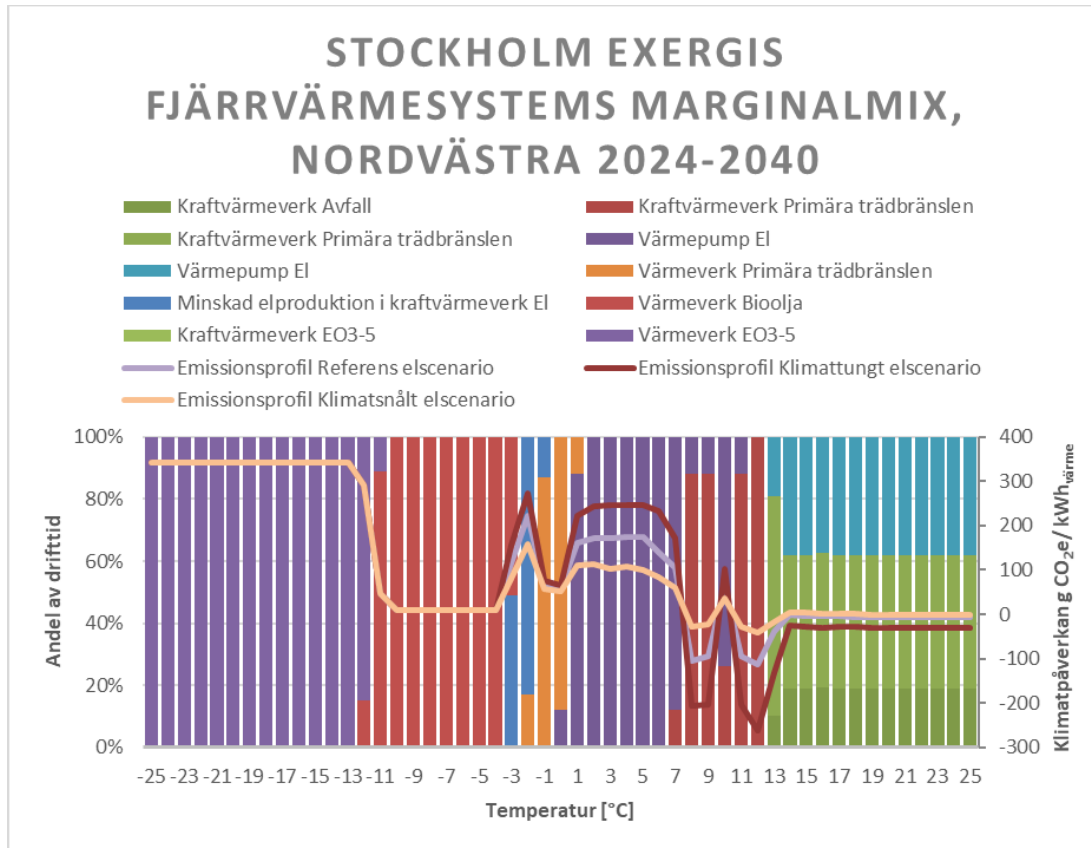




Figur 13 Energianvändning för byggnadslösningar för pilot "Värmepump, solceller och värmelager"



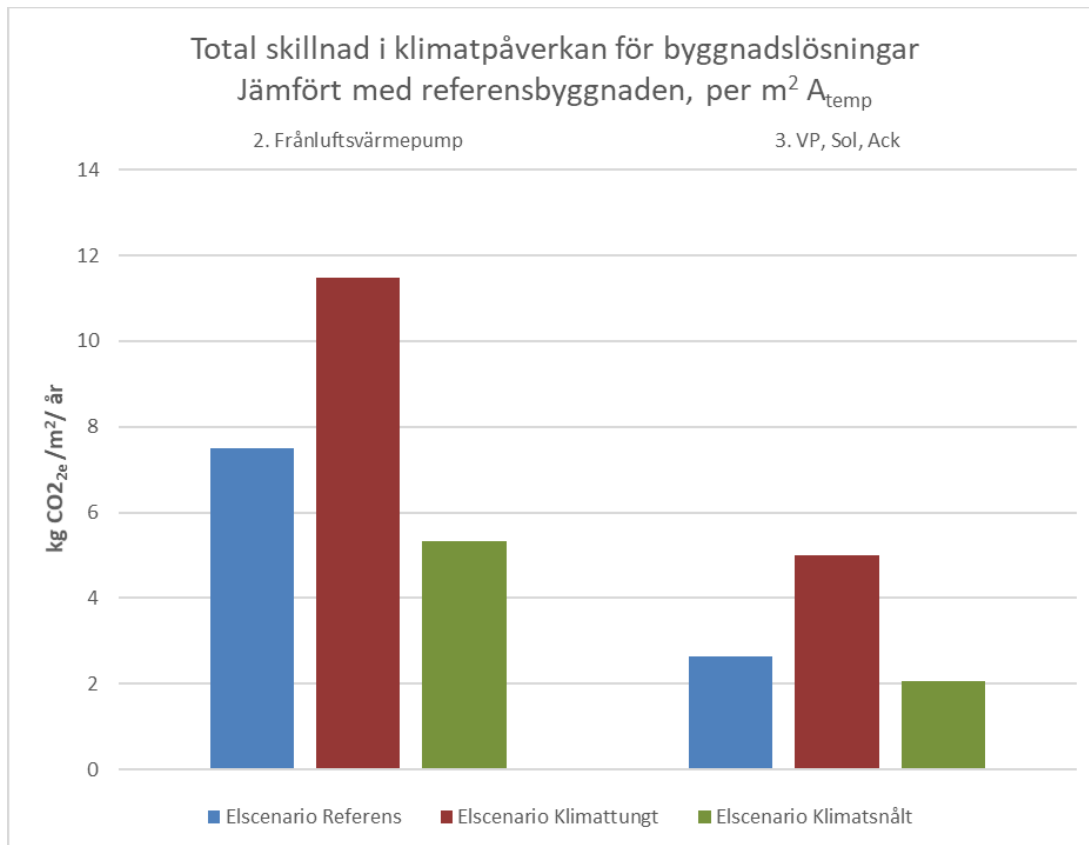
Figur 14 Marginalmix och klimatpåverkan för Stockholm Exergis nordvästra fjärrvärmenät 2019-2023.



Figur 15 Marginalmix och klimatpåverkan för fjärrvärmeproduktion i Stockholm Exergis nordvästra nät under tidsperioden 2024-2040. Fjärrvärmenätet är snarlikt det södra och centrala nätet under denna tidsperiod vilket beror på att systemen sammankopplats, men där enbart del av effekten kan överföras.

2.4.2 Resultat från verktyget Tidstegen

De resulterande förändringarna i klimatpåverkan för de olika energilösningarna visas i Figur 16. Resultaten visar att energilösning 1 som innefattar en frånluftsvärmepump ger högre klimatpåverkan per år än referensfallet där enbart fjärrvärme används för värmebehovet. I energilösning 2 där frånluftsvärmepumpen kompletteras med solceller och värmelager minskar klimatpåverkan jämfört med energilösning 1, men har även den en högre klimatpåverkan än referensfallet. Det innebär att för den här piloten är klimatpåverkan på årsbasis minst i referensfallet.



Figur 16 Skillnad i klimatpåverkan mellan energilösningarna och referensfastigheten i pilotprojekt 3.

2.5 Pilot 4: Byggnadstekniska lösningar

I detta pilotprojekt undersökte det kommunala bostadsbolaget i Linköping, Stångåstaden AB, hur olika typiska ROT-renoveringsåtgärder samt installation av ett FTX-aggregat påverkar en byggnads klimatpåverkan ur ett konsekvensperspektiv. Byggnadens energianvändning med de olika undersökta energilösningarna uppskattades av Stångåstaden AB genom beräkningar i IDA. Tekniska Verken har angett uppgifter kring driften av sin fjärrvärmeproduktion i verktyget Tidstegen.

2.5.1 Beskrivning av pilotprojektet

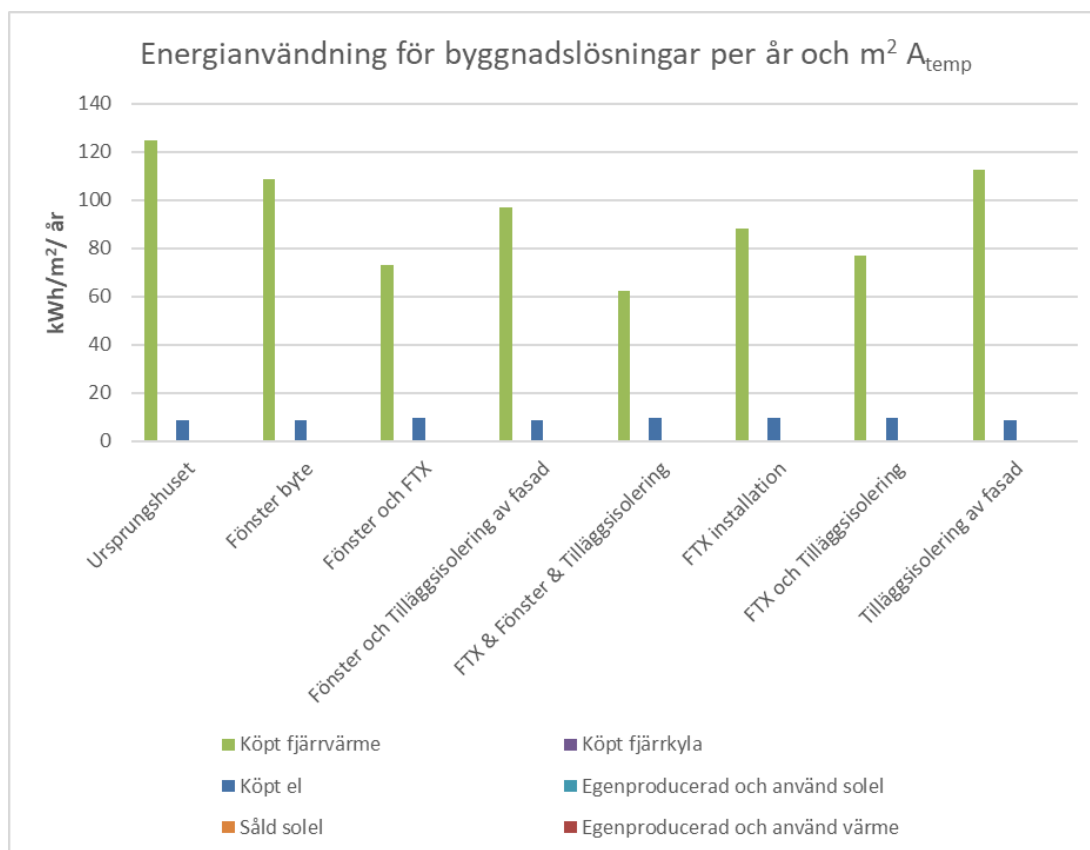
Stångåstaden studerade i projektet förändringen av klimatpåverkan vid renovering av en byggnad i sitt bestånd. Byggnaden kallas helt enkelt för "referensbyggnaden" och har en uppvärmd area av 7078 m^2 . Valda energilösningar sammanfattas i Tabell 6.

Byggnaden har i referensutförandet, det vill säga den befintliga byggnaden utan renovering utförd, ett totalt årligt värmebehov på 881 MWh vilket förses av fjärrvärme samt ett elenergibehov på 62 MWh. Detta motsvarar 125 $kWh_{värme}/m^2/år$ och 9 $kWh_{el}/m^2/år$.

Den årliga energianvändningen per m^2 i byggnaden i referensutförandet och med de olika energilösningarna implementerade visas i Figur 17. I samtliga fall minskar mängden köpt fjärrvärme, i fall där ett FTX-aggregat installeras ökar byggnadens elanvändning något.

Tabell 6 Referensbyggnad och undersökta energilösningar i pilotprojekt 4 "Byggnadstekniska lösningar"

	Namn i Figur 17	Beskrivning
Referensfall	Ursprungshuset	Referens utan åtgärder eller lösningar implementerade
Energilösning 1. Fönsterbyte	Fönster byte	Utbyte och installation av fönster i hela byggnaden
Energilösning 2. Fönsterbyte och FTX	Fönster och FTX	Utbyte och installation av fönster i hela byggnaden samt installation av FTX-aggregat
Energilösning 3. Fönsterbyte och isolering	Fönster och Tilläggsisolering av fasad	Utbyte och installation av fönster samt tilläggsisolering av fasad
Energilösning 4. Fönsterbyte, FTX och isolering	FTX & Fönster & Tilläggsisolering	Installation av FTX-aggregat, tilläggsisolering av fasad samt utbyte och installation av fönster.
Energilösning 5. FTX-installation	FTX installation	Installation av FTX-aggregat
Energilösning 6. FTX och isolering	FTX och Tilläggsisolering	Installation av FTX-aggregat samt tilläggsisolering av fasad
Energilösning 7. Isolering	Tilläggsisolering av fasad	Tilläggsisolering av fasad



Figur 17 El- och fjärrvärmeanvändning per år och uppvärmd yta för referensbyggnaden och sju olika undersökta renoveringsåtgärder i pilotprojekt 4.

Indata energisystem – Fjärrvärme från Tekniska Verken

Produktionen av fjärrvärme i Tekniska Verkens nät i Linköping sker huvudsakligen i sju olika anläggningar, vilka sammanfattas i Tabell 7.

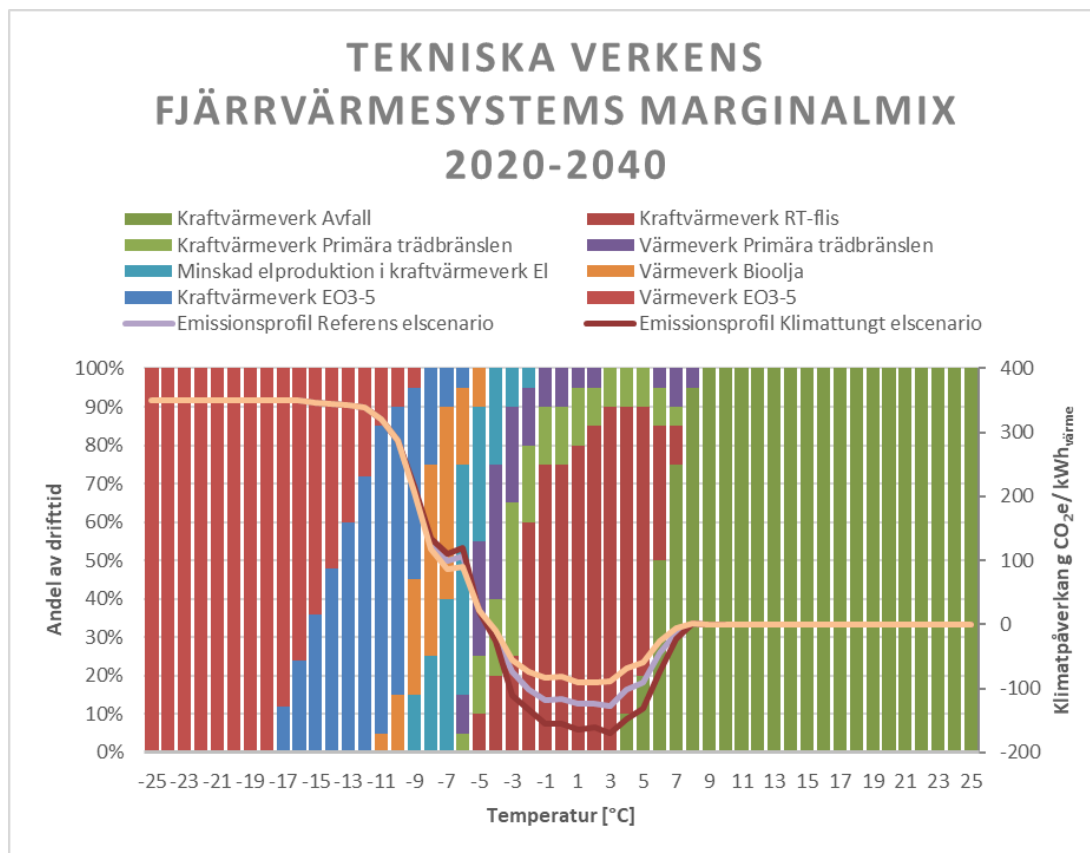
Tabell 7 Tekniska verkens produktionsanläggningar för fjärrvärme

Typ av anläggning	Primärt bränsle
Kraftvärmeverk	Avfall
Kraftvärmeverk	RT-flis
Kraftvärmeverk	Primära trädbränslen
Värmeverk	Primära trädbränslen
Värmeverk	Bioolja
Kraftvärmeverk	EO3-5
Värmeverk	EO3-5

Tekniska Verkens marginalmix och klimatpåverkan från fjärrvärmeproduktion i genomsnitt för perioden 2020 till 2040 visas i Figur 18. Det har här antagits att fjärrvärmesystemet inte förändras under perioden, det är alltså dagens system som gäller för hela perioden. Tekniska Verkens marginalmix har mycket låg klimatpåverkan vid utomhustemperaturer över ungefär -6°C . Fjärrvärmeproduktionen sker då i kraftvärmeverk med negativ eller noll klimatpåverkan ur ett konsekvensperspektiv. Vid temperaturer över 5°C påverkas endast kraftvärme från avfallsförbränning av förändrad efterfrågan på fjärrvärme, vilket i detta projekt antas ge noll klimatpåverkan⁵ enligt referensscenariot för avfallsförbränning i tidigare Tidstegen-rapporter

⁵ Det beror på att avfallet måste förbrännas även om det inte finns efterfrågan på värmen, exempelvis för att det finns begränsningar i hur länge avfallet får lagras. Det innebär alltså att förändrad efterfrågan på värme från avfall inte ger någon skillnad i hur mycket avfall som förbränns och inte heller i utsläppen.

(Hagberg m.fl., 2017). Vid utomhustemperaturer under -6°C ökar klimatpåverkan på grund av minskad elproduktion i kraftvärmeverk och ökad mängd fossilt bränsle i marginalmixen.

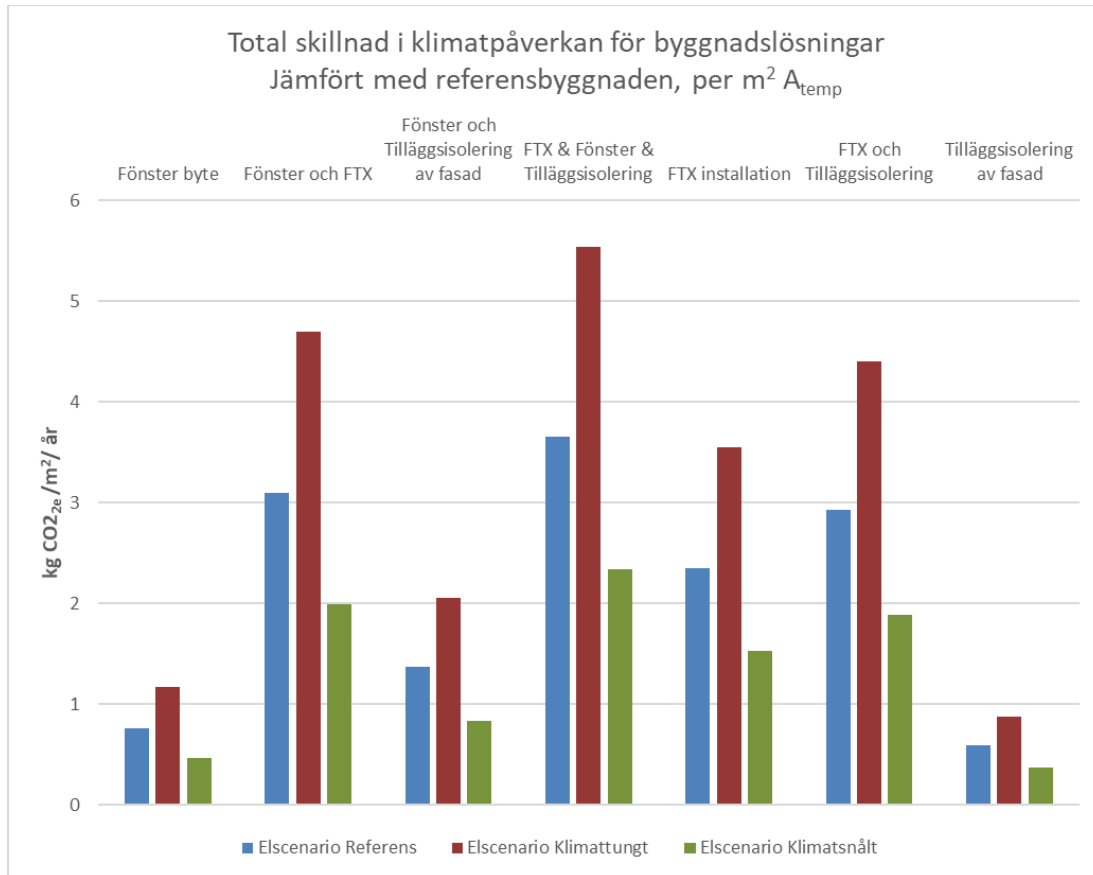


Figur 18 Marginalmix och klimatpåverkan för fjärrvärmeproduktion i Tekniska Verken i Linköpings nät under tidsperioden 2020-2040.

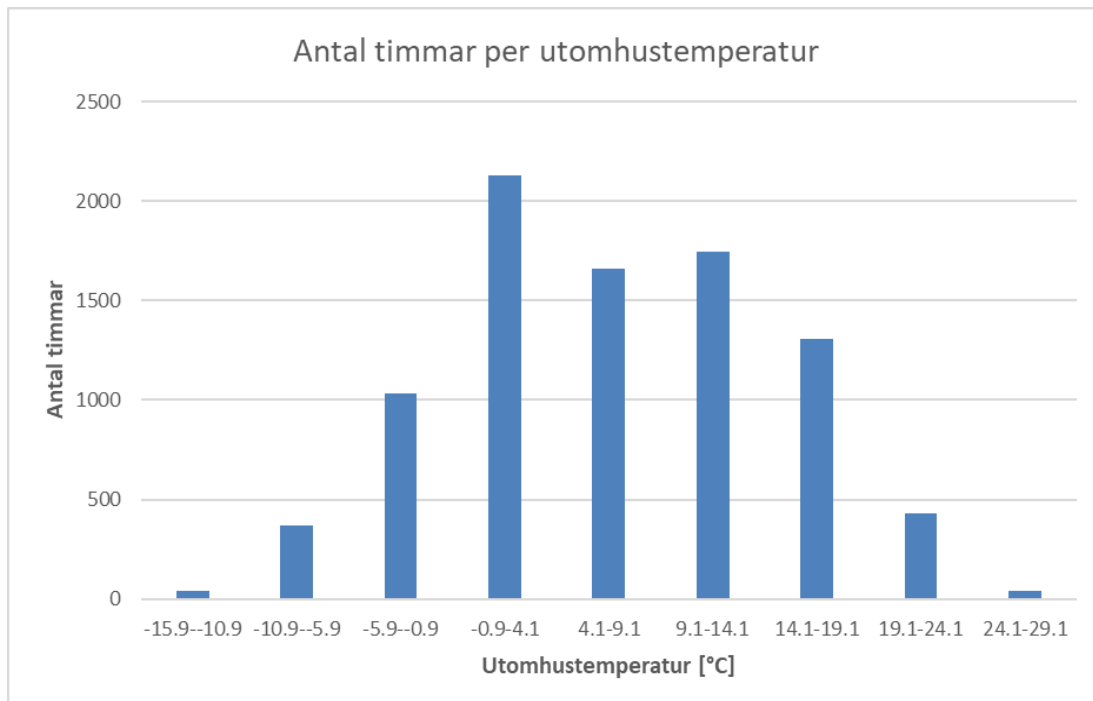
2.5.2 Resultat från verktyget Tidstegen

Den förändrade klimatpåverkan från renoveringsåtgärderna jämfört med referensbyggnaden i Linköping visas i Figur 19. För samtliga åtgärder i byggnaden fås en ökad klimatpåverkan jämfört med referensbyggnaden, det vill säga om inga åtgärder utförs. Den förändrade klimatpåverkan är högst i det klimattunga elscenarioet och lägst i det klimatsnåla.

Att klimatpåverkan ökar trots minskad fjärrvärmeanvändning beror på att fjärrvärmenätets marginalmix till stor del ger negativa utsläpp på grund av ersatt elproduktion i det övriga elsystemet i kraftvärmeverk. Speciellt gäller detta i temperaturintervallet -6°C till $+7^{\circ}\text{C}$ då ett kraftvärmeverk med biobränslen utgör stor del av marginalmixen. I Linköping ligger under ett normalår många timmar inom just detta temperaturintervall, se Figur 20. 36% av årets timmar har utomhustemperaturer mellan -6°C och $+4^{\circ}\text{C}$. Vid dessa temperaturer och timmar är dessutom behovet av värme i byggnaden stort. Vid lägre temperaturer innebär den lägre användningen och produktionen av fjärrvärme från till exempel tilläggsisolering en mindre klimatpåverkan. Denna minskning balanseras dock av det stora antalet timmar då fjärrvärmeanvändningen ger en negativ klimatpåverkan.



Figur 19 Skillnad i klimatpåverkan mellan energilösningarna och referensbyggnaden i pilotprojekt 4.



Figur 20 Fördelning av timmar per utomhustemperatur i Linköping baserat på SMHI:s klimatdatafiler 1981-2010 (Sveby, 2020).

3 Testning, verktygs- och metodutveckling

Ett viktigt syfte med pilotprojekten har varit att testa och ge återkoppling på den betaversion av verktyget Tidstegen som utvecklats i tidigare projekt (Lätt m.fl. 2019). Samtliga användare av verktyget gav återkoppling löpande under projektets gång samt genom att fylla i ett frågeformulär. Efter tre av pilotprojekten⁶ har också ett avslutande möte (miniworkshop) hållits för att dels diskutera resultaten och dels ytterligare få kännedom om hur användaren uppfattat verktyget. Referensgruppen har vidare haft möjlighet att följa utvecklingen och ge sina kommentarer vid två tillfällen under projektet. De buggar som upptäckts under projektets gång har åtgärdats. Mot bakgrund av den återkoppling som framkommit under projektet har verktyget också vidareutvecklats vilket inneburit förbättrade funktioner och mer noggranna beräkningar. Vissa metodfrågor har också dykt upp som krävt efterforskningar och tillägg av till exempel nya bränslekategorier och metoder för miljöbedömning av vissa bränslen. Sammantaget har detta gjort att resultaten av klimatberäkningarna i pilotprojekten har uppdaterats under projektets gång.

Nedan redovisas dels resultat från frågeformuläret, dels exempel på återkoppling kring metodfrågor, åtgärder och förbättrade funktioner som framkommit under genomförandet av pilotprojekten.

3.1 Utvärdering efter genomförda pilotprojekt

Generellt sett har den praktiska användningen av verktyget Tidstegen bedömts fungera väl i pilotprojekten. Inloggning och hantering av data i verktyget har upplevts som enkel och smidig av både energiföretag och användare. Ett undantag är ett energiföretag och ett fastighetsbolag där installationen av verktyget inte gick att genomföra på grund av restriktioner i företagens IT-system. En föreslagen åtgärd för att avhjälpa detta är att utveckla verktyget till att vara helt webbaserat. Detta skulle även göra verktyget oberoende av operativsystem, en användare arbetade i Mac OS-miljö och efterfrågade denna möjlighet.

I de fall där energiföretaget har valt att inte visa upp sitt energisystem i resultatrapporten efterfrågas detta av användarna. Utan denna information blir resultaten svåra att tyda och analysera, speciellt om en energibesparande åtgärd ger högre klimatpåverkan än om åtgärden inte utförs.

Även när energiföretagen visar upp energisystemen är det flera användare som påpekar att presentationerna av energisystemens marginalmix och klimatpåverkan är svårförståelig. Användarna har i alla piloter fått information och förklaringar av hur diagrammen som redovisar detta ska tydas, vilket har förtydligat resultaten men i stort sett samtliga användare menar att resultaten hade varit svåra att tyda utan dessa förklaringar. En möjlig utveckling av verktygets resultatrapport för att avhjälpa detta kan vara att förtydligande information bifogas rapporten.

⁶ För ett av pilotprojekten kommer det avslutande mötet att ske under 2020.

Flera användare efterfrågar i utvärderingarna en möjlighet att relatera de resulterande förändrade klimatpåverkan mot referensens klimatpåverkan. Det är inte helt tydligt vad resultaten representerar och det upplevs även som förvirrande att resultaten presenteras för tre "elscenarier" som användaren kanske aldrig har stött på tidigare. Mer information kring elscenarierna kan bifogas verktygets resultatrapport.

Energiföretagen i pilotprojekten har själva fått välja och använda den metod med vilken marginalmixen per utomhustemperatur har tagits fram. Detta har lett till att vissa frågor kring metodiken har uppstått, vilka diskuteras i påföljande avsnitt. Svaret på frågan "Kunde du tillgängliggöra dig indata som behövdes för energisystemen?" från en utvärdering sammanfattar problematiken väl:

Till viss del. Utfallsdata gick inte att använda rakt av, framförallt då energisystemet är för komplicerat och många olika parametrar påverkar utfallet. Exempelvis påverkar driftstörningar, vilket gör att vi kan ha lägen där en modell skulle säga att vi avstår elproduktion fast vi i själva verket har återkylning på marginalen. I ett sådant läge spelar det inte någon roll hur kunden använder värme. Vi lutade oss istället mot budgeterad produktion, alltför mycket handpåläggning krävdes för att använda utfallet.

Det finns en risk i att energiföretag tar fram och redovisar data på olika sätt och en tydligare metodbeskrivning för energiföretagen hade kvalitetssäkrat verktygets resultat.

I utvärderingarna ställdes frågan "Kommer ni ha nytta av de givna resultaten?". Endast två användare i pilotprojekten valde att svara på frågan, och hos dessa två gick meningarna isär. En användare uppgav att resultaten definitivt skulle kunna användas som underlag i diskussioner med användarens beställare medan den andra användaren svarade att nyttan med resultaten var oklar. Troligen hade beställarens beslut inte påverkats av verktygets resultat och användaren tar dessutom upp att det är viktigt att verktygets metodik och resultat blir brett accepterade för att kunna ge verklig påverkan mot mer klimatbesparande åtgärder.

Sammanfattningsvis upplevs själva verktyget Tidstegen som enkelt och relativt lättanvänt. De största förbättringsområdena som kan identifieras är hur verktygets resultat ska tydas, tolkas och förklaras samt hur energiföretagens metodik för att ta fram underlag till verktyget beskrivs.

3.2 Återkoppling under pilotprojektens gång

Nedan sammanfattas en del av den återkoppling som inkommit under pilotprojektens genomförande och som bidragit till utvecklingen av verktyget. En hel del av den återkoppling som redovisas nedan rör metodfrågor kring fjärrvärmens. Mindre buggar som åtgärdats redovisas inte nedan.

3.2.1 Metodfrågor

Möjlighet att välja startår för åtgärd samt framtidsscenario för fjärrvärme och fjärrkyla

Verktyget har kompletterats med en funktion där användaren kan välja startår för sina energilösningar. Tidigare antogs att alla energilösningar skulle gälla hela verktygets tidsperiod (2020-2040). Data för fjärrvärme och fjärrkyla kan läggas in för flera olika tidsperioder (mellan 2020-2040) med valfritt startår.

Avfallsförbränning

I de tidigare forskningsprojekt som verktyget Tidstegen bygger på (Gode m.fl. 2015, Hagberg m.fl. 2017, Lätt m.fl. 2019) utvecklades tre avfallsscenarioer för att beskriva konsekvenserna i systemperspektiv av att efterfrågan på värme från avfall ökar eller minskar. Ett referensscenario, ett klimatsnålt och ett klimattungt utvecklades. Tanken har varit att inkludera samtliga av dessa avfallsscenarioer i verktyget Tidstegen. Under projektet har det emellertid framkommit att för många fjärrvärmenät är endast ett eller två av scenarierna tillämpbara. Det gäller exempelvis kraftvärmeverk som har mottagningsplikt för avfall. Förbränningsanläggningen går då fullt ut även då det inte finns avsättning för all värme. Det gör att det överstigande utbudet av producerad värme kommer att kylas bort. Konsekvensen är då att det inte blir någon förändring i utsläpp. Detta motsvarar referensscenariot i ovan nämnda publikationer. I dessa fall räknar verktyget därmed bara på detta referensscenario.

Minskad elproduktion på grund av direktvärme vid kraftvärme

Vid hög efterfrågan på fjärrvärme, oftast under vintern, behöver vissa fjärrvärmeföretag minska på elproduktionen från kraftvärmeverk för att istället producera mer värme. Detta kallas ibland direktvärme. Konsekvensen av ökad efterfrågan på fjärrvärme under dessa temperaturer är alltså minskad elproduktion. En ny anläggningstyp som benämns "Minskad elproduktion i kraftvärme" har därför inkluderats i verktyget för att illustrera konsekvensen av att ett kraftvärmeverk backar sin elproduktion till förmån för ökad värmeproduktion. För att fastställa exakt storlek behövs mer detaljer om de aktuella fjärrvärmeanläggningarna som ännu inte inhämtats. Verktyget räknar nu mängden minskad elproduktion genom att ta hänsyn till kraftvärmeverkets alfavärde, vilket ger en approximation av verkligheten. I pilotprojekt 1 hade denna utveckling inte gjorts och där överskattas klimatpåverkan i dessa fall. Även den nya utvecklingen är sannolikt en överskattning av utsläppen eftersom elproduktionen troligen minskar successivt där efterfrågan på värme ökar och alfavärdet är alltså lägre vid dessa tidpunkter.

Rökgaskondensering

Vid beräkning av anläggningarnas emissioner har frågan om rökgaskondensering dykt upp. I den indata som energibolaget lägger in för fjärrvärmesystemet ska rökgaskondenseringen ingå i både verkningsgraden och i alfa-värdet för att verktygets bakomliggande beräkningar ska bli korrekta. Detta har förtydligats i manualen till verktyget och i den hjälptext som användaren ser i verktyget.

3.2.2 Övrig återkoppling

I nuläget illustreras skillnaden i klimatpåverkan på m2 Atemp, men finns utvecklingspotential för att på ett pedagogiskt vis kommunicera storleksordningen av differensen.

Ett företag har haft problem med att ladda ner verktyget och logga in på grund av tekniska problem med företagets proxy (en serverlösning för nedladdning av program och nättjänster). En potentiell utvecklingsväg är ett verktyg som inte laddas ned utan istället bygger på ett webbgränssnitt.

3.3 Lansering av verktyget Tidstegen

I samband med slutrapportering av projektet påbörjas även lansering av verktyget under våren 2020. All information om Tidstegen och hur man kan få tillgång till verktyget kommer att finnas på IVL:s hemsida.

4 Diskussion

Verktyget Tidstegen kan användas för att analysera klimatpåverkan vid val av olika energiåtgärder. Vid beslut om att genomföra olika energiåtgärder är det förstås en mängd andra faktorer som också är viktiga, t.ex. kostnader och innemiljö. I projektet har fyra olika pilotprojekt använt verktyget för att analysera klimatpåverkan av olika energiåtgärder i byggnader och för att bidra med input till utvecklingen av verktyget. Pilotprojekten har genomförts i tre olika fjärrvärmenät (Linköping, Stockholm Nordvästra samt Stockholm Södra och Centrala). I praktiken är det dock fyra olika resultat av fjärrvärmenäten som ingår i pilotprojekten, eftersom ett av pilotprojekten genomfördes innan Stockholm Exergi uppdaterat sina data utifrån dagens situation och framtida utveckling. Ett av pilotprojekten har även inkluderat energilösningar med fjärrkyla. I verktyget jämförs de olika energilösningarna mot en referens. I tre av de fyra pilotprojekten har referensen varit dagens energianvändning i en eller flera befintliga byggnader medan ett pilotprojekt har analyserat nybyggnation och därmed har referensen varit ingen byggnad alls.

Utgångspunkten för beräkningarna i verktyget Tidstegen är så kallad konsekvensanalys, som innebär att effekterna av en förändrad energianvändning analyseras. Det är alltså bara de anläggningar i energisystemet (el, fjärrvärme, fjärrkyla) som påverkas av den förändrade energianvändningen som ingår i konsekvensanalysen. I tidigare etapper av projektet har tre elscenarier tagits fram och en metodik för fjärrvärmeföretagen att ta fram konsekvensanalys för fjärrvärme och fjärrkyla.

Klimatprestanda (ur konsekvensperspektiv) för de fjärrvärmenät som ingått i pilotprojekten varierar beroende på utomhustemperatur och därmed även över året. Detta gäller även andra fjärrvärmenät i Sverige som har mer än en panna. Grovt sett är klimatpåverkan högst vid låga temperaturer och lägst vid höga temperaturer, men avvikelser förekommer. Vid medelhöga och höga temperaturer har de studerade fjärrvärmenäten stort inslag av kraftvärme. Minskad efterfrågan på fjärrvärme vid dessa temperaturer innebär då även minskad möjlighet till lokal elproduktion. Om elproduktionen från kraftvärme minskar så behöver mer el tillföras systemet på andra sätt. De tre elscenarierna visar att det på kort sikt är övervägande elproduktion med stor klimatpåverkan och att elens klimatprestanda sedan blir bättre över tid.

Ett av pilotprojekten har analyserat konsekvenserna av att inrätta värmelager som lagrar fjärrvärme från sommartid till vintertid. Trots att förlusterna är relativt stora så lönar sig detta ur klimatsynpunkt i det aktuella fallet, eftersom det minskar behovet av spetsbränslen i fjärrvärmenätet under vintern och ökar kraftvärmeanvändningen och därmed bidrar till ökad elproduktion. Den lokala elproduktion som kraftvärmeverken möjliggör är också viktigt ur försörjningsperspektiv. Idag råder kapacitetsbrist i elnätet i flera städer i Sverige vilket beror på en kombination av orsaker (övergång från fjärrvärme till värmepumpar, ökad elektrifiering, nedläggning av lokal elproduktion, befolkningsökning m.m.).

De aktuella fjärrvärmenäten har alla mer eller mindre stora inslag av kraftvärme som påverkas av förändringar under en stor del av året. Minskad efterfrågan på fjärrvärme vid de temperaturer då kraftvärme ingår i marginalmixen innebär då att mindre el kan produceras. Denna el behöver ersättas av annan el, vilket fastställs med verktygets tre elscenarier. Eftersom det finns relativt stora inslag av fossilbränslebaserad elproduktion åtminstone på kort sikt i elscenarierna betyder det att behovet av sådan elproduktion kommer att öka. Sett i ett systemperspektiv så är det alltså ur klimatsynpunkt inte gynnsamt att minska kraftvärmeproduktionen. Detta är en viktig förklaring till många av resultaten i pilotprojekten, som visar att fjärrvärmelösningar är mer fördelaktiga ur

klimatsynpunkt än elbaserade lösningar. Nyttan kommer att avta i takt med att det nordeuropeiska elsystemet utvecklas mot lägre klimatpåverkan.

För avfall utvecklades i tidigare etapper tre scenarier för att beakta systemeffekter av ökad eller minskad efterfrågan på värme från avfall. De tre scenarierna var ett referensscenario⁷, ett klimatsnålt⁸ och ett klimattungt⁹ scenario, se vidare Hagberg m.fl. (2017). I de aktuella pilotprojekten har det bara varit aktuellt att ha med referensscenariot då de andra två inte bedömts vara relevanta i dessa fall. I andra fjärrvärmenät kan dock övriga scenarier vara mer relevanta (gäller främst vid importerat avfall). Samtliga fjärrvärmenät använder biomassa i olika anläggningar. I verktyget har biobränslebaserad fjärrvärmeproduktion låg klimatpåverkan. Idag ser vi inte att konkurrensen om biobränslen är så stor att det är aktuellt att tala om marginalbiobränslen. I framtiden med en kraftigt ökad konkurrens om biomassan för olika ändamål kan det dock bli aktuellt att ta hänsyn till systemeffekter av förändrad efterfrågan på biobränslen. Klimatpåverkan av värme från biomassa i konsekvensperspektiv skulle då sannolikt öka.

Indata för fjärrvärmeproduktionen är framtagna av respektive fjärrvärmebolag. Vissa data är redovisade för flera anläggningar gemensamt och då har genomsnittliga värden för till exempel bränslen, verkningsgrader, alfavärden och liknande använts. Detta är förenklingar, i verkligheten förekommer förstärkningar och även variationer över året. För alla bränslen har generella emissionsfaktorer använts och vissa antaganden om bränslen har också gjorts för att överensstämna med de förvalda bränslen som idag finns i verktyget Tidstegen.

Ett av pilotprojektet har haft energilösningar som påverkat efterfrågan på fjärrkyla. För detta fjärrkylanät är klimatpåverkan lägst vid låga temperaturer och ökar sedan. Efterfrågan ökar med stigande utomhustemperatur. Vid höga temperaturer behöver anläggningar med lägre verkningsgrad användas. Ofta används värmepumpar när det är som allra varmast. Vid rätt förutsättningar sommartid kan värmen tas tillvara som fjärrvärme då fjärrkyla produceras. Vintertid används oftast värmepumpar där värmen tas till vara större delen av vinterhalvåret. I pilotprojektet har inte systemutvidgning gjorts för att analysera de konsekvenser en ökad eller minskad fjärrkylanvändning kan ha på fjärrvärmen och vice versa.

Två pilotprojekt har inkluderat energilösningar med solceller. I det ena fallet avses byggnadsintegrerade solceller medan det andra fallet investerar i en solcellsanläggning off-site. I det sistnämnda fallet säkras additionaliteten noggrant genom långsiktiga avtal och att elcertifikaten från producerad el i solcellsanläggningen inte tillförs marknaden för försäljning. Enligt de tre elscenarier som ingår i verktyget är solceller en bra investering ur klimatsynpunkt även när utsläppen från tillverkning av solcellerna inkluderas.

⁷ I referensscenariot antas att avfallet förbränns oavsett om det finns efterfrågan på värme från avfall eller inte. Effekten av ökad eller minskad efterfrågan på värme från avfall blir således att mer eller mindre avfallsvärme kyls bort och konsekvensen ur klimatsynpunkt blir därmed 0. Detta är redan nu en vanlig situation främst vid förbränning av hushållsavfall eftersom det finns restriktioner kring om avfallet får lagras eller inte av hygieniska skäl. Mer om scenarierna i Hagberg m.fl. (2017).

⁸ I det klimatsnåla avfallsscenario antas att förändrad värmeproduktion från avfall i Sverige påverkar avfallsimporten, som i sin tur påverkar hur mycket deponeringen av obehandlat restavfall som antas ske i det exporterande landet. Skälet att scenariot kallas klimatsnålt är för att en ökad användning av värme från avfall alltså leder till mindre deponering i ett annat land och därmed minskade utsläpp av växthusgaser. Mer om scenarierna i Hagberg m.fl. (2017).

⁹ I det klimattunga scenariot antas på samma sätt att förändrat behov av avfallsbaserad påverkar avfallsimporten. Här antas dock att avfallet annars hade förbränts i det exporterande landet med elutvinning. Orsaken till att scenariot kallas klimattungt är att ökad användning i Sverige av värme från avfall skulle innebära lägre lokal elproduktion i landet som exporterar avfall och att det antas att den el som istället skulle produceras är fossilbränslebaserad. Mer om scenarierna i Hagberg m.fl. (2017).



Genom pilotprojekten har mycket värdefull återkoppling på verktyget Tidstegen inkommit som bidragit till att IVL har kunnat åtgärda vissa buggar, testat och utvecklat användarvänligheten och vidareutvecklat verktygets funktioner.

5 Slutsatser

Slutsatserna från projektet kan sammanfattas i följande punkter:

- Pilotprojekt är ett bra sätt att testa och utvärdera verktyg av detta slag innan de släpps för bredare användning. Genom pilotprojekten har verktygets funktion förbättrats och förfinats successivt under projektet.
- I fjärrvärmenät med mycket kraftvärme är det ur klimatsynpunkt fördelaktigt med fjärrvärme framför värmepumpar. Det kan dock förekomma tidpunkter på året då det är bättre ur klimatsynpunkt att använda värmepumpar. Ett exempel är i situationer då elproduktionen i kraftvärmeverk stängs av för att tillgodose behovet av värme (särskilt vintertid). Ett annat exempel är i fjärrvärmenät med värmepumpar om dessa har lägre verkningsgrad än de värmepumpar som används i fastigheterna.
- Resonemanget om kraftvärme ovan är giltigt så länge den elproduktion som trängs undan av kraftvärmeelen har stor klimatpåverkan. Om elsystemen i våra nordeuropeiska grannländer utvecklas mot bättre klimatprestanda snabbare än de tre elscenarierna så förändras bilden. Ett robust resultat bör dock vara att det kommer vara fortsatt viktigt med lokal elproduktion för att undvika kapacitetsbrist i tillförseln av el till städer.
- I en framtid med kraftigt ökad efterfrågan på biomassa kan det vara relevant att i en konsekvensanalys ta hänsyn till vilka biobränslen som på marginalen påverkas av en förändrad efterfrågan.
- Värmelager möjliggör flytt av värme från sommar till vinter. I fjärrvärmenät som har bättre klimatprestanda (ur konsekvensperspektiv) sommartid än vintertid kommer det att vara gynnsamt förutsatt att värmeförlusterna i lagret inte är alltför stora.
- Energilösningar med solceller innebär att elproduktion någon annanstans trängs undan. I projektet används tre elscenarier och i samtliga dessa är det klimatmässigt fördelaktigt med solceller även när uppströmsemissionerna från tillverkning av solceller beaktas.

6 Referenser

Ekvall T (2018). Miljöbedömning av energibärare – vägledning för livscykelanalyser. IVL rapport C361

Gode J, Lätt A, Martinsson F, Adolfsson I, Lindblom J, Ekvall T (2015). Miljövärdering av energilösningar i byggnader. IVL rapport B2240

Gode J, Martinsson F, Hagberg L, Öman A, Höglund J, Palm D (2011). Miljöfaktaboken 2011 – Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter. Värmeforsk rapport 2011:1183

Hagberg M, Gode J, Lätt A, Ekvall T, Adolfsson I, Martinsson F (2017). Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2). IVL rapport B2282

Lätt A, Gode J, Sidvall A, Boberg N, Nilsson J, Berglund R (2019). Miljövärdering av energilösningar i byggnader – Tidstegen etapp III. IVL rapport B2337

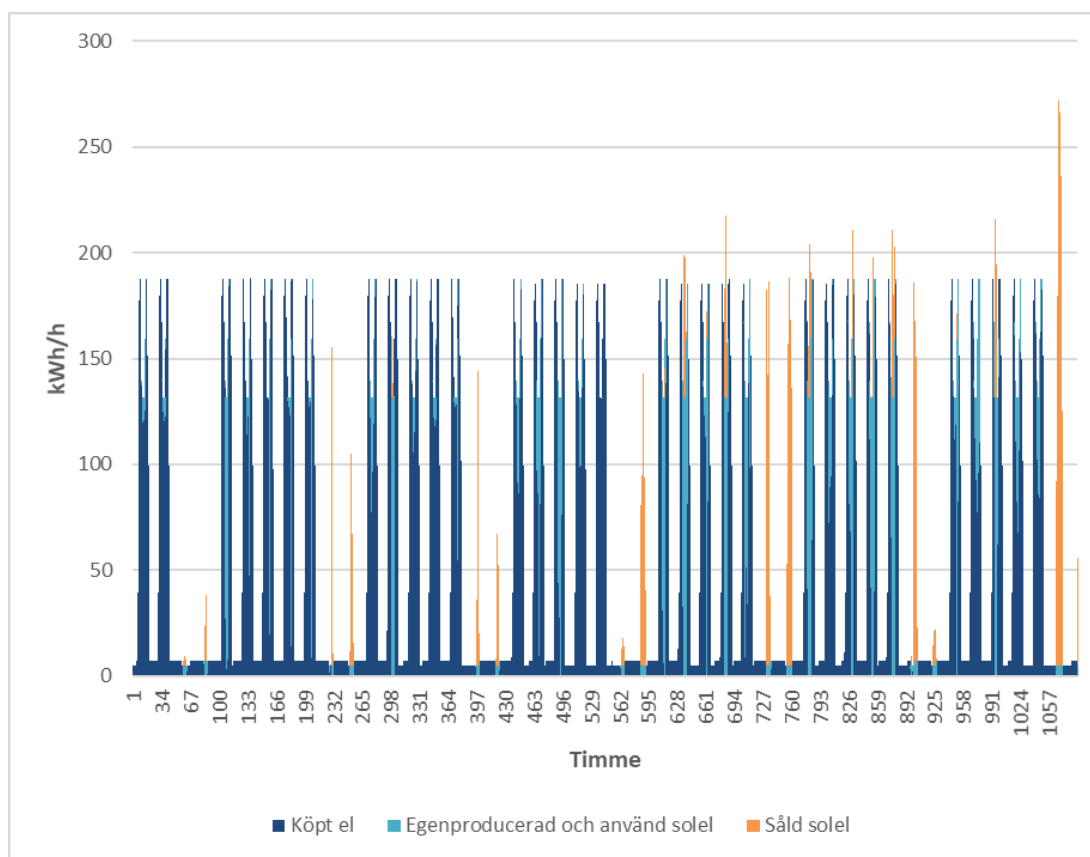
Nilsson J, Hargö L, Cygnaeus J, Räftegård O, Rosén M (2016). Fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme. Energiforsk rapport 2016:321

Sveby (2020). Klimatdatafiler för olika tidsperioder. SMHI och Sveby. Nedladdade från www.sveby.org 2020-01-10

Bilaga 1. Förtydligande av solcellsanläggning i Pilotprojekt 2

I Pilotprojekt 2 har en av de studerade energilösningarna omfattat en investering i en stor off-site solcellspark motsvarande samma årlig energiproduktion av el som kontorshusets årsbehov av fastighetsel (exkl hyresgästernas verksamhetsel). Avtalet för el från solcellsparken är 20-årigt (+10 år i mån av funktion) och reell addition av förnyelsebar el säkerställs genom att elcertifikaten ej får säljas vidare. Certifikaten lagras i systemet Cesar hos Energimyndigheten vilket kontrolleras av revisor. Den producerade mängden el i solcellsparken kommer inte alltid att matcha effektbehovet i fastigheten per timme. Det har uppskattats att ungefär hälften av solcellernas producerade el matchar fastighetens behov.

I Figur B1 nedan visas elbalansen för fastigheten och solcellsparken under årets 1000 första timmar. Totalt sett har solcellsparken producerat samma mängd elenergi som fastigheten på ett år använder, men 268 MWh el har behövts köpas från nätet eftersom solcellsparken inte alltid har producerat el då behovet funnits.



Figur B1. Produktion, användning och export av solet under 1000 timmar i en extern solcellspark och i fastigheten.

All el till fastigheten köps från nätet och solcellsparken exporterar all el till nätet. Vid vissa timmar producerar solcellsparken el då det finns ett behov för el i byggnaden och då minskar mängden "Köpt el" och ersätts av "Egenproducerad och använd solet" i fastigheten. Vissa timmar matchar



solelsproduktionen exakt fastighetens elbehov. Andra timmar är produktionen av solel större än fastighetens behov och då exporteras solel till andra kunder i nätet, det vill säga solelen bokförs som "Såld solel".

Bilaga 2. Frågeformulär för utvärdering av verktyget Tidstegen

Frågeformulär för Användare/Ingång Projekt

Följande frågor besvaras (skala 1-5, där 1 är Instämmer inte alls, 3 är OK och 5 är Instämmer fullständigt). Till samtliga frågor finns möjlighet till fritextsvar där svaren kan utvecklas.

1. Om att Skapa konto och logga in	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
Fungerar det att logga in?		
Är det tydligt hur man ska gå tillväga?		

2. Om att Skapa nytt projekt	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
<i>Bedömning av användarvänligheten i verktyget (exempelvis tydlighet och funktioner)</i>		
Fliken Projektinformation: Är det tydligt vad/hur du fyller i uppgifterna?		
Fliken Byggnadsenergi: Är det tydligt när du lägger till en energilösning att excel-datamallen som finns tillgänglig i rutan ska användas?		
Fliken Byggnadsenergi: Är det tydligt hur du fyller i ovan nämnd excel-datamall?		
Fliken Byggnadsenergi: Är det tydligt hur du laddar upp den ifyllda		

ovannämnda excel-damallen?		
Generellt: Är det tydligt vilka steg du ska ta för att ladda upp ett fullständigt projekt?		
Generellt: Är det tydligt hur du gör för att ändra uppgifter i ditt inlagda projekt?		
<i>Bedömning av metod</i>		
Är det tydligt hur indatan för energilösningarna ska tas fram?		
Var det tydligt vilka indata som krävdes för energilösningarna?	Endast fritextsvar	

3. Om resultatredovisningen	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
Finns det underlag i resultatredovisningen som du förväntat dig? Om inte, vad saknas?		
Är det tydligt vad figurerna/tabellerna beskriver?		
<ul style="list-style-type: none"> Fjärrvärmesystemets marginalmix (om aktuellt) 		
<ul style="list-style-type: none"> Fjärrkylesystemets marginalmix (om aktuellt) 		
<ul style="list-style-type: none"> Energianvändning 		
<ul style="list-style-type: none"> Resultat Klimatpåverkan 		
Kommer ni ha nytta av de givna resultaten? (Om ja, beskriv i fritextfältet till vad? Om nej, beskriv varför?)		

4. Användarbehov/utvecklingspotential/övrigt	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
Har du förslag på förbättringar för användarvänligheten i verktyget?	Endast fritextsvar	
Har du förslag på delar i verktyget som kan utvecklas?	Endast fritextsvar	
Behövde du ta hjälp av manualen? (Om ja, vad behövde du hjälp med och gav manualen dig den hjälp som du behövde?)	Endast fritextsvar	
Övriga kommentarer?	Endast fritextsvar	

Frågeformulär för Energibolag/Ingång Energisystem

Följande frågor besvaras (skala 1-5, där 1 är Instämmer inte alls, 3 är OK och 5 är Instämmer fullständigt). Till samtliga frågor finns möjlighet till fritextsvar där svaren kan utvecklas.

1. Om att Skapa konto och logga in	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
Fungerar det att logga in?		
Är det tydligt hur man ska gå tillväga?		

2. Om att Skapa energisystem	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
<i>Bedömning av användarvänligheten i verktyget (exempelvis tydlighet och funktioner)</i>		
Fliken Information: Är det tydligt vad som ska fyllas i?		
Fliken Data: Är det tydligt hur du lägger till ett Fjärrvärme/Fjärrkyla-systems marginalmix i ett energisystem?		
Fliken Data/Dialogrutan "Lägg till fjärrvärme/fjärrkyla-system": Är det tydligt vilken indata som ska fyllas i för marginalmixen i ett energisystem?		
Fliken Data/Dialogrutan "Lägg till fjärrvärme/fjärrkyla-system": Är det tydligt hur du fyller i indatan för energisystemen?		
Fliken Data/Dialogrutan "Lägg till fjärrvärme/fjärrkyla-system": Använde du funktionen att kopiera data (drifttid per utomhustemp) från excel och		

klistra in i dialogrutan? (JA/NEJ)		
Generellt: Är det tydligt hur du gör om du vill ändra uppgifter i ditt inlagda energisystem?		
<i>Bedömning av metod</i>		
Är det tydligt hur indatan för energisystemen ska tas fram?		
Kunde du tillgängliggöra dig indata som behövdes för energisystemen?	Endast fritextsvar	

3. Användarbehov/utvecklingspotential/övrigt	Bedömning (1-5)	Kommentarsfält
Har du förslag på förbättringar för användarvänligheten i verktyget?	Endast fritextsvar	
Har du förslag på delar i verktyget som kan utvecklas?	Endast fritextsvar	
Behövde du ta hjälp av manualen? (Om ja, vad behövde du hjälp med och gav manualen dig den hjälp som du behövde?)	Endast fritextsvar	
Övriga kommentarer?	Endast fritextsvar	

[Infoga bild/logga]