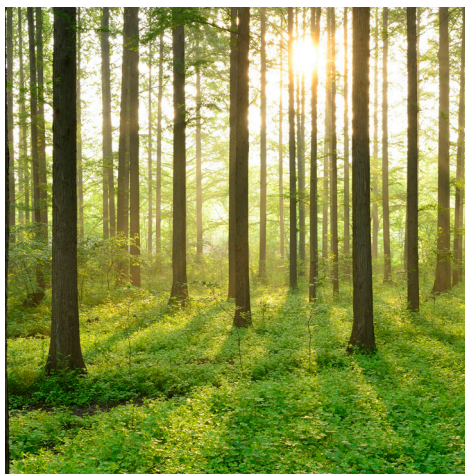


FJÄRRVÄRME I FRAMTIDENS HÅLLBARA BOSTADSOMRÅDEN

RAPPORT 2021:812



 FUTUREHEAT



Fjärrvärme i framtidens hållbara bostadsområden

MATTIAS GUSTAFSSON

MAGNUS ÅBERG

PETTER BERNER WIK

ISBN 978-91-7673-812-2 | © Energiforsk Oktober 2021

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet *Fjärrvärme i framtidens hållbara bostadsområden* visar vilken roll fjärrvärmens kan ha i framtidens bostadsområden, både utifrån ett resurseffektivitetsperspektiv och med hänsyn till globala koldioxidutsläpp. Särskilt har kombinationen fjärrvärme och lokal elproduktion genom solceller undersökts. Projektet lyfter också vikten av att använda rätt och definierade begrepp för att bedöma energi- och klimatprestanda.

Projektet har letts och genomförts av Mattias Gustafsson från Högskolan i Gävle tillsammans med Magnus Åberg från Uppsala Universitet och Petter Berner Wik från Gävle Energi.

En referensgrupp bestående av Anders Moritz, Tekniska Verken i Linköping (sammanhållande); Martin Gierow, Kraftringen; Therese Löving, Eskilstuna Strängnäs Energi & Miljö och Peter Wässingbo, Söderenergi har följt och kvalitetssäkrat projektet.

Projektet ingår i programmet Futureheat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt. Detta projekt ingår i programmets andra etapp.

Programmet leds av en styrgrupp bestående av Jonas Cognell, Göteborg Energi (ordförande); Anders Moritz, Tekniska verken i Linköping; Anna Hinderson, Vattenfall AB; Charlotte Tengborg, E.ON Värme Sverige; Fabian Levihn, Stockholm Exergi; Holger Feurstein, Kraftringen; Dan Bruhn, Jönköping Energi; Patrik Grönbeck, Borlänge Energi; Leif Bodinson, Söderenergi; Lena Olsson Ingvarson, Mölndal Energi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft; Niklas Lindmark, Gävle Energi; Per Örvind, Eskilstuna Strängnäs Energi & Miljö; Petra Nilsson, Växjö Energi; Staffan Stymne, Norrenergi; Stefan Hjärtstam, Borås Energi och Miljö; Svante Carlsson, Skellefteå Kraft; Ulf Lindquist, Jämtkraft och Julia Kuylenstierna (adjungerande), Energiforsk.

Suppleanter utgörs av Ann Britt Larsson, Tekniska verken i Linköping och Peter Rosenkvist, Gävle Energi.

Julia Kuylenstierna, programansvarig FutureHeat

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Det finns många utmaningar i det framtida samhället. Elsystemet står inför stora förändringar med bland annat en transmissionsproblematik, introduktion av fordonsladdning och en allmän elektrifiering. Därtill kommer också en högre andel intermittent och lokal produktion av el. Energianvändningen i fastigheter kommer att vara en del av energisystemets utmaning och fjärrvärmetekniken har alla möjligheter att vara en viktig komponent för uppvärmning av bebyggelse i tätbebyggt område men också som en viktig komponent i elsystemet med sin möjlighet till elproduktion i kraftvärmeverk.

Grunden för klimatarbetet idag är Parisavtalet där den globala temperaturhöjningen på grund av klimatpåverkan ska begränsas till 2 grader Celsius men helst hållas under 1,5 graders ökning. Det har lett till att det inom EU finns ett klimatmål som sedan medlemsländerna gemensamt ska uppfylla. Detta har i sin tur medfört att det lokalt och regionalt finns ett antal olika planer för hur man ska uppnå en klimatneutralitet och/eller netto-nollutsläpp av koldioxid.

Huvudmålet med projektet "Fjärrvärme i framtidens hållbara bostadsområden" har varit att med ett vetenskapligt angreppssätt påvisa fjärrvärmens möjligheter i framtida bostadsbyggandet utifrån resurseffektivitet och globala koldioxidutsläpp. Ett speciellt fokus har lagts på kombinationen fjärrvärme och solceller där syftet med solcellstekniken är att med lokal produktion av el kompensera för använd el och fjärrvärme på områdesbasis. Det blivande bostadsområdet Näringen i Gävle kommun har valts som referensområde då området ska genomgå en stadsomvandling från industriområde till att bli ett område med 6000 nya lägenheter. Byggstart är planerad 2025 och området ska vara klart 2040.

För att kunna analysera ny bostadsbebyggelse så simulerades energianvändning i 7 olika typer av flerbostadshus med olika grader av isolering (olika U_m -värden). Behovet av tillförd energi för uppvärmning simulerades på timbasis med både fjärrvärme och värmepumpar. Solelproduktion simulerades för två olika anläggningsstorlekar, en större solcellsanläggning som täcker hela takytan och en mindre som täcker halva ytan på ett så kallat sadeltak.

För att kunna göra en analys av koldioxidutsläpp användes verktyget Tidstegen framtaget av IVL. Metoden som används i Tidsstegen bygger på en konsekvensanalys för att beräkna miljöeffekterna av ett specifikt beslut/åtgärdsval. I en konsekvensanalys studeras effekter av att något förändras i ett system. Tidsstegen avser en tidsperiod på 20 år vilket ungefärligen motsvarar tidsperioden 2020-2040. Fördelen med Tidstegen är att både el- och fjärrvärmeanvändning kan analyseras med samma metod och tidsupplösningen är på timbasis.

Resultaten visar att det är möjligt att nå netto-nollutsläpp av koldioxid inom ett bostadsområde genom att låta lokal elproduktion kompensera den inom området använda elen och fjärrvärmens. En problematisering av begreppet klimatneutralitet visar att begreppet är olämpligt att använda då det innefattar fler aspekter än koldioxidutsläpp och gör det därför svårt att beräkna. För att nå netto-nollutsläpp behöver dock bostadsområdet använda fjärrvärme då takytan på tillgängliga

bostäder inom området inte klarar av att producera den mängd el som krävs för netto-nollutsläpp om värmepumpar används. Det påvisas också att om fjärrvärmesystemet har låga koldioxidutsläpp så kan netto-nollutsläpp av koldioxid på områdesbasis förenklas till att det krävs mer lokal elproduktion än total elanvändning inom området. För att nå netto-noll utsläpp behöver också bebyggelsen blandas så att punkthus med en relativt hög elanvändning förhållande till tillgänglig takyta för en solcellsanläggning kompenseras med låga bostäder med en relativt låg elanvändning förhållande till tillgänglig takyta för en solcellsinstallation.

Vikten av att bostadsområden har netto-noll koldioxidutsläpp ur energisynpunkt kan dock ifrågasättas. Att varje tillgänglig takyta ska användas för solceller ger inte en kostnadsoptimal solcellsproduktion. Ska en viss andel solelproduktion finnas i stadsbebyggelse bör kanske stadens tillgängliga tak utvärderas och solceller installeras på lämpliga tak både ur installationssynpunkt men också ur egenanvändningssynpunkt av den producerade elen.

Nyckelord

Fjärrvärme, värmepumpar, solceller, klimatneutral, netto-noll koldioxidutsläpp.

Summary

Our society is facing various future challenges. The electrical power system has challenges, for example, with large charging loads due to the introduction of electric vehicles but also general electrification to reduce the use of fossil fuels. There is also an increased interest in distributed power and an increased use of intermittent power such as wind turbines. The use of energy in buildings will be a part of the challenges in the energy system and district heating systems have the possibility to be part of the solution in densely populated areas. District heating systems have the potential to be an important part of the electrical power system due to the ability to use combined heat and power plants to produce electricity.

The most significant global climate agreement to date is the Paris Agreement. In the Paris Agreement, the long-term temperature goal is to keep the rise in global average temperature to below 2 °C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the increase to 1.5 °C. Under the Paris Agreement, each country must determine, plan, and regularly report on the contribution that the country undertakes to mitigate global warming. To support national plans to reduce the carbon dioxide emissions there are commonly regional and local plans and agreements with goals for cities and/or regions to be climate neutral or to have net zero carbon dioxide emissions.

The main purpose of the project 'Fjärrvärme i framtidens hållbara bostadsområden' (District heating in sustainable residential areas of the future) is to scientifically analyse the possibilities to use district heating in new residential areas with low carbon dioxide emissions. The project focuses on the combination of district heating and solar PV installations, for the purpose of compensating the use of electricity and district heat within a residential area with locally produced electricity to receive a climate neutral or a net zero carbon dioxide emission area. The future residential area Näringen in Gävle has been used as a reference area. The plan for Näringen is to build 6000 new apartments starting in 2025. The area is planned to be completed in 2040.

To analyse a future residential area, the energy use in seven recently built multifamily buildings in Gävle was simulated. The energy use was simulated hourly for different grades of well-insulated walls, roofs and floors. The buildings were also simulated if district heating or heat pumps were used for heating and if solar PV installations were installed on the roofs. Two different sizes of PV installations were simulated, where the largest installation covered the entire available roof area.

To be able to analyse the carbon dioxide emissions for the electricity use and the use of district heat as well as the contribution from the locally produced electricity, a tool called Tidstegen was used. Tidstegen is developed by IVL (Svenska Miljöinstitutet). Tidstegen uses a consequence analysis to calculate the carbon dioxide emissions for changes in use of electricity and district heat. Tidstegen uses a time resolution of one hour and intends to analyse the time frame of approximately 2020 to 2040.

The results show that it is possible to build a residential area with net zero carbon dioxide emission from the use of energy. This is accomplished by letting locally produced electricity compensate for the use of district heat and electricity within the area. When analysing the expression 'climate neutral', the expression proved to be unsuitable because more aspects than just emissions of carbon dioxide need to be analysed. The calculation is more difficult and less transparent, and therefore unsuitable to use in local and regional plans.

To achieve net zero emissions of carbon dioxide in the future residential area of Näringen, all roofs need to have PV systems installed. If heat pumps are used for heating instead of district heat, the locally produced electricity from rooftop installed PV systems are unable to compensate for the increased use of electricity by the heat pumps. It is also concluded that if the district heating system has low carbon dioxide emissions, the net emissions of carbon dioxide from the energy use in buildings within a residential area can be simplified and an approximate definition of net zero carbon dioxide emissions can be that more electricity must be produced locally than is used within the residential area.

The importance of having net zero carbon emission residential areas can be discussed. If electricity produced by PV systems is used to compensate for energy used, all roofs in the residential area must be used for electricity production. PV systems should preferably be installed without shading, on roofs or other structures suitable for installing the systems, but also with an internal electrical load that minimizes the export of produced electricity. District heating has great potential to be used for heating in future residential areas. But the district heating system must adapt to the changes towards a more sustainable society.

Key words

District heating, heat pumps, PV systems, climate neutral, net zero carbon dioxide emissions

Extended summary

Background

Our society is facing various future challenges. The electrical power system has challenges, for example, with large charging loads due to the introduction of electric vehicles, as well as general electrification to reduce the use of fossil fuels. There is also an increased interest in distributed power generation and increased use of intermittent power such as wind turbines. The use of energy in buildings will be a part of the challenges in the energy system, and district heating systems have the possibility to be part of the solution in densely populated areas. District heating systems have the potential to be an important part of the electrical power system due to the ability to use combined heat and power plants to produce electricity.

The most significant global climate agreement to date is the Paris Agreement. In the Paris Agreement, the long-term temperature goal is to keep the rise in global average temperature below 2 °C above pre-industrial levels and to pursue efforts to limit the increase to 1.5 °C. Under the Paris Agreement, each country must determine, plan, and regularly report on the contribution that the country undertakes to mitigate global warming. To support national plans to reduce carbon dioxide emissions there are commonly regional and local plans and agreements with goals for cities and/or regions to be climate neutral or to have net zero carbon dioxide emissions.

In September 2017, the Swedish government identified nine areas in six different municipalities with potential large urban transformation projects. Three municipalities signed a contract with the government: Gävle, Knivsta and Uppsala. In the contract with the government, the municipalities agreed to establish a plan to make the energy use in the planned residential area climate neutral.

The terms 'climate neutral' and 'net zero carbon dioxide emissions' seem similar but the term climate neutral involves aspects other than carbon dioxide emissions. The concept of net zero carbon dioxide emissions has a more direct and scientifically well-defined meaning than the term climate neutral and is easier to follow up. Therefore in this report, the term 'net zero carbon dioxide emissions' will mainly be used.

Objectives

The main purpose of the project 'Fjärrvärme i framtidens hållbara bostadsområden' (District heating in sustainable residential areas of the future) is to scientifically analyse the possibilities of district heating in new residential areas with the perspective of efficient use of resources and carbon dioxide emissions. The project focuses on the combination of district heating and solar photovoltaic (PV) installations, for the purpose of compensating the use of electricity and district heat within a residential area with locally produced electricity to achieve a climate neutral or net zero carbon dioxide emission area.

The research questions investigated are:

1. Can the combination of district heating and solar PV systems be competitive compared to other energy systems in future residential areas with a climate neutral energy use?
2. What are the critical factors when using district heating in future residential areas to obtain a climate neutral energy use?
3. How do the participating municipalities in the governmental effort support sustainable housing areas working towards a climate neutral energy use in their selected urban transformation projects.

The urban transformation area Näringen

The urban transformation area Näringen in Gävle has been used as a reference area. The plan for Näringen is to build 6000 new apartments. The area will be built in six stages and the preliminary plan is presented below. Nyhamn is located southeast in Näringen and stage 5 and 6 are in the western parts.

- Stage 1, Nyhamn, 1500 apartments, completed in 2026.
- Stage 2, South of Näringen, 2300 apartments, completed in 2029.
- Stage 3, Middle of Näringen, 1300 apartments, completed in 2030.
- Stage 4, North of Näringen, 900 apartments, completed in 2034.
- Stage 5, Marielund and Joakims Backe, 600 apartments, completed in 2036.
- Stage 6, Bangården, 500 apartments, completed in 2039.



Figure 1: A map of the urban transformation area Näringen in Gävle.

Method

To be able to analyse a future residential area, the energy use in seven recently built multifamily buildings in Gävle was simulated. The energy use was simulated hourly for different grades of well-insulated walls, roofs and floors. The buildings were also simulated if district heating or heat pumps were used for heating and if

solar PV installations were installed on the roofs. Two different sizes of PV installations were simulated, where the larger installation covered the entire available roof area.

The seven buildings were then used to present possible future housing areas in the different stages of Näringen. The buildings are presented below.

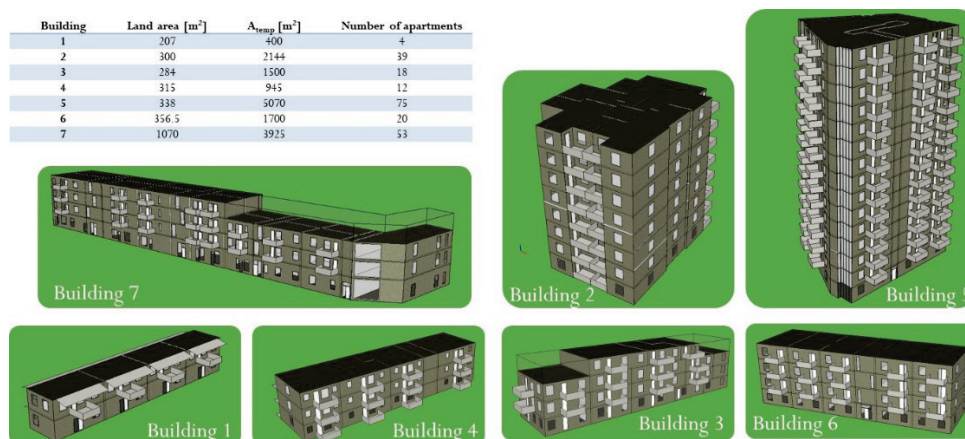


Figure 2: The seven buildings used for evaluating the energy use in the future area of Näringen.

When the buildings were simulated with heat pumps as the source for heating, two different values of seasonal coefficient of performance (SCOP) were used. The first value was 2.57 and represents the quota of the primary energy factors for electricity (1.8) and district heat (0.7) in the Swedish building regulations, BBR. A higher SCOP value of 3.5 was also used for comparison.

To be able to investigate the energy use for the entire area of Näringen, a fictive habitation based on preliminary plans from the municipality was used to place the different buildings in the different building stages. Stage 1, 4 and 5 were also divided into part A and B to be able to investigate the CO₂ emissions even further. The buildings were placed according to Table 1.

Table 1: Presents a fictive habitation of Näringen where the type and number of each building used in each stage is presented.

Stage	Buildings	Total area [m ²]
Stage 1 A	11 Building 3, 8 Building 6	38,000
Stage 1 B	36 Building 1	79,000
Stage 2	6 Building 2, 17 Building 5, 15 Building 7	220,000
Stage 3	6 Building 2, 8 Building 5, 9 Building 7	140,000
Stage 4 A	30 Building 1	93,000
Stage 4 B	21 Building 1, 58 Building 3	160,000
Stage 5 A	14 Building 1	78,000
Stage 5 B	26 Building 1, 28 Building 4, 2 Building 7	180,000
Stage 6	28 Building 3	500,000

In BBR, the building's primary energy number (EP_{pet}) is calculated and the calculated value shows how energy efficient the building is. All energy values used in the calculation are 'bought' energy, ie the PV produced electricity exported to the grid is not included.

$$EP_{\text{pet}} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{\text{uppv},i}}{F_{\text{geo}}} + E_{\text{kyl},i} + E_{\text{tvv},i} + E_{\text{fi},i} \right) \times PE_i}{A_{\text{temp}}}$$

EP_{pet} =	Primary energy number [kWh/year, m ²]
E_{uppv} =	Energy used for space heating [kWh/year]
F_{geo} =	Geographical correction factor [-] (= 1.1 for Gävle)
E_{kyl} =	Energy used for cooling [kWh/yr]
E_{tvv} =	Energy used for domestic hot water [kWh/year]
E_{fi} =	Electricity used for building services [kWh/year]
A_{temp} =	Heated area of the building [m ²]
PE_i =	Primary energy number for the energy source "i" [-]

To be able to analyse the carbon dioxide emissions for the electricity use and use of district heat as well as the contribution from the locally produced electricity, a climate assessment tool called Tidstegen were used. Tidstegen is developed by IVL (Svenska Miljöinstitutet). Tidstegen uses a consequence analysis to calculate the carbon dioxide emissions for changes in use of electricity and district heat.

Tidstegen uses a time resolution of one hour and intends to analyse the time frame of approximately 2020 to 2040. The system border for the investigation of the electricity system is the north of Europe. Since the system borders for the north of Europe are used for the electricity system, the contribution of electricity produced by fossil fuels are significantly. The lowest CO₂ emissions occur at night during summer (127 kgCO₂e/MWh) and the highest CO₂ emissions occur in daytime during winter (992 kgCO₂e/MWh).

Results

When the primary energy number is investigated for the buildings when the building is heated with either a heat pump or district heating, the building receives the same primary energy number when the heating system uses either district heating or a heat pump with SCOP equal to 2.57. The reason for that is because the SCOP value is the primary energy factor for electricity divided by the primary energy factor of district heat according to BBR. When a heat pump has a higher SCOP value (SCOP = 3.5), the building receives a lower primary energy number.

When a solar PV installation is installed, the primary energy number is lower for a heat pump system compared to if district heating is used. The reason for that is that more electricity produced by the PV system can be used inside the building if a heat pump is used and since BBR uses 'bought' energy in the calculation, the primary energy number is lower for the heat pump systems.

The results also show that it is possible to build a residential area with net zero carbon dioxide emissions from the use of energy. This is accomplished by letting locally produced electricity compensate for the use of district heat and electricity within the area. Table 2 presents the quota of the energy use of district heat divided by the net export of electricity when district heat is used for heating. When heat pumps are used, the exported electricity from the buildings in each stage minus the use of electricity is presented. The Table shows that the emission factor for district heating needs to be at least 6.9 times lower than for electricity to reach net zero carbon dioxide emissions for the area. It also shows that when heat pumps are used the electricity use is higher than what can be exported.

Table 2: Presents the quota of the energy use of district heating divided by the net export of electricity when district heat is used for heating. When heat pumps are used, the exported electricity minus the use of electricity is presented.

[MWh]	Solar PV entire roof	Heat pump SCOP=2.57	Heat pump SCOP =3.5
Stage	District heat/(export-use)	Export-use	Export-use
1A	3.4	-176	-32
1B	1.1	100	268
2	-	-4198	-3550
3	-	-2272	-1899
4A	1.6	350	757
4B	1.2	83	224
5A	1.7	114	422
5B	1.2	39	104
6	2.9	-181	27
Total	6.9	-6141	-3679

The CO₂ emissions for electricity vary depending on season and time of day. There are lower emissions during summer but in the different scenarios used by Tidstegen, there are fairly high emissions daytime during the summer. The difference in CO₂ emissions due to season and time needs to be accounted for to obtain correct results but the electricity export minus the electricity use gives a good indication of the possibilities to reach net zero emissions of CO₂. The quota of the energy use of district heat divided by the net export of electricity also gives a good indication of the minimum difference in CO₂ emissions for electricity and district heat to reach net zero emissions.

Discussion and conclusions

To receive net zero emissions of carbon dioxide in the future residential area of Näringen, all roofs need to have PV systems installed. If heat pumps are used for heating instead of district heat, the locally produced electricity from rooftop installed PV systems will be unable to compensate for the increased use of electricity by the heat pumps.

It is important that there is a mix of different buildings. A high-rise type of building has a limited ground area compared to the number of apartments. This means that it is difficult to compensate the energy used in the building with electricity produced from rooftop PV systems. To be able to fulfil the ambition with

net zero emissions for the entire area of Näringen, lower buildings with large areas for PV installations and a low use of energy must compensate the high-rise buildings.

It is also concluded that if the district heating system has low CO₂ emissions, the net emissions of carbon dioxide from the energy use in buildings within a residential area can be simplified and an approximate definition of net zero carbon dioxide emissions can be that more electricity must be produced locally than what is used within the residential area.

The importance of having net zero carbon emission residential areas can be discussed. If electricity produced by PV systems is used to compensate for energy used, all roofs in the residential area must be used for electricity production. PV systems should preferably be installed without shading, on roofs or other structures suitable for installing the systems, but also have an internal electrical load that minimizes the export of produced electricity. To use locally produced electricity from PV systems to compensate for energy used in a housing area might not be cost-effective and there are risks of sub-optimization in the energy system.

Key words

District heating, heat pumps, PV systems, climate neutral, net zero carbon dioxide emissions

Innehåll

1	Inledning	15
2	Bakgrund	17
2.1	climate-neutral and smart cities	17
2.2	Olika koncept och program för mer klimatsmarta byggnader och städer i Sverige	18
2.3	Området Naringen i Gävle	19
2.4	Solceller i bebyggd miljö	20
2.5	Miljöbedömning av el- och fjärrvärmeanvändning	22
3	Metod och grundläggande datahantering	24
3.1	Simulering av byggnadernas energianvändning och solelproduktion	24
3.2	placering av byggnader i Naringens olika etapper	26
3.3	Utsläppsfaktorer CO ₂ -ekvivalenter/kg	27
3.4	Byggnadernas primärenergital	28
3.5	Workshop klimatneutrala bostadsområden	29
4	Resultat	30
4.1	Energianvändning i simulerade byggnader	30
4.2	Primärenergital för simulerade byggnader	31
4.3	Energianvändning och CO ₂ -utsläpp för Naringens olika etapper	32
4.4	Workshops klimatneutrala bostadsområden	34
4.4.1	Vad är klimatneutralitet på områdesbasis och hur jobbar kommunerna med klimatneutralitet?	34
4.4.2	Hur jobbar kommunerna med innovationer inom energiområdet och bostadsbyggandet?	35
4.4.3	Övriga diskussioner och punkter från workshops	36
5	Diskussion	37
5.1	Klimatneutralitet som begrepp och vikten av en definition	37
5.2	Energibalans för byggnader och bostadsområden med hög andel lokal elproduktion	38
5.3	bostadsområden med hög andel lokal elproduktion och netto-noll koldioxidutsläpp	39
6	Slutsatser	42
7	Referenslista	43
	Bilaga A: Användning av fjärrvärme, el samt exporterad el för de olika etapperna.	46

1 Inledning

Att världen står inför stora klimatutmaningar är det få som bestrider idag. Huvudorsaken är den fossila energianvändningen som i Sverige främst kommer från fordonssektorn. Globalt men även inom EU används stora mängder fossila bränslen för uppvärmning av fastigheter men i Sverige är byggnaders klimatpåverkan mer diskutabel och det beror framförallt på den höga andelen fastigheter som använder fjärrvärme för uppvärmning. Fjärrvärmens fördelar med att kunna använda lokal restvärme och förbränning av restprodukter för produktion av både värme och el har starkt bidragit till Sveriges idag unika energisystem. Sveriges elproduktion består också av i stort av fossilfria bränslen men här behövs ett större perspektiv på klimatutsläppen då olika länders elsystem är sammankopplade.

Vid klassificering av byggnader och dess energianvändning finns det många begrepp som kan förvilla. Några vanliga begrepp är nära nollenergihus, passivhus och plusenergihus. Ett viktigt direktiv i sammanhanget som även tillför en annan klassificering av byggnaders energianvändning är EU-direktivet EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) [1]. Direktivet fastställer att alla medlemsstater ska se till att från och med 2021 ska alla nya byggnader vara nära-nollenergibyggnader. För Sveriges del så har Boverket haft i uppdrag att ta fram förslag på hur nära-nollenergibyggnader ska definieras för Sverige i form av krav på byggnaders energiprestanda och dessa krav är nu implementerade i Boverkets byggregler version 29 (BBR 29) [2].

BBR är en samling av föreskrifter och allmänna råd som fastställs av Boverket och gäller svenska byggnader. I BBR ställs det bland annat ett övergripande krav på energihushållning som innebär att byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning [1]. Det har funnits kritik mot utformningen av kravet på energihushållning och framförallt har det varit kring hur byggnadens primärenergibehov beräknas samt att det inte har varit en teknikneutralitet i reglerna för byggnader uppvärmda med fjärrvärme jämfört med om värmepumpar används för uppvärmning [3].

Sverige står inför en omfattande elektrifiering. Det är framförallt en elektrifiering av transportsektorn och introduktionen av vätgas som en energibärare samt användandet av vätgas för framställning av fossilfri stålproduktion. Det finns idag en debatt kring effekttillgången på el och den kapacitetsbrist som finns i elnätet. Den pågående nedläggningen av befintlig kärnkraft i Sverige och den ökande produktionen av intermittent el från till exempel vindkraft och solceller kommer ytterligare att komplicera framtida balansen mellan tillgång och efterfrågan på el med behov att förflytta el över landet. Värmepumpar för uppvärmning av fastigheter är en beprövad och effektiv teknik som kommer vara en viktig del av uppvärmningen av bostäder i Sverige. Dock så kan man diskutera värmepumpars lämplighet inom fjärrvärmesystemens geografiska områden [4].

Fjärrvärme har en investeringstung infrastruktur med stordriftsfördelar vilket historiskt har medfört en "antingen-eller" diskussion kring värmepumpar eller

fjärrvärme för uppvärmning. Förändringarna i energisystemet och då framförallt en mer volatil elmarknad med fler toppar men också dalar i elpriserna har öppnat för diskussioner om fördelar med värmepumpar och fjärrvärme i kombination. Ett exempel är styrning av värmepumpar lokalt i en fastighet där fjärrvärme kombineras med ett värmepumpssystem där styrning och optimering av uppvärmningen kan ge både energiföretaget och kunden ekonomiskt värde men också en miljönytta [5].

Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären för att därefter uppnå negativa utsläpp. Detta kommer att medföra stora förändringar i energisystemet. Förutom en övergång till förnybara energikällor kommer också en minimering av resursanvändningen behövas. Det kommer att ställa krav på framtida bostadssektorn med bland annat låg energianvändning generellt men också smarta och integrerade försörjningssystem.

Denna rapport kommer inte att lösa den övergripande planeringen av framtidens bostadsområden men den ska ge värdefull input till definitionen och tillämpningen av klimatneutral energianvändning på områdesbasis för nya bostadsområden samt en nyanserad analys av fjärrvärmens potential i dessa nya klimatneutrala bostadsområden. Projektet har fokuserat på energianvändningen efter byggandet av fastigheterna. Att undersöka totala koldioxidutsläpp genom en LCA analys får göras i vidare forskning/utredning. Även den ekonomiska aspekten för olika tekniker är utelämnat i denna studie.

Huvudmålet med projektet har varit att undersöka fjärrvärmens möjligheter i framtida bostadsbyggandet utifrån resurseffektivitet och globala koldioxidutsläpp. En speciell fokus har lagts på kombinationen fjärrvärme och solceller där syftet med solcellstekniken varit är att genom lokal produktion av el kompensera för använd el och fjärrvärme. I rapporten identifieras kritiska faktorer för användandet av fjärrvärme och kombinationen av fjärrvärme och värmepumpar på områdesbasis. Det framtida bostadsområdet på Näringen i Gävle har använts som referensområde. Forskningsfrågorna i projektet kan sammanfattas som:

1. Kan kombinationen fjärrvärme och solceller konkurrera med alternativa uppvärmningsformer som värmepumpar och solceller i framtidens bostadsbyggande där "klimatneutral" energianvändning på områdesbasis eftersträvas?
2. Vilka är de kritiska faktorerna för användandet av fjärrvärme i framtida bostadsbyggandet för att uppnå en "klimatneutral" energianvändning på områdesbasis?
3. Hur ser de deltagande kommunerna i regeringens satsning hållbara stadsdelar och städer på definitionen "klimatneutralitet" och hur planeras en "klimatneutral" energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå i de utvalda stadsomvandlingsprojekten?

2 Bakgrund

Grunden för klimatarbetet idag är Parisavtalet där den globala temperaturhöjningen pga. klimatpåverkan ska begränsas till 2 grader Celsius men helst hållas under 1,5 graders ökning. På EU-nivå finns det därefter olika styrande mål och bl.a. ett övergripande klimatmål där utsläppen av växthusgaser ska minska med 40% år 2030 jämfört med år 1990 [6]. I Sverige har man beslutat i riksdagen om ett klimatpolitiskt ramverk. Ramverket som antogs 2017 består av en klimatlag, klimatmål och ett klimatpolitiskt råd. Det långsiktiga klimatmålet innebär att Sverige inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser år 2045 [7]. Målet innebär att utsläppen av växthusgaser från svenskt territorium ska vara minst 85 procent lägre år 2045 än utsläppen år 1990. De kvarvarande utsläppen ned till noll kan uppnås genom så kallade kompletterande åtgärder vilket t.ex. kan vara upptag av koldioxid i skog och mark, utsläppsminskningar genomförda utanför Sveriges gränser, samt avskiljning och lagring av koldioxid från förbränning av biobränslen [7].

Utöver de styrande målen från EU och Sverige så sätts det olika lokala mål i regioner och kommuner men också bland olika företag och organisationer. Det leder lätt till begreppsförvirring och kan skapa osäkerhet, framförallt om samma begrepp används men att de tolkas olika. De vanligaste begreppen och uttrycken som används idag för att beskriva klimatmål kan indelas i följande kategorier [8] där de två första begreppen är förklarade nedan:

- Klimatneutralitet
- Noll nettoemissioner av koldioxid
- Förnybarhet
- Fossilfrihet och fossiloberoende

Klimatneutralitet och noll nettoemissioner av koldioxid är två liknande begrepp men som skiljer sig något åt. FN:s klimatpanel IPCC har definierat klimatneutralitet som "Ett koncept vari mänskliga aktiviteter inte resulterar i nettoeffekter i klimatsystemet". För att uppnå detta skulle det krävas att utsläpp balanseras av ett motsvarande avlägsnande av utsläpp från klimatsystemet. I IPCCs definition av klimatneutralitet så hänvisas det till begreppet noll nettoemissioner av koldioxid vilket då innebär att klimatneutralitet måste ta hänsyn till fler effekter än bara nettoemissioner av koldioxid [8,9]. Ett annat begrepp som används är klimatpositiv. Begreppet klimatpositiv är nära besläktat med klimatneutral och en betydelse kan härledas från IPCCs definition av klimatneutral men båda begreppen är svåra att räkna på jämfört med noll nettoemissioner av koldioxid då hänsyn ska tas till t.ex. tidsaspekten mellan utsläpp av växthusgaser och upptag av koldioxid, höghöjdseffekten för utsläpp av flyg samt utsläpp av sot och aerosoler mm. [8,9].

2.1 CLIMATE-NEUTRAL AND SMART CITIES

Som en del av EUs arbete att möta framtidens utmaningar så skapades programmet Horizon Europé. Horizon Europé är ett investeringsprogram för forskning och innovation som sträcker sig mellan 2021 och 2027. Programmet

baserar sig på tre grundpelare: Vetenskaplig spetskompetens, Globala utmaningar och europeisk industriell konkurrenskraft samt ett Innovativt Europa [10]. En nyhet i Horizon Europé är så kallade uppdrag (missions). Dessa uppdrag ska ha specifika mål och ska utformas som en del av Horizon Europés strategiska planeringsprocess. Den bakomliggande tanken med uppdragen är att erhålla en bred politisk uppslutning på alla nivåer dvs. lokal-, regional-, nationell- och europeisk nivå. Kommissionens har därefter valt ut fem övergripande uppdrag: cancer, climate change, healthy oceans, climate-neutral and smart cities samt healthy soil and food [11].

Uppdragsledningen (mission board) för climate-neutral and smart cities publicerade september 2020 ett förslag på en mer detaljerad uppdragsbeskrivning (proposed mission) med titeln "100 climate-neutral cities by 2030 – by and for the citizens". Målet är att man ska lyfta fram "100" städer och hur de systematiskt går till väga för att bli klimatneutrala till 2030 samt att de under tiden ska agera som experiment- och innovationshubbar [12].

2.2 OLIKA KONCEPT OCH PROGRAM FÖR MER KLIMATSMARTA BYGGNADER OCH STÄDER I SVERIGE

Sveriges motsvarighet till climate-neutral and smart cities kallas Viable Cities och är ett strategiskt innovationsprogram inom området klimatneutrala och hållbara städer med tidsramen 2017-2030. Ambitionen är att bygga förmåga hos svenska städer att vara pådrivande i omställningen till klimatneutrala städer. Viable Cities har valt att inte definiera begreppet "klimatneutral stad". Inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet bedrivs Klimatneutrala städer 2030 som syftar till att testa nya arbetssätt och lösningar för att uppnå hållbara städer. Initialt var nio svenska kommuner och deras partners med i satsningen men under 2021 kommer fler städer att anslutas.

Ett annat koncept som har tagits fram av Sweden Green Building Council är ett certifieringssystem som kravställer och verifierar att en ny byggnad uppnått netto-noll klimatpåverkan, certifieringen kallas NollCO₂. Certifieringen ställer krav på att byggnadens växthusgasutsläpp är reducerade genom att sätta upp gränsvärden för växthusgasutsläpp av byggdelsproduktionen, av byggprocesserna och indirekt genom att sätta en gräns för byggnadens energianvändning. För att uppnå en netto-noll klimatpåverkan ställs sedan krav på att byggnadens kvarvarande klimatpåverkan är balanserad med externa klimatåtgärder [13].

Sverige har en ökande urbaniseringsgrad. Det medför att storstadsregionerna och de större städerna fortsätter att växa [14]. Som en del av regeringens ambition att medverka till ett ökat bostadsbyggande och hållbar stadsutveckling gavs 2016 uppdrag till en samordnare att identifiera kommuner där det finns framtagna planer på samlade exploateringar för en större mängd bostäder men där planerna av något skäl inte kan genomföras till exempel för att det saknas relevant statlig infrastruktur eller lämplig kompetens. Målet var att 100.000 bostäder ska byggas [15].

Initialt presenterades nio områden i sex kommuner men överenskommelser har ingåtts med fyra kommuner varav avtal har skrivits med tre kommuner och en

avsiktsförklaring finns för den fjärde. I regeringens slutredovisning av "Uppdrag att samordna större samlade exploateringar med hållbart byggande" har ytterligare ett område identifierats, Norra Ön i Umeå men inget avtal finns redovisat på regeringens hemsida (2021-06-28). De sex områdena i de fyra kommunerna med avtal är:

- Alsike, Knivsta kommun.
- Nydal, Knivsta kommun.
- Bergbrunna och Södra staden, Uppsala kommun.
- Nysala, Uppsala och Knivsta kommuner.
- Näringen, Gävle kommun.
- Hemfosa, Haninge kommun (avsiktsförklaring).

Alla avtalen mellan kommunerna och regeringen är utformade olika. Det finns dock gemensamma nämnare som till exempel att avtalen är en kombination av bostadsbyggande och andra infrastruktursatsningar. Det är också utmärkande att användande av innovativa lösningar är inskrivet i avtalet och det avser en bredare syn än bara på energiområdet. Kollektivtrafiken i de nya områdena nämns också i alla avtal. Något som är skrivet i detalj i samtliga tre avtal är att det ska finnas planer på fossilfria transporter på områdesnivå samt en klimatneutral energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå. Det saknas dock en definition på vad en klimatneutral energianvändning egentligen innebär.

2.3 OMRÅDET NÄRINGEN I GÄVLE

Näringen är ett industriområde Nordöst om centrala Gävle. Området är beläget centralt och de Sydvästra delarna av Näringen är inom 1 km från järnvägsstationen. Näringen kommer att bli den hittills största stadsomvandlingen i Gävle kommun och stadsdelen är tänkt att bli en blandad stadsdel med 6000 nya bostäder och med ett utrymme för 450.000 m² bruttoarea för verksamheter. Vilka nuvarande verksamheter som kommer att vara kvar är dock inte klarlagt. Området planeras att bebyggas i sex olika etapper med byggstart 2025 och hela området beräknas vara klart 2040 [16]. De olika etapperna är preliminärt planerade enligt nedan men kan komma att revideras. Nyhamn är beläget sydost på Näringen. Etapp 5 och 6 är i västra delarna av Näringen

- Etapp 1, Nyhamn, 1500 bostäder, färdig år 2026.
- Etapp 2, Södra Näringen, 2300 bostäder, färdig år 2029.
- Etapp 3, Mellersta Näringen, 1300 bostäder, färdig år 2030.
- Etapp 4, Norra Näringen, 900 bostäder, färdig år 2034.
- Etapp 5, Marielund och Joakims Backe, 600 bostäder, färdig år 2036.
- Etapp 6, Bangården, 500 bostäder, färdig år 2039.



Figur 1: En kartbild över området Näringen. Första etappen av bostadsbyggandet är beläget sydost inom området och de sista etapperna är belägna på den västra delen [16].

I avtalet mellan Gävle kommun och regeringen avseende stadsomvandlingen på Näringen så ska bangården flyttas för att göra plats för bostäder. Det järnvägsspår som visas i figuren förbinder järnvägen med Gävle Hamn. Sen den initiala övergripande planeringen gjordes har en ny spårsträckning planerats som kommer medföra en annan sträckning inom området Näringen men det påverkar inte resultatet i denna studie.

2.4 SOLCELLER I BEBYGGD MILJÖ

Att montera solceller på fastigheter är idag vanligt för alla typer av byggnader. En av orsakerna är att man kopplar in solcellsanläggningen innanför systemgränserna, det vill säga innanför elmätaren, och producerad el ersätter därmed annars inköpt el. När elproduktionen från en solcellsanläggning överstiger elanvändningen internt i fastigheten exporteras överskottet ut på elnätet. Den exporterade elen säljs ofta till spotpris medans den el som ersätter använd el generellt har ett högre ekonomiskt värde då det ingår till exempel överföringsavgifter och energiskatt.

Skuggning är problematisk för solcellstekniken och kan minska utbytet väsentligt. Takmonterade solceller är därför ofta att föredra då risken för skuggning är mindre än på till exempel fasaden. Det är också generellt betydligt enklare och billigare att montera solceller på byggnadens tak än på fasaden. För att maximera solcellsproduktionen kan taket anpassas något, dvs. att man bygger hela eller en större yta av taket mot söder och att luftningar och huvar etcetera anpassas för att påverka montaget av solceller minimalt. Figur 2 visar två olika exempel på solcellsinstallationer. Till vänster: Rosendal i Uppsala där Bright Living och Kjellgren Kaminsky planerar för ett passivhus med solceller i fasaden. Till höger: Brf Viva i Göteborg där taket anpassats för att maximera solelproduktionen.



Figur 2: Två exempel på hur solceller integreras i bebyggelsen på smarta sätt. Antingen via fasadmontage eller takmontage. Bilderna är publicerade med tillstånd av Kaminsky Arkitektur och Riksbyggen.

Solcellsmoduler är egentligen ett utmärkt byggnadsskal vilket gör att byggnadsintegrerade solcellsanläggningar blir allt vanligare. Det är ett argument varför fasadmonterade solcellsanläggningar kommer att bli vanligare. Kan solcellsmoduler ersätta ett annat material och därmed minska "nettokostnaden" för solcellsanläggningen så kan eventuellt en fasadanläggning motiveras ekonomiskt trots begränsad elproduktion, skuggproblematik och relativt höga installationskostnader.

Utvecklingen i Sverige går mot energisnåla fastigheter med en ökad mängd lokal elproduktion i form av solceller. Det kan dock diskuteras om man bör eftersträva att fastigheter ska vara nettoproducenter på årsbasis. Sveriges kalla klimat gör att även energisnåla fastigheters värmebehov blir säsongsb beroende. I Sverige till skillnad mot varma länder åtföljs inte energianvändningen med elproduktion från solceller som länder där kyla dominerar fastigheters energianvändning. Det medför att det blir helt olika användnings- och produktionsmönster för el respektive värme med en högre energianvändning vintertid och maximal solelproduktion sommartid då värmeanvändningen är som lägst. Att lagra el lokalt från sommar till vinter är inte ekonomiskt lönsamt eller tekniskt rimligt idag även om batterisystem för dygnslager blir allt vanligare och att vätgas förutspås bli en framtida energibärare för möjlig lagring av el.

Sverige står inför en elektrifiering av energisystemet. För att minimera och eliminera den fossila användningen i olika verksamheter så kommer el att användas i stor utsträckning. Transportsektorn och olika industriapplikationer är de mest primära sektorerna idag där elanvändningen kommer att öka väsentligt framöver.

Det har visat sig i studier att laddning av elfordon i hemmet korrelerar dåligt med solelproduktion. Det tillsammans med att det är svårt att styra elanvändningen i bostäder för att öka egenanvändningen av producerad el gör att det lätt blir en stor mängd exporterad el från bostäder [17,18].

2.5 MILJÖBEDÖMNING AV EL- OCH FJÄRRVÄRMEANVÄNDNING

Det finns flera olika metoder och angreppssätt som är brukligt att använda för bedömning av el- och fjärrvärmeanvändning. I den här rapporten används Tidstegen, framtagen av IVL, Svenska Miljöinstitutet. Tidstegen är ett verktyg för att beräkna konsekvenser ur klimatsynpunkt för byggnaders el-, kyl- och värmebehov. Tidstegen är ett lämpligt verktyg att använda vid planering av olika tekniska åtgärder vid nybyggnation eller ombyggnation [19]. I denna rapport används Tidstegen för att beräkna koldioxidutsläpp för användning av fjärrvärme, användning av el samt exporterad el vid lokal solexproduktion.

Tidstegen bygger på en konsekvensanalys för att ge information om miljöeffekterna vid ett specifikt beslut/åtgärdsval. I en konsekvensanalys studeras effekterna av en förändring i ett system. Tidstegen avser en tidsperiod på 20 år vilket ungefärligen motsvarar tidsperioden 2020-2040 [19].

För att bestämma konsekvensen av en förändrad efterfrågan i fjärrvärmesystem på ett tidsuppdelat sätt så bygger metoden på att beskriva ett systems marginalproduktion på timbasis. Den tidsupplösta marginalproduktionen görs sedan om till en "marginalmix" för olika utomhustemperaturer. Utomhustemperaturen används då effektbehovet i fjärrvärmenät korrelerar bra mot utomhustemperaturen. Den produktionsanläggning som har högst rörlig kostnad den aktuella timmen antas vara marginalproduktionen för den timmen. När varje timme under tidsperioden har tilldelats en marginalproduktion så kan ett miljövärde beräknas [20].

Alla fjärrvärmesystem är olika då lokala förutsättningar påverkar systemets utformning. Det finns därför tre olika "typsystem" definierade i tidstegen. Det första systemet är ett litet fjärrvärmesystem där produktionsenheterna uteslutande använder biobaserade bränslen och det finns ingen kraftvärmeproduktion eller värmepumpar i produktionsmixen. Nästa system är ett medelstort system där produktionen domineras av avfallsbaserad kraftvärmeproduktion, biobränslen och fossila bränslen. Det tredje systemet är ett stort fjärrvärmesystem där produktionen domineras av avfallsbaserad kraftvärmeproduktion, fossila bränslen och biobränslen samt en stor andel värmepumpar [20,21].

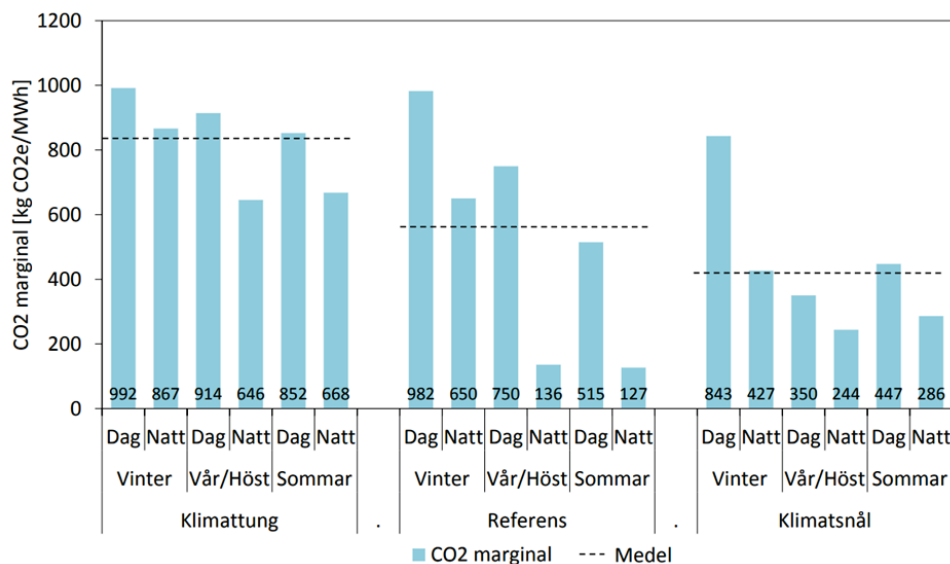
Metoden för att miljöbedömning av en förändring av elanvändning är också baserat på en konsekvensanalys men uppdelat på kort och lång sikt. Den marginalproduktion som påverkas i elsystemet ur ett kortsiktigt perspektiv är i regel den tillgängliga elproduktion med den högsta rörliga produktionskostnaden. Från ett långsiktigt dynamiskt perspektiv kan emellertid en förändrad elanvändning också påverka vilken typ av investeringar som sker i ny produktion i systemet. Konsekvensen av en förändrad elanvändning är i många fall komplex och en kombination av kort- och långsiktiga konsekvenser. För att göra frågan ännu mer komplex så är det svenska elsystemet integrerat med övriga Norden och Europa och ett gemensamt nordeuropeiskt elsystem antas i beräkningarna [21].

Tidstegen använder tre olika scenarion för att beräkna klimatutsläpp från elanvändning. Som referens används ett scenario som i hög utsträckning baseras på Nordisk Energiforsknings och International Energy Agency's projekt Nordic Energy Technology Perspectives 2016 [22].

Utifrån detta grundscenario görs mindre variationer i tre antagna scenarioförutsättningar för att generera skillnader i systemets marginalproduktion. Scenarioförutsättningarna skiljer sig åt på några punkter vilket får konsekvenser för marginalproduktionen. De tre scenariovariationerna benämns klimattungt scenario, referensscenario och klimatsnålt scenario [21]. De tre olika scenarierna förklaras närmare nedan:

- I det klimattunga scenariot antas investeringar i förnybar kraftproduktion ske tack vare politiska styrmedel vilka kvoterar in teknikerna i syfte att uppfylla politiska mål.
- I referensscenario antas investeringar i förnybar kraftproduktion ske på egen kraft med stöd av ökande kostnader för CO₂-utsläpp under perioden.
- I det klimatsnåla scenario antas investeringar i förnybar kraftproduktion ske på egen kraft med stöd av kostnader för CO₂-utsläpp som under perioden ökar kraftigare än i referensscenario. År 2040 antas det nordiska elsystemet i det närmaste helt ha fasat ut fossila bränslen.

Den metod som används i Tidstegen resulterar i att utsläppsfaktorn för el (men också för fjärrvärme) varierar mellan årstid och tid på dygnet. Detta i sin tur medför att det blir en skillnad i utsläppsmängd mellan samma mängd använd el och producerad el på årsbasis då tid på år och dygn varierar mellan användning och producerad el. Det medför också specifikt att producerad solcellsel har ett väsentligt koldioxid-värde då alla scenarion i Tidstegen har relativt höga utsläpp över hela året men att det varierar framförallt beroende på tid på dygnet. Figur 3 visar emissionsfaktorer för marginalet per tidssteg över tidsperioden (2020-2040) [21].

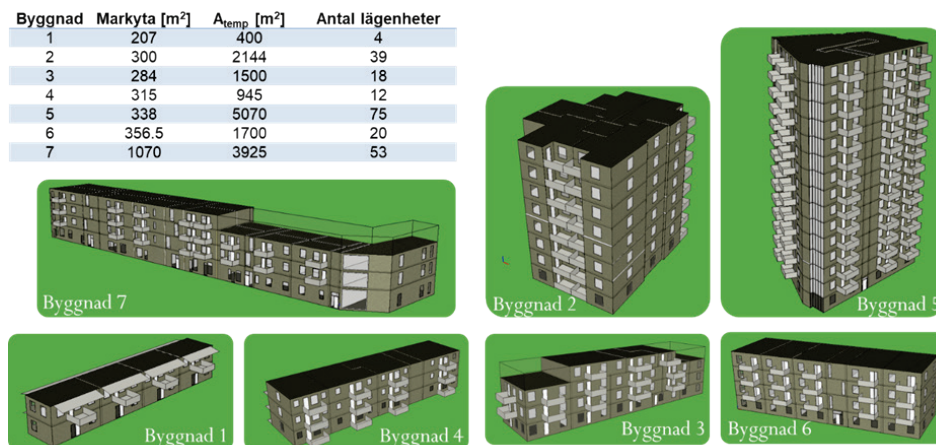


Figur 3: Emissionsfaktorer för marginalet för respektive scenario och per tidssteg. Streckade linjer visar medelvärdet på elmarginalens klimatpåverkan beräknad över alla tidssteg och hela tidsperioden på 20 år [21].

3 Metod och grundläggande datahantering

3.1 SIMULERING AV BYGGNADERNAS ENERGIANVÄNDNING OCH SOLELPRODUKTION

För att kunna uppskatta en framtida bebyggelse på området Näringen så identifierades 7 olika nybyggda fastigheter i Gävle med olika byggnadskarakteristik, dvs. längd, bredd och höjd. Orsaken till att nybyggda hus valdes var att få referenser från faktiska byggnader nära inpå byggstart av etapp 1 på Näringen. Dessa byggnader simulerades i programmet IDA-ICE där originalstrukturen på byggnaden med de olika lägenheternas storlek behölls intakt men att klimatskalet ändrades för att erhålla U_m -värden på 0,4; 0,3; 0,2; 0,15 och 0,1. U_m -värdet är en genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för en byggnad där de olika bygghedernas värmeegenskaper viktas till ett medelvärde. De olika byggnaderna som simulerats presenteras i Figur 4.



Figur 4: De simulerade byggnaderna med grundläggande information om markyta, A_{temp} samt antalet lägenheter.

Markytan på de olika byggnaderna är intressant utifrån att det också är begränsande för den takyta som kan användas för solelproduktion. Är det ett platt tak så motsvarar tillgänglig yta för montage av solceller markytan. Om ett vinklat tak används så blir potentiell takyta större men med ett sadeltak så blir riktningen på vardera takyta speglad vilket kan påverka solelproduktionen.

När byggnaderna simulerades med olika U_m -värdena så användes konstant U -värden för fönster ($U=0,8$) och ytterdörrar ($U=0,7$). De olika U_m -värdena skapades genom funktionen "overall factor" i IDA-ICE. Funktionen anpassar ytterkonstruktionen, det vill säga ytterväggar, tak och golv mot mark för att uppnå angivet U_m -värde på hela ytterskalet inklusive fönster och dörrar. Klimatdata för Gävle laddades ner från Sveby, "Klimatdatafiler SvebySMHI 1981-2010" [23] och simuleringarna i IDA-ICE gjordes med vindprofilen Urban miljö. För samtliga lägenheter antogs ett börvärde för inomhustemperaturen till 21°C.

I tabell 1 presenteras de ingående parametrarna för byggnadssimuleringarna. Alla byggnader simulerades med platta tak och eventuell termisk påverkan från solcellsmodulerna har negligerats.

Tabell 1: Ingående parametrar för byggnadssimuleringarna.

Ingående parametrar i simulering	
Fastighetsel	10 kWh/m ² A _{temp}
Hushållsel	20 kWh/m ² A _{temp}
Tappvarmvatten	25 kWh/m ² A _{temp}
Ventilationsflöde	0,35 l/s,m ²
Luftläckage	0,35 l/s,m ² vid 50 Pa
Verkningsgrad VVX ventilation	85%
Personvärme	0,765 MET

För simuleringar med gråvattenvärmeväxlare används en verkningsgrad på 15%. För simuleringar med bergvärmepump användes två olika SCOP-värden (Seasonal Coefficient of Performance). Det ena SCOP-värdet är 2,57 vilket är kvoten mellan viktningfaktorererna för el och fjärrvärme i BBR. Denna SCOP-faktor valdes för att ge en teknikneutral uppvärmningsform vid beräkning av byggnadernas primärenergifaktor. Utöver den teknikneutrala SCOP-faktorn användes också en högre SCOP-faktor med värdet 3,5.

Solcellsberäkningarna har utgått från att taket används för solcellsinstallationer men kompletterande uppskattningar är gjorda för om fasader också används för solexproduktion. För byggnaderna har två olika typer av takalternativ använts. Först ett sadeltak i längsled med en lutning av 30 grader. Det har också simulerats ett alternativ där taket lutas i en riktning längsled, lutningen är även här 30 grader. Detta för att se hur mycket solexproduktion som kan produceras från byggnaden om möjlig takyta mot söder maximeras och installationen därmed blir liknande de som är gjorda på Brf. Viva i Göteborg, se Figur 2. När fastigheten har ett sadeltak antas solcellsanläggningens storlek vara 40% jämfört med enkelriktade taket. Samtliga solcellsinstallationer är designade i mjukvaran Solar Edge Design och modulerna som använts är 370 W_p monokristallina med standardformat (ca 1,7 m²).

Därefter simulerades årliga solexproduktionen i Winsun, ett simuleringsprogram framtaget av Högskolan i Gävle som använder uppmätt solinstrålning (global och diffus) samt utomhustemperatur för att beräkna solexproduktion över ett år på timbasis. I beräkningarna så antas solcellsanläggningarna vara oskuggade samt med en horisontavskärmning på 10 grader, det vill säga ingen direkt solinstrålning antas innan solen når 10 grader över horisonten. Se tabell 2 för installerad effekt och årlig solexproduktion för de olika fastigheterna med både enkelriktat- och sadeltak.

Tabell 2: Installerad topp effekt och årlig elproduktion för solcellsanläggningarna på de olika fastigheterna med både enkelriktat tak och sadeltak.

Fastighet	Enkelriktat tak		Sadeltak	
	Toppeffekt [kW _p]	Elproduktion [MWh/år]	Toppeffekt [kW _p]	Elproduktion [MWh/år]
Byggnad 1	46,6	41,7	18,6	16,5
Byggnad 2	62,2	55,7	24,9	22,0
Byggnad 3	93,6	83,8	37,4	33,1
Byggnad 4	73,3	65,6	29,3	25,9
Byggnad 5	72,2	64,6	28,9	25,6
Byggnad 6	93,2	83,5	37,3	33,0
Byggnad 7	199,8	178,9	79,9	70,7

Då solelproduktion från fasadmonterade solcellsanläggningar är svåra att uppskatta och beror på en mängd okända faktorer så görs en grov uppskattning på möjlig solelproduktion. Ett antagande görs att bara punkthusen är lämpliga för fasadmonterade solcellsanläggningar och att byggnad två producerar lika mycket el från fasaden som om hela taket utnyttjas för solelproduktion. För byggnad 5 så antas att en fasadmonterad solcellsanläggning kan producera det dubbla jämfört med elproduktionen om hela taket används för solelproduktion.

Alla Energisimuleringarna inklusive simuleringar för solelproduktion är utförda från -90 till 90 grader azimuts med 15 graders förskjutning. Detta för att kunna anta en bebyggelse i de olika delområdena på Näringen och göra beräkningar för hela bostadsområdet. För solenergiberäkningarna så antas solceller sitta på en sida vid ett sadeltak även om montage på båda sidorna av taket kan vara intressant när byggnaden närmar sig öst/väst takriktning.

Simuleringarna av fastigheternas energianvändning och solelproduktion finns närmare beskrivet i ett examensarbete av P.B. Wik (2020) [24]. Där finns också en bredare analys gjord för hur restprodukter som till exempel fekalier och avfall påverkar områdets energibalans beroende på hur systemgränser antas.

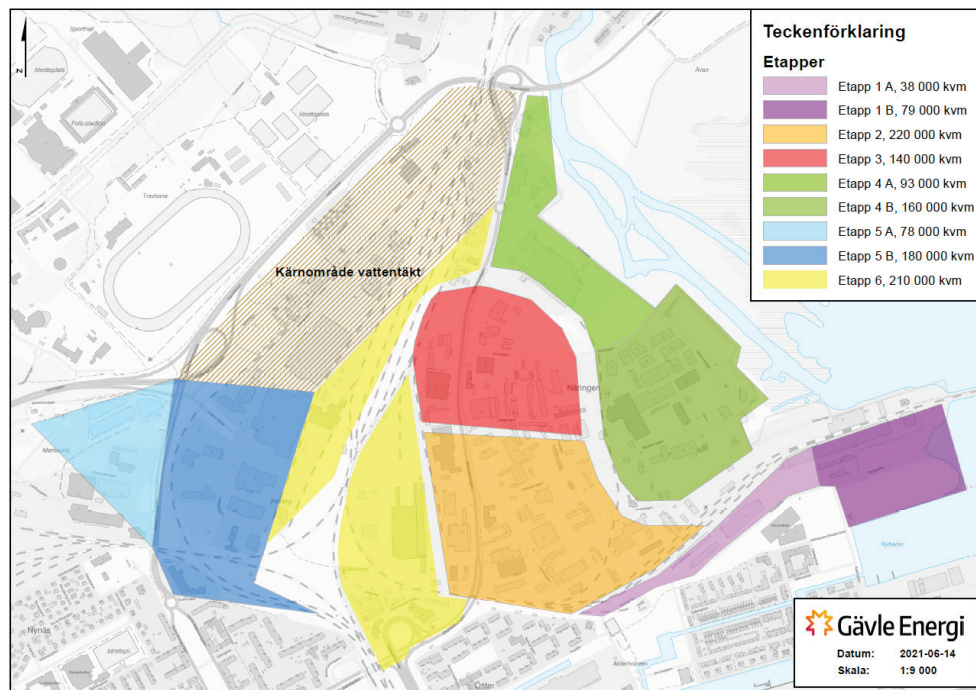
3.2 PLACERING AV BYGGNADER I NÄRINGENS OLIKA ETAPPER

För att få en bebyggelse att analysera i det framtida bostadsområdet Näringen så placerades de simulerade referensbyggnaderna ut i de olika etapperna. Antalet planerade lägenheter är beskrivet för de olika etapperna men den prioriterade bebyggelsen, det vill säga om höga punkthus eller en större andel lägre byggnader är prioriterade är inte angivet i offentligt material. För att få en större förståelse för hur stadsbilden kommer att bli i området så diskuterades frågan både med representanter från kommunen men också expertis inom området på Högskolan i Gävle. Då sträckningen av järnvägen i området Näringen har varit osäker under projektets gång så har den negligerats i diskussionerna.

Vid diskussionerna med Gävle kommun och Högskolan i Gävle så framkom det tydligt att Näringen kommer att delas av en vältrafikerad väg och att man bör tänka på att använda byggnader som "bullerskydd" mot vägen, därför placerades längre, lite högre byggnader längs med vägen i etapp 2 och 3. Det framkom också att så kallade punkthus är prioriterade (byggnad 2 och 5), framförallt närmast järnvägsstationen. Det är också de områdena där tätheten för boende är högst.

Längst från centrum kommer således tätheten vara som lägst men också de minsta byggnaderna att användas.

För att enklare se skillnader mellan olika områden med olika byggnadstyper, så delades etapp 1, 4 och 5 i två delar med tilläggsbenämningen a och b. En ny etappindelning presenteras i Figur 5. Andelen av de olika byggnaderna i vardera etapp samt totala ytan i varje etapp presenteras i Tabell 3.



Figur 5: Den modifierad etappindelning för området Näringen. Bilden är publicerad med tillstånd av Gävle Energi AB.

Tabell 3: De olika etapperna i området Näringen med antal och typ av bostäder samt total markyta på vardera etapp.

Etapp	Typbyggnader	Total area [m ²]
Etapp 1 A	11st Byggnad 3, 8st Byggnad 6	38.000
Etapp 1 B	36 st Byggnad 1	79.000
Etapp 2	6st Byggnad 2, 17 st Byggnad 5, 15 st Byggnad 7	220.000
Etapp 3	6st Byggnad 2, 8st Byggnad 5, 9st Byggnad 7	140.000
Etapp 4 A	30 st Byggnad 1	93.000
Etapp 4 B	21st Byggnad 1, 58st Byggnad 3	160.000
Etapp 5 A	14st Byggnad 1	78.000
Etapp 5 B	26st Byggnad 1, 28st Byggnad 4, 2st Byggnad 7	180.000
Etapp 6	28st Byggnad 3	500.000

3.3 UTSLÄPPSFAKTORER CO₂-EKVIVALENTER/KG

För att beräkna utsläppsfaktorer används Tidsstegen framtagna av IVL. Beräkningar med hjälp av Tidsstegen görs online [25] och verktyget beräknar förändringar i koldioxidutsläpp från förändrad energianvändning över året med data på timbasis. De simulerade byggnaderna som används som referens i denna

rapport är också simulerade på timbasis men för att få mer lätthanterliga datamängder så beräknades utsläppsfaktorer på årsbasis för använd värme, använd el och exporterad el för byggnaderna 1, 5 och 7. Detta gjordes för olika U_m -värden och om uppvärmningen gjordes med värmepump (el) eller fjärrvärme. När fjärrvärmen analyserades så användes alla tre typfjärrvärmenäten och när el analyserades så undersöktes utsläppsfaktorerna för alla tre scenariona. Den minsta och största utsläppsfaktorn för uppvärmning och elanvändning och exporterad el presenteras i Tabell 4. Vid beräkning av exporterad el antogs att solcellsanläggningen installeras på hela taket.

Tabell 4: Största och minsta utsläppsfaktorer enligt tidsstegen för byggnad 1, 5 och 7 när olika uppvärmning och olika scenarion för använd och exporterad el analyseras.

[gCO _{2ekv} /kg]	Min	Max
Uppvärmning med fjärrvärme	16	240
Uppvärmning med värmepump	595	885
Elanvändning (fastighetsel + hushållsel)	545	865
Exporterad el, fjärrvärme uppvärmning	510	880
Exporterad el, VP uppvärmning	510	885

Utsläppsfaktorerna som beräknas i Tidsstegen varierar mellan scenarierna. Speciellt utsläppsfaktorerna för fjärrvärme varierar med en faktor 15. Däremot så blir kvoten mellan lägsta utsläppsfaktorn för elanvändning och högsta utsläppsfaktorn för fjärrvärme knappt 2,5. Exporterad el från solcellssystem kan också antas ha ungefär samma utsläppsfaktor som använd el.

3.4 BYGGNADERNAS PRIMÄRENERGITAL

Beräkningen av byggnadernas primärenergital styrs av aktuell version av BBR. Primärenergitalet har förändrats något sen tidigare versioner och istället för primärenergifaktorer används viktningsstal. Förövrigt är beräkningsgången densamma. Det maximalt tillåtna primärenergitalet för flerbostadshus är 75 kWh/m² A_{temp} och år. [2].

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) * VF, i}{A_{temp}}$$

Där

- E_{uppv} = Köpt energi för uppvärmning [kWh/år]
- E_{kyl} = Köpt energi för komfortkyla [kWh/år]
- E_{tvv} = Köpt energi för tappvarmvatten [kWh/år]
- E_f = Köpt fastighetsel [kWh/år]
- VF = Viktningsfaktor [-]
- F_{geo} = Geografisk justeringsfaktor [-]
- A_{temp} = Areal för utrymmen avsedda att värmas till mer än 10°C [m²]

Primärenergitalet baseras på "köpt" energi vilket innebär att solcellsproducerad el som exporteras till elnätet inte tas med i beräkningen. Detsamma gäller om annat energislag skulle exporteras utanför systemgränsen, det vill säga utanför fastighetsgränsen. Den geografiska korrigeringsfaktorn varierar i Sverige men är för Gävle = 1,1. Viktningsfaktorn för fjärrvärme = 0,7 och för el = 1,8.

3.5 WORKSHOP KLIMATNEUTRALA BOSTADSOMRÅDEN

För att få mer information om hur kommuner planerar för ny bebyggelse med höga klimatambitioner så anordnades en mindre workshop-serie för de deltagande kommunerna i regeringens satsning hållbara stadsdelar och städer. För att erhålla en bra dialog eftersträvades en mindre gruppering och bara de tre kommuner som har signerat avtal med regeringen bjöds in, dvs. Gävle-, Knivsta- och Uppsala kommun. Varje kommun erbjöds att delta med tre representanter från olika verksamhetsområden och workshopen bestod av två tillfällen om vardera tre timmar. Sista punkten i agendan för workshop 1 fick flyttas över till workshop 2 på grund av tidsbrist. Agendorna för Workshop 1 respektive workshop 2 presenteras nedan:

Workshop 1:

- Problematisering av begreppet klimatneutralitet (presentation)
- Diskussion kring vad är klimatneutralitet?
- Vad är utmaningarna med klimatneutralitet för ett energibolag? (presentation)
- Hur jobbar kommunerna med innovativa lösningar och vilken innovation krävs för att uppnå en klimatneutralitet?

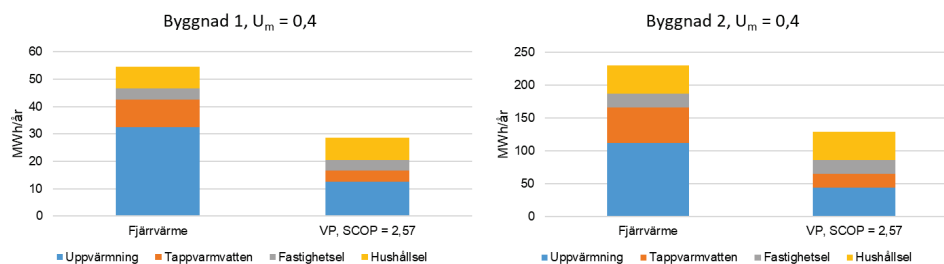
Workshop 2:

- Hur jobbar kommunerna med innovativa lösningar och vilken innovation krävs för att uppnå en klimatneutralitet? (kommunerna presenterade)
- Fortsatt diskussion kring klimatneutralitet
- Presentation av resultat från projektet och vilka systemgränser samt utsläppsfaktorer på el och fjärrvärme som använts i beräkningarna. Efter presentationen fortsatte diskussionen kring frågan
- Problematisering fjärrvärme och värmepumpar, är det verkligen antingen eller? När bör man använda vardera teknik och när kan de samverka?

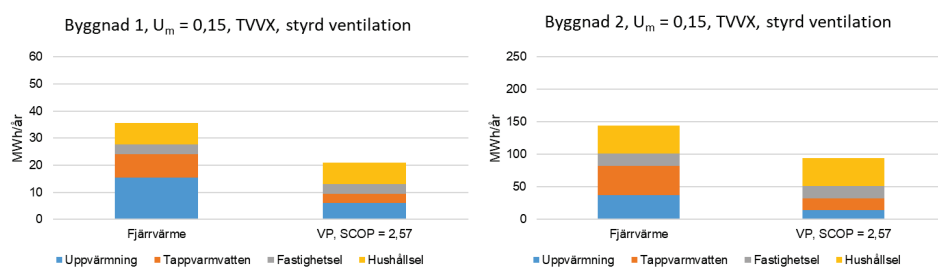
4 Resultat

4.1 ENERGIANVÄNDNING I SIMULERADE BYGGNADER

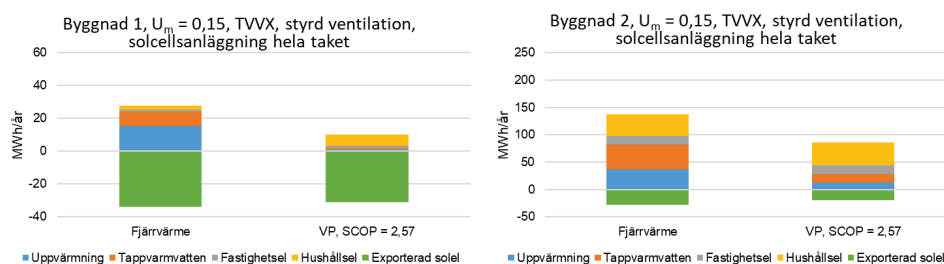
För att påvisa skillnader i energianvändning mellan byggnaderna så presenteras i Figur 6 till Figur 8 energianvändningen och exporterad el för två av byggnaderna, Byggnad 1 och 2. Valet av just dessa byggnader beror på att byggnad 1 är en låg fastighet med relativt stor takyta jämfört med antalet lägenheter. Byggnad 2 är ett så kallat punkthus med en låg markyta och ett flertal våningsplan. Byggnaderna presenteras med ett U_m -värde på 0,4 och 0,15 samt om avloppsvärmeväxlare och behovsstyrd ventilation används. Byggnaderna presenterar också med solcellproduktion där en solcellsanläggning installeras på hela taket. En mer utförlig analys av energianvändning och elproduktion för olika byggnader finns beskrivet i ett examensarbete av P.B. Wik (2020) [24]. Notera att skalorna i diagrammen för byggnad 1 och 2 skiljer sig åt men att det är samma skala i figurernas "kolumn".



Figur 6: Energianvändningen för byggnad 1 och 2 när $U_m = 0,4$



Figur 7: Energianvändningen för byggnad 1 och 2 när $U_m = 0,15$, det finns en tappvarmvattenvärmeväxlare installerad samt behovsstyrd ventilationen.



Figur 8: Energianvändningen för byggnad 1 och 2, $U_m = 0,15$, med tappvarmvattenvärmeväxlare och behovsstyrd ventilationen samt en solcellsanläggning på hela taket.

Figur 6 och 7 visar att det är stora skillnader i uppvärmningsbehov beroende på U_m -värdet samt om avloppsvärmeväxlare och behovsstyrd ventilation används. Figurerna visar också att fastighetsel och hushållsel blir en relativt stor del av energianvändningen i fastigheten när uppvärmningsbehovet minskas. Figur 8 visar att byggnad 1 med sin stora takyta jämfört med antalet lägenheter producerar mer el än den energi som används i fastigheten. Byggnad 2 med sin relativt låga takyta jämfört med antalet lägenheter producerar enbart en mindre del av den totala energianvändningen i fastigheten. Mängden exporterad el är beräknat på timbasis och summerat över året. Det medför att det blir en stor andel exporterad el från solcellsanläggningarna.

4.2 PRIMÄRENERGITAL FÖR SIMULERADE BYGGNADER

Vid jämförelse av primärenergitalet för olika byggnader presenteras i tabell 5 och 6 primärenergitalet för byggnad 1, 2 och 6. Byggnad 6 adderas i primärenergianalysen jämfört med resultaten i kapitel 4.1. Orsaken till det är att bredda primärenergianalysen till att även innefatta en större byggnad med en relativt stor takyta i förhållande till elanvändning. Med en större byggnad avses i jämförelse med byggnad 1.

Primärenergitalet presenteras när uppvärmningen sker både med fjärrvärme och med värmepump, för den senare när SCOP-värdet är 2,57 eller 3,5. Fastighetens U_m -värde varierades mellan 0,3 (tabell 4) och 0,15 (tabell 5), ventilationen antogs vara behovsstyrd. För U_m -värde 0,15 antogs också en tappvarmvattenvärmeväxlare i fastigheten. För att visa hur en solcellsanläggning påverkar primärenergitalet simulerades också en solcellsanläggning på ett sadeltak på vardera fastighet.

Tabell 5: Primärenergitalet för byggnad 1,2 och 6 när fjärrvärme eller värmepump används för uppvärmning samt om U_m -värdet = 0,3 och en solcellsanläggning installeras på ett sadeltak.

	$U_m = 0,3$			$U_m = 0,3$ med solcellsanläggning		
	Fjärrvärme	VP SCOP=2,57	VP SCOP=3,5	Fjärrvärme	VP SCOP=2,57	VP SCOP=3,5
Byggnad 1	74,1	74,1	58,7	67,6	61,7	47,6
Byggnad 2	58,4	58,4	47,7	52,3	46,0	36,3
Byggnad 6	59,5	59,5	47,7	54,2	48,4	38,0

Tabell 6: Primärenergitalet för byggnad 1,2 och 6 när fjärrvärme eller värmepump används för uppvärmning samt om U_m -värdet = 0,15 och en solcellsanläggning installeras på ett sadeltak.

	$U_m = 0,15$			$U_m = 0,15$ med solcellsanläggning		
	Fjärrvärme	VP SCOP=2,57	VP SCOP=3,5	Fjärrvärme	VP SCOP=2,57	VP SCOP=3,5
Byggnad 1	54,3	54,3	44,2	47,8	42,1	33,2
Byggnad 2	45,2	45,2	38,0	39,1	34,8	28,5
Byggnad 6	43,8	43,8	36,2	38,6	34,9	28,1

Vid användande av den teknikneutrala SCOP-faktorn på 2,57 (1,8/0,7) så erhålls samma primärenergifaktor för fastigheter som värms med fjärrvärme eller med värmepump. Vid en högre SCOP-faktor fås en lägre primärenergifaktor. En intressant iakttagelse är att den teknikneutrala SCOP-faktorn "inte" är teknikneutral när en fastighet har en solcellsanläggning installerad. Värmepumpen ger fastigheten en högre elanvändning vilket ger en högre egenanvändning av producerad el. Det i sin tur minskar mängden köpt el och primärenergifaktorn blir

därmed lägre än om fastigheten hade värmts med fjärrvärme. Det medför att en fastighet med samma uppvärmningsbehov och elproduktion får olika primärenergifaktorer vid uppvärmning med fjärrvärme eller med en värmepump.

4.3 ENERGIANVÄNDNING OCH CO₂-UTSLÄPP FÖR NÄRINGENS OLIKA ETAPPER

När de olika byggnaderna sammanförs till de olika fiktiva etapperna på området Näringen så presenteras i tabell 7 och 8 kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis samt nettoexporterad el på årsbasis när värmepumpar med de olika SCOP-faktorerna används. Den totala användningen av fjärrvärme, el samt exporterad el för de olika fallen presenterade i tabell 11 till 13 i bilaga A.

Tabell 7: Presenterar kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis samt nettoexporterad el på årsbasis när värmepumpar används. Fastigheterna har solceller på hela taket och enheten är MWh.

[MWh]	Solceller helt tak	Värmepump SCOP = 2,57	Värmepump SCOP = 3,5
Etapp	Fjärrvärme/(export-användning)	Export-användning	Export-användning
1A	2,8	-89	55
1B	1,0	179	348
2	-	-3995	-3346
3	-	-2147	-1774
4A	1,5	596	1003
4B	1,0	149	290
5A	1,5	334	642
5B	1,0	70	135
6	2,2	-54	155
Total	4,2	-4385	-1910

Tabell 8: Presenterar kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis samt nettoexporterad el på årsbasis när värmepumpar används. Fastigheterna har solceller på sadeltak och enheten är MWh.

[MWh]	Solceller brutet tak	Värmepump SCOP = 2,57	Värmepump SCOP = 3,5
Etapp	Fjärrvärme/(export-användning)	Export-användning	Export-användning
1A	-	-962	-824
1B	14,9	-288	-199
2	-	-6044	-5420
3	-	-3384	-3025
4A	-	-1810	-1448
4B	14,9	-240	-166
5A	-	-1128	-873
5B	14,9	-112	-78
6	-	-1348	-1148
Total	-	-13564	-11360

Resultaten visar att det är fullt möjligt att bygga ett bostadsområde med klimatneutral energianvändning om klimatneutraliteten definieras som nettonollutsläpp av koldioxid. För att klara klimatneutraliteten behöver fastigheterna producera mer el än vad som används internt och om fjärrvärme används för uppvärmning behöver nettoexporterad el på årsbasis kompensera koldioxidutsläppen för fjärrvärmeproduktionen.

Tabell 7 visar att om fastigheterna har solceller installerade på hela taket och om fjärrvärme används för uppvärmning så behöver utsläppsfaktorn för fjärrvärme

vara minst 4,2 gånger lägre än för el för att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp på områdesnivå. Om fjärrvärmesystemet är baserat på främst biobränslen blir utsläppsfaktorn för fjärrvärme så låg att klimatneutraliteten klaras oavsett vilket scenario som antas för utvecklingen för elsystemet. Används värmepumpar för uppvärmning så klarar inte solcellssystemen på taket att leverera tillräcklig mängd el för att få en klimatneutral energianvändning på områdesbasis.

Om fastigheterna installerar solcellsanläggningar på sadeltak så klarar inget av alternativen att uppnå en klimatneutralitet på områdesbasis (Tabell 8).

I tidigare tabeller har alla fastigheter varit vinklade mot söder för maximal solexproduktion. Om varannan fastighet är vänd 45° respektive -45° från söderläge så påverkad energianvändningen för uppvärmning något men den minskade solexproduktionen gör att utsläppsfaktorn för fjärrvärme behöver vara minst 6,9 gånger lägre än för el för att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp på områdesnivå. När värmepumpar används blir elanvändningen betydligt högre än elexporten, se tabell 9.

Tabell 9: Presenterar kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis samt nettoexporterad el på årsbasis när värmepumpar används. Fastigheterna är vinklade 45° respektive -45° från söderläge och har solceller installerade på hela taket. Enheten är MWh.

[MWh]	Solceller helt tak	Värmepump SCOP = 2,57	Värmepump SCOP = 3,5
Ettapp	Fjärrvärme/(export-användning)	Export-användning	Export-användning
1A	3,4	-176	-32
1B	1,1	100	268
2	-	-4198	-3550
3	-	-2272	-1899
4A	1,6	350	757
4B	1,2	83	224
5A	1,7	114	422
5B	1,2	39	104
6	2,9	-181	27
Total	6,9	-6141	-3679

Om däremot punkthusen (fastighet 2 och 5) antas installera fasadmonterade solcellsanläggningar så går det att uppnå en högre elproduktion än elanvändning på områdesbasis när värmepumpar om en SCOP-faktor = 3,5 används. Det går därmed att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp om en effektiv värmepump används, se Tabell 10. Tabell 10 visar också att kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis sjunker till 2,5 vilket innebär att utsläppsfaktorn för fjärrvärme behöver vara minst 2,5 gånger lägre än för el för att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp på områdesnivå.

Tabell 10: Presenterar kvoten mellan fjärrvärmeanvändning och nettoexporterad el på årsbasis samt nettoexporterad el på årsbasis när värmepumpar används. Fastigheterna har solceller på helt tak men utnyttjar också fasaderna på punkthusen. Enheten är MWh.

[MWh]	Solceller helt tak + fasad	Värmepump SCOP = 2,57	Värmepump SCOP = 3,5
Ettapp	Fjärrvärme/(export-användning)	Export-användning	Export-användning
1A	2,8	-89	55
1B	1,0	179	348
2	13,1	-1798	-1150
3	6,5	-780	-406
4A	1,5	596	1003
4B	1,0	149	290
5A	1,5	334	642
5B	1,0	70	135
6	2,2	-54	155
Total	2,5	-1393	1073

4.4 WORKSHOPS KLIMATNEUTRALA BOSTADSOMRÅDEN

Syftet med genomförda workshops i projektet var inte att komma fram till några konkreta resultat eller slutsatser. Dock presenteras de två huvudsakliga diskussionsområdena där deltagarna ser stora utmaningar inför framtidens bostadsbyggande.

- Vad är klimatneutralitet på områdesbasis och hur jobbar kommunerna med klimatneutralitet?
- Hur jobbar kommunerna med innovationer inom energiområdet och bostadsbyggandet?

4.4.1 Vad är klimatneutralitet på områdesbasis och hur jobbar kommunerna med klimatneutralitet?

I avtalet mellan regeringen och de deltagande kommunerna så ska det finnas en plan för klimatneutral energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå. Då alla bostadsområden där avtal skrivits med staten inom ramen för "Utredningen för att samordna större samlade exploateringar med hållbart byggande (N2016:G) är i utrednings- och förstudiefas finns inga planer för klimatneutralitet på områdesbasis presenterade. Vid diskussionerna så framkom dock att alla tre kommuner har framtagna kommunövergripande klimatstrategier i olika former.

De olika klimatstrategierna skiljer sig dock åt på olika sätt, till exempel så har Uppsala kommun en framtagen strategi (klimatfärdplan) att bli klimatpositiv [26]. Gävle kommun har en klimatstrategi ute på remiss (till 2021-03-31) som baseras på genomförandet av Miljöstrategiska programmet 2.0 [27]. Här skiljer sig dock Gävle från de andra deltagande kommunerna genom att Gävle kommun också ska räkna med konsumtionsbaserade utsläpp i neutraliteten.

Knivsta kommun har inte en kommunövergripande klimatstrategi (ännu). Det finns dock en Översiktsplan för kommunen där det fastslås att Sveriges 16 miljö kvalitetsmål skall fungera som vägledning för att arbeta för en ekologiskt hållbar samhällsutveckling [28]. Knivsta kommun har också tagit fram en Stadsutvecklingsstrategi som framförallt avser områdena Västra Knivsta och

Alsike [29]. I Stadsutvecklingsstrategin finns ett kapitel med temaområde "Energi och klimat" som refererar till avtalet med regeringen inom samarbete för ett ökat bostadsbyggande och hållbar stadsutveckling och en klimatneutral energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå. Stadsutvecklingsstrategin refererar också till en koldioxidbudget som är framtagna i kommunen där utsläppsmålet för att uppnå FN:s 2 °C-mål innebär att kommunen måste minska sina koldioxidutsläpp med 16,4 procent årligen fram till 2040.

Gävle kommun och Uppsala län har också framtagna koldioxidbudgetar men de lyfts inte fram på samma sätt i kommunens mål och strategier som i Knivsta kommun [30]. Koldioxidbudgeten baseras på territoriella utsläpp men utsläpp från internationella flygresor med en kompensation för utsläpp på hög höjd är också medräknade. Det gör att beräkningsmodellen skiljer sig från övriga diskuterade beräkningsmodeller i rapporten [30,31].

Något som dock är gemensamt för alla tre kommuner är att inga beräkningsmodeller har presenterats för hur man faktiskt ska kunna verifiera en klimatneutralitet eller netto-noll koldioxidutsläpp genom beräkningar. Koldioxidbudgeten är ett verktyg som skulle kunna fungera men den kopplingen finns inte uttalad hos någon av de deltagande kommunernas strategier.

4.4.2 Hur jobbar kommunerna med innovationer inom energiområdet och bostadsbyggandet?

I avtalet med regeringen så finns för alla tre kommuner en rubrik "Användandet av innovativa lösningar". Under förutsättning att det införs ett statligt innovationsstöd till nya stadsdelar och tätorter så ska fler innovativa lösningar, såväl tekniska som sociala, användas i exploateringarna.

Att jobba med innovationer är egentligen inget nytt för kommuner. Dock har ingen av de deltagande kommunerna satt en organisation för innovationsledning av större stadsplaneringsprojekt. Däremot så deltar de olika kommunerna i olika nätverk och projekt där kommunerna kan ta del av olika innovationer och "nytänk" inom området. Ett bra exempel på en enskild genomförd innovation är Knivstas arbete med passivhus där kommunens alla större fastigheter byggs enligt passivhusstandard. Det innovativa är samverkansmodellen där ny teknik och "nytänk" kan lyftas in sent i projekten utan större ekonomiska påslag i projekten [32].

Uppsala kommun har en lång tradition av innovationer och närheten till Uppsalas Universitet är naturligtvis en orsak. Ett exempel är Stuns som är ett samarbete mellan universiteten i Uppsala, näringslivet och offentliga organisationer och ska bidra till en hållbar tillväxt i Uppsalaregionen. Här pågår det en hel del forskning och utveckling och ett exempel inom energiområdet är styrning och flexibilitet för elanvändare, till exempel värmepumpar. Tekniken testas i en testbäddmiljö där tjänster och affärsmodeller prövas i ett brett systemperspektiv.

Ingen av kommunerna har egentligen avsatta medel för att genomföra egna innovationsprojekt utan det behöver göras i samarbete med till exempel olika organisationer och stiftelser samt byggherrar och energibolag. Utmaningen är

framförallt att tillvarata de möjligheter som redan finns idag och omsätta dem i praktiken i större stadsomvandlingsprojekt.

På energiområdet skiljer sig kommunerna åt. Gävle kommun har ett kommunalägt energibolag, Gävle Energi, som aktivt deltar i diskussionerna kring innovativa energilösningar för området Näringen. Det saknas hos övriga kommuner även om naturligtvis privat ägda energibolag också kan delta i diskussionerna. Ett kommunalägt energibolag ger ett bra stöd och styrka i arbetet men kan också på grund av beroendet av en större aktör ses som sårbart.

4.4.3 Övriga diskussioner och punkter från workshops

Tätheten i bebyggelsen var en återkommande diskussionspunkt. Vid nya exploateringar eftersträvas ofta en tät bebyggelse. Med täthet i bebyggelsen menas primärt att det prioriteras fler lägenheter på en mindre byggyta vilket i sin tur oftast medför fastigheter med flera våningar prioriteras. Ska netto-noll utsläpp av koldioxid uppnås på områdesbasis med hjälp av fjärrvärme i kombination med solcellstekniken så kommer tätheten och möjligheten av solproduktion att behöva undersökas närmare.

5 Diskussion

5.1 KLIMATNEUTRALITET SOM BEGREPP OCH VIKTEN AV EN DEFINITION

Det används många olika begrepp inom energi- och miljöområdet där energi- och klimatprestanda bedöms. En del begrepp som till exempel byggnadens primärenergital är tydligt definierat i BBR. Andra begrepp som till exempel klimatneutralitet lämnar en hel del tolkningsutrymme. Just ordet klimatneutral används i mängder av olika sammanhang. Det kan vara i olika kommuners klimatplaner men begreppet används också i avtalen mellan regeringen och kommunerna i regeringens arbete med att samordna större samlade exploateringar och hållbart byggande.

I de workshops som genomförts inom projektet framkom det tydligt att de deltagande kommunernas klimatarbete saknar en tydlig definition av vad klimatneutralitet innebär eller hur det ska beräknas. Det i sin tur medför att den med regeringen avtalade planen för en klimatneutral energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå kommer att bli svår att definiera och beräkna och därmed också svår att uppfylla.

Svårigheterna med att definiera klimatneutralitet är beskrivet närmare i kapitel 2, bakgrund, och där förordas att nettoemissioner av koldioxid istället används som beräkningsmodell [8,9]. Beräkningsmodellen som används i denna rapport för att påvisa en klimatneutral energianvändning på områdesbasis efter regeringens val av begrepp är också en modell där nettonoll-utsläpp av koldioxid beräknas.

För att definiera en klimatneutralitet eller en nettonoll-beräkning av koldioxidutsläpp behöver tydliga systemgränser sättas och den energianvändning och produktion som sker inom området behöver tydligt definieras hur det påverkar klimatet. Vid uppförandet av enskilda byggnader eller bostadsområden så sätts begränsande faktorer tidigt i processen och inte bara vid själva byggandet av fastigheterna. Här kommer initiala planeringen av bostadsområdet med allt från utformningen av området till val av byggnadstyper påverka energianvändningen och möjligheten till lokal produktion av energi under lång tid framöver. Själva byggfasen av byggnaden och till exempel hur energieffektiv byggnaden är blir naturligtvis avgörande för energianvändningen över tid men även andra faktorer i förberedelserna inför byggande av områden är också viktiga.

Kommunerna har en viktig roll med den initiala utformningen av bostadsområden och fastigheter. Om strategiska dokument och planer saknar en genomarbetad analys vad som krävs för att uppfylla målen riskeras målen att missas. Att använda en otydlig definition som klimatneutralitet och egentligen helt sakna en analys för vad begreppet innebär gör att strategiska dokumenten och planerna kan bli kontraproduktiva och egentligen försvåra till exempel byggandet av en "klimatneutral" bebyggelse då byggnaden eller bostadsområdet inte ges rätt förutsättningar initialt för att kunna uppfylla målen.

5.2 ENERGIBALANS FÖR BYGGNADER OCH BOSTADSOMRÅDEN MED HÖG ANDEL LOKAL ELPRODUKTION

Byggnader kommer alltid att använda energi i olika former. För att minska mängden "köpt" energi kan lokal produktion av energi nyttjas. Finns det en infrastruktur som kan ta emot den energi som produceras som inte används lokalt så kan en "nettoplus" byggnad erhållas. Idag är den vanligaste lokala produktionen av energi el från solcellsanläggningar på till exempel fastighetens tak.

För att få en netto-noll energianvändning i bebyggelsen på områdesnivå så behöver, till skillnad från till exempel definitionen av byggnaders primärenergital i BBR, hushållselen räknas med innanför systemgränserna. När energisnåla fastigheter byggs med bra isolering och nyttjande av annan teknik för att minska byggnadens energianvändning blir lägenhetsinnehavarnas elanvändning och fastighetselens förhållandevis stor jämfört med övrig energianvändning i byggnaden.

Solceller behöver skuggfria miljöer för att producera el optimalt. Även om modern teknik som till exempel optimerare används för att minska produktionsförluster vid skuggning så bör solcellsanläggningar installeras på relativt skuggfria ytor. Det gör att tak på fastigheter oftast används för solcellsanläggningar då det är relativt billigt och enkelt att installera anläggningen men taken är också generellt bästa platsen att installera solcellsanläggningar för att minimera skuggningsproblematik. Fasader kan vara intressanta att montera solcellsanläggningar på men installationskostnaden är betydligt högre än motsvarande installation på tak samt att skuggningsrisken ökar från till exempel närliggande byggnader och träd.

Om en byggnads energianvändning ska kompenseras med produktion av lokal solel är byggnadens utformning viktig. Punkthus med en låg markyta (och tak) är svåra att kompensera med lokal solelproduktion då förhållandet mellan möjligheten att producera lokal solel och energianvändningen i byggnaden blir låg. Det faktum att en modern bebyggelse är relativt "tät" med nära avstånd mellan byggnader och en bebyggelse med flera våningsplan i snitt gör det svårt att kompensera byggnadens eller områdets energianvändning med lokal solelproduktion.

Det svenska klimatet med en relativt lång vinter gör solelproduktionen begränsad under delar av året. Om då också el används för uppvärmning skapas en hög användning av el vintertid och ska den elanvändningen kompenseras så medför det en hög produktion av el på sommaren då elanvändningen är låg. Problematiken är densamma för fastigheter även om inte el används för uppvärmning då årets sammanlagda elanvändning primärt ska kompenseras av elproduktion på sommaren. Resultaten i kapitel 4.3, Energianvändning och CO₂-utsläpp för Näringsens olika etapper, visar att närmare 18 GWh kommer att produceras ut på nätet inom området och att området kommer att agera som en solcellspark under delar av året.

En hög andel exporterad el kan ställa till med problem i elnätet. Då el exporteras från en fastighet så är lokala spänningen högre än omkringliggande spänning i elnätet. Om då alla fastigheter exporterar el blir spänningen i nätet som högst

längst från transformatorstationen då energiflödet och därmed spänningsförändringen på grund av kabelförluster blir det omvända. Detsamma gäller för en transformatorstation med en hög export av sol, spänningen blir högre än omkringliggande nät på grund av omvänd riktning på energiflödet. Detta kan vara viktigt att beakta då dagens elnät är anpassat för ett energiflöde från mottagningsstationerna från överliggande elnät vidare till transformatorstationer och ut till kunderna.

Energilager i form av batterier eller vätgas minskar problematiken genom att energi kan lagras och användas senare. Ett batterilager är främst avsett som ett dygnslager men ett vätgaslager kan vara mer säsongsbetonat. En intressant notering är dock att ett lager med sina omvandlingsförluster skapar en ökad elanvändning. Batterilager är relativt effektiva men att göra vätgas i en elektrolysör och sedan tillbaka till el igen är relativt ineffektivt men systemverkningsgraden kan bli högre om restvärmen används.

Ett energilager kan i en fastighet öka egenanvändningen av producerad sol vilket har ekonomiska fördelar. Förlusterna i energilagret ökar dock behovet av lokalt producerad el för att inte ge en negativ påverkan klimatberäkningarna. Dock så bör fördelarna ur energisystemsperspektiv beaktas. Energilager är idag svårt att motivera ekonomiskt men kostnadsutvecklingen för tekniken, lokala tekniska och ekonomiska fördelar av energilager samt möjligheterna med att agera på Svenska kraftnäts stödtjänstmarknad gör tekniken aktuell redan idag.

5.3 BOSTADSOMRÅDEN MED HÖG ANDEL LOKAL ELPRODUKTION OCH NETTO-NOLL KOLDIOXIDUTSLÄPP

Systemgränser och utsläppsfaktorer kan alltid diskuteras men beräkningarna och resultaten i denna rapport visar några intressanta och viktiga förhållanden.

Användandet av beräkningsmodellen Tidstegen visar att det med största sannolikhet kommer att vara en hel del fossila bränslen i nordeuropas elmix framöver och med ett marginalperspektiv på en förändring av elanvändning så kommer utsläppsfaktorn på el fortsatt vara hög. Även värme från fjärrvärmesystem kan ha höga utsläppsfaktorer om det finns fossila bränslen i produktionsmixen. Utsläppsfaktorn för fjärrvärme är dock generellt betydligt lägre än utsläppsfaktorn för el. Det medför att en fastighet måste producera mer el än vad som används i fastigheten för att erhålla en klimatneutral energianvändning. Hur mycket mer el som behöver produceras än vad som används är beroende på förhållandet mellan antagen utsläppsfaktor för el respektive fjärrvärme.

Det finns en tidsaspekt att ta hänsyn till för både el- och fjärrvärmehanvändning/produktion. Generellt används mer fossila bränslen för att producera värme och el vintertid vilket behöver tas hänsyn till vid tolkning av resultaten. Dock är emissionsfaktorerna för marginalet enligt Tidstegen relativt hög sommartid och dagtid vilket gör att resonemanget ovan håller som en tumregel men att tidsaspekten behöver tas med vid en noggrannare analys av en klimatneutral energianvändning på fastighets- eller områdesbasis.

Systemgränserna vid de olika beräkningarna är viktiga. I detta arbete har till exempel laddning av elfordon inte räknats med i en framtida elanvändning inom bostadsområdet. Detta motiveras med att fordonen kommer att användas utanför systemgränserna men det antagandet kan diskuteras då den faktiska elanvändningen är innanför systemgränserna. Ett annat antagande är att resurser som lämnar bostadsområdet negligeras som till exempel avfall som går till avfallsförbränning utanför systemgränserna och fekalier som rötas till biogas. Det har dock visats att de resurserna har en mindre påverkan på energibalansen och därmed också på beräkningarna för netto-noll utsläpp av koldioxid på områdesbasis [24].

I projektet har komfortkyla i bostäder negligerats. Det är idag ovanligt med komfortkyla i flerbostadshus men det kan komma att förändras i framtiden. Att kyla fastigheter innebär ett ökat elbehov. Oavsett om lokal kompressorkyla används eller om kylan levereras från ett fjärrkylanät så ökar miljöbelastningen från elanvändningen. Även om så kallad värmedriven kyla används lokalt eller i fjärrkylanätet så gäller tidigare resonemang: att en fastighet måste producera mer el än vad som används i fastigheten för att uppnå netto-nollutsläpp av koldioxid. Dock med skillnaden att om fjärrkyla används så måste även elanvändningen för att producera och distribuera fjärrkyla kompenseras med lokal elproduktion.

Ur perspektivet netto-noll koldioxidutsläpp på områdesnivå är det viktigt att områdets "täta" bebyggelse kompenseras med fastigheter med stor takyta jämfört med elbehov. Det finns naturligtvis andra sätt att kompensera elanvändningen på områdesbasis som att bygga en större produktionsanläggning av något slag, t.ex. en solcellspark eller att nyttja ytor som t.ex. parkeringar för att montera solcellsmoduler som tak eller vindskydd etc. men ska byggnaderna inom området vara netto-noll koldioxidfria behöver byggnadstyperna blandas.

Om ett bostadsområde ska erhålla netto-noll koldioxidutsläpp behöver bebyggelsen planeras ur både energianvändnings- och energiproduktionsperspektiv. När området Näringens energianvändning summeras för den fiktiva bebyggelsen med hela taken installerade med solcellsanläggningar (Tabell 7 och Tabell 11), så blir användningen av el högre än möjlig solelproduktion för etapp 2 och 3. Det medför att övriga etapper behöver kompensera den relativt höga fjärrvärmeanvändningen i etapp 2 och 3 med ökad nettoexport av solel i övriga etapper. Om fasaderna på punkthusen används för solelproduktion så kan man klara en nettoexport av solel även i etapp 2 och 3 men beräkningarna är gjorda med grova antaganden och behöver studeras mer i detalj för att påstås med säkerhet.

Vikten av att bostadsområden har netto-noll koldioxidutsläpp på områdesnivå kan dock ifrågasättas. Det finns skalfördelar med energisystemet. Om varje tillgänglig takyta ska användas för solceller ger det inte en kostnadsoptimal solcellsproduktion. Ska en viss andel solelproduktion finnas i stadsbebyggelse bör kanske stadens tillgängliga tak utvärderas och solceller installeras på lämpliga tak både ur installationssynpunkt men också ur egenanvändningssynpunkt av den producerade elen. Om resonemanget dras vidare kan mindre kraftvärmeverk installeras lokalt i ett samhälle med ett väl fungerande fjärrvärmesystem för att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp vilket naturligtvis inte är optimalt. Däremot

kommer fjärrvärmesystemet att behöva utvecklas för att passa in i det moderna samhället om fjärrvärme ska vara basen för uppvärmning i framtidens "klimatneutrala" bostadsområden.

6 Slutsatser

I de workshops som genomförts inom ramen för projektet framkom det tydligt att de tre kommunerna alla använder begreppen klimatneutral eller klimatpositiv i sin verksamhet men att det saknas en definition av vad det innebär eller hur en klimatneutralitet ska beräknas. Det i sin tur gör att avtalen med regeringen via samordnaren för större samlade exploateringar med hållbart byggande och definitionen om en plan för en klimatneutral energianvändning på områdesbasis är svår att uppfylla.

Fjärrvärme har alla möjligheter att vara basen för uppvärmning i framtidens hållbara bostadsområden. Resultaten visar att fjärrvärme tillsammans med solcellsinstallationer på fastigheternas tak kan skapa netto-noll koldioxidutsläpp för energianvändningen inom ett bostadsområde. Om värmepumpar används istället för fjärrvärme så blir elanvändningen inom bostadsområdet för högt för att solcellsinstallationer på byggnadernas tak ska kunna kompensera elanvändningen för uppvärmning.

För att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp behöver byggnadstyper blandas inom området så att höga fastigheter med låg markyta (punkthus) där elanvändningen blir hög jämfört med möjlig solelproduktion kompenseras av lägre fastigheter med låg elanvändning jämfört med möjlig takyta för elproduktion.

För att netto-noll koldioxidutsläpp ska kunna uppnås behöver också fjärrvärmens koldioxidutsläpp vara låga. Exemplet med den fiktiva bebyggelsen på Näringen visar att utsläppsfaktorn för fjärrvärme behöver vara 4,2 gånger lägre än utsläppsfaktorn för el om alla möjliga takytor används för elproduktion. Om fjärrvärmesystemet har låga koldioxidutsläpp kan kravet för att erhålla netto-nollutsläpp av koldioxid på områdesbasis sammanfattas som att mer el behöver produceras än vad som används inom området vilket ger en enkel och tydlig problembeskrivning vid planering och byggande av framtida bostadsområden med netto-noll koldioxidutsläpp.

Om ett bostadsområde ska erhålla netto-noll koldioxidutsläpp med dagens nivå för användning av fastighetsel och hushållsel krävs en maximering av installerad solcellseffekt på taken. Då solelproduktionen i Sverige är begränsad vintertid medför det en hög export av el från bostadsområdet sommartid vilket kan ställa till med problem på elnätet. Om varje tillgänglig takyta ska användas för solelproduktion finns också risken att anläggningar installeras på, för solcellsanläggningar, olämpliga tak. Ska en viss andel solelproduktion finnas i stadsbebyggelse bör kanske alla stadens tillgängliga tak analyseras utifrån lämplighet för solelproduktion men också ur egenanvändningssynpunkt av den producerade elen.

7 Referenslista

- [1] EU. Europaparlamentets och Rådets Direktiv 2010/31/EU. 2010. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=en> [2021-06-13]
- [2] Boverket. BBR. <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> [2021-06-13]
- [3] Gustafsson M, Thygesen R, Karlsson B, Ödlund L. Rev-Changes in Primary Energy Use and CO2 Emissions—An Impact Assessment for a Building with Focus on the Swedish Proposal for Nearly Zero Energy Buildings. *Energies* 2017;10.
- [4] Connolly D, Lund H, Mathiesen BV, Werner S, Möller B, Persson U, et al. Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system. *Energy Policy* 2014;65:475–89. doi:10.1016/J.ENPOL.2013.10.035.
- [5] Energiforsk, Future Heat. AFFÄRSMODELLER FÖR FJÄRRVÄRME OCH VÄRMEPUMPAR I FASTIGHETER. Rapport 2020:678. 2020. <https://energiforsk.se/media/28241/affarsmodeller-for-fjarrvarme-och-varmepumpar-energiforskrapport-2020-678.pdf> [2021-06-13]
- [6] Naturvårdsverket. Parisavtalet. <https://www.naturvardsverket.se/parisavtalet> [2021-06-13]
- [7] Naturvårdsverket. Sveriges klimatomål och klimatpolitiska ramverk. <https://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/> [2021-06-13]
- [8] Jonas Ottosson, Jenny Gode. NEPP reder ut en djungel av begrepp för att beskriva miljömål. 2019. https://www.nepp.se/pdf/NEPP_PM_begrepp.pdf [2021-06-13]
- [9] Svenska Miljöinstitutet, IVL. Kompensation av klimatskuld inom LFM30. Report nr C 579. 2021. <https://www.ivl.se/download/18.5bcd43b91781d2f501c16d/1621234923758/C579.pdf> [2021-06-13]
- [10] EU. Horizon Europé. EU:S NÄSTA INVESTERINGSPROGRAM FÖR FORSKNING OCH INNOVATION (2021–2027). https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/research_and_innovation/strategy_on_research_and_innovation/presentations/horizon_europe_sv_investeringar_for_var_framt [2021-06-13]
- [11] Småland Blekinge Halland South Sweden – en hållbar region. <https://www.sbhss.eu/files/Horisont-Europa-mission.pdf> [2021-06-13]

- [12] EU. Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 –by and for the Citizens, Report of the Mission Board for climate-neutral and smart cities. 2020. doi:10.2777/46063. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bc7e46c2-fed6-11ea-b44f-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-160480388> [2021-06-16]
- [13] Sweden Green Building Council. <https://www.sgbc.se/certifiering/nollco2/> [2021-06-13]
- [14] Boverket. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsforsorjning/flyttningar/urbanisering/> [2021-06-13]
- [15] Näringsdepartementet. Uppdrag att samordna större samlade exploateringar med hållbart byggande, <https://www.regeringskansliet.se/regeringsuppdrag/2016/12/uppdrag-att-samordna-storre-samlade-exploateringar-med-hallbart-byggande/> [2021-06-13]
- [16] Gävle kommun. https://www.gavle.se/wp-content/uploads/2019/11/Karta-N%C3%A4ringen_1920x1080px.jpg [2021-07-01]
- [17] Reza Fachrizal, Mahmoud Shepero, Dennis van der Meer, Joakim Munkhammar, Joakim Widén, Smart charging of electric vehicles considering photovoltaic power production and electricity consumption: A review, eTransportation, Volume 4, 2020, 100056, ISSN 2590-
- [18] Rasmus Luthander, Annica M. Nilsson, Joakim Widén, Magnus Åberg, Graphical analysis of photovoltaic generation and load matching in buildings: A novel way of studying self-consumption and self-sufficiency, Applied Energy, Volume 250, 2019, Pages 748-759
- [19] Tidstegen. Svenska Miljöinstitutet, <https://www.ivl.se/projektwebbar/tidstegen.html> [2021-06-13]
- [20] Jenny Goude et.al. IVL-rapportB2240Miljövärdering av energilösningar i byggnader. 2015. <https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3f8ac/1591705066323/B2240.pdf> [2021-06-13]
- [21] M Hagberg et.al. Rapport B2282-Miljövärdering av energilösningar i byggnader (etapp 2)–Metod för konsekvensanalys. 2017. <https://www.ivl.se/download/18.34244ba71728fcb3f3f8dc/1591705070862/B2282.pdf> [2021-06-13]
- [22] IEA. Nordic Energy Technology Perspectives 2016. Cities, flexibility and pathways to carbon-neutrality. <https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2015/12/Nordic-Energy-Technology-Perspectives-2016.pdf>. [2021-06-13]
- [23] SVEBY. Klimatdatafiler SvebySMHI 1981-2010. <http://www.sveby.org/uncategorized/nya-klimatdatafiler-for-2016/> [2021-06-13]

- [24] Petter Berner Wik. Perspectives of a climate-neutral urban district - Evaluation of greenhouse gas emissions, exergy and energy balances. 2020. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1461611/FULLTEXT01.pdf> [2021-06-16]
- [25] IVL Svenska Miljöinstitutet. <https://www.ivl.se/projektwebbar/tidstegen.html> [2021-06-13]
- [26] Uppsala kommun. Klimatfärdplan. <https://klimatfardplan uppsala.se/> [2021-06-13]
- [27] Gävle kommun. Miljöstrategiskt program 2.0. <https://www.gavle.se/kommunens-service/kommun-och-politik/samarbeten-projekt-och-sarskilda-satsningar/miljostrategiskt-program/> [2021-06-13]
- [28] Knivsta kommun. Översiktsplan. <https://knivsta.se/knivsta-vaxer/knivsta-vaxer/oversiktliga-planer/oversiktsplan> [2021-06-13]
- [29] Knivsta kommun. Stadsutvecklingsstrategi. <https://knivsta.se/knivsta-vaxer/knivsta-vaxer/knivsta-vaxer/stadsutveckling-och-samhallsplanering/knivsta-2035---tva-hallbara-stadsdelar/forslaget-till-stadsutvecklingsstrategi/se-forslaget-till-stadsutvecklingss> [2021-06-13]
- [30] Uppsala Universitet. Climate Change Leadership. <https://climatechangeleadership.blog.uu.se/2020/12/10/koldioxidbudget/> [2021-06-13]
- [31] Uppsala Universitet. Koldioxidbudgetar-2020-2040. <https://uppsala.app.box.com/v/Koldioxidbudgetar-2020-2040> [2021-06-13]
- [32] Upphandlingsmyndigheten. Entreprenadupphandling enligt Knivstamodellen. <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/branscher/bygg-och-anlaggning/entreprenadupphandling-enligt-knivstamodellen/> [2021-06-30]

Bilaga A: Användning av fjärrvärme, el samt exporterad el för de olika etapperna på Näringen.

Tabell 11: Presenterar Fjärrvärmeanvändning, elanvändning samt exporterad el för Näringens olika etapper när alla fastigheter har solceller på hela taket. Enhet i MWh.

[MWh] Solceller helt tak				Värmepump SCOP = 2,57		Värmepump SCOP = 3,5	
Etapp	fjärrvärme	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el
1A	1225	886	1331	1362	1273	1236	1291
1B	834	418	1219	742	921	656	1004
2	5698	4595	2833	6812	2817	6223	2877
3	3249	2582	1711	3846	1699	3510	1736
4A	3146	1844	3995	3068	3664	2743	3746
4B	695	348	1016	618	768	547	837
5A	2200	1304	2779	2160	2493	1932	2575
5B	324	162	474	289	358	255	390
6	1775	1251	2043	1941	1887	1758	1913
Total	19147	13390	17963	20838	16452	18860	16950

Tabell 12: Presenterar Fjärrvärmeanvändning, elanvändning samt exporterad el för Näringens olika etapper när alla fastigheter har solceller på sadeltak. Enhet i MWh.

[MWh] Solceller brutet tak				Värmepump SCOP = 2,57		Värmepump SCOP = 3,5	
Etapp	fjärrvärme	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el
1A	1225	886	421	1362	400	1236	412
1B	834	418	474	742	454	656	457
2	5698	4595	829	6812	768	6223	803
3	3249	2582	507	3846	462	3510	485
4A	3146	1844	1370	3068	1258	2743	1295
4B	695	348	395	618	378	547	380
5A	2200	1304	1115	2160	1031	1932	1059
5B	324	162	184	289	177	255	178
6	1775	1251	633	1941	594	1758	610
Total	19147	13390	7839	20838	7274	18860	7500

Tabell 13: Presenterar Fjärrvärmeanvändning, elanvändning samt exporterad el för Näringens olika etapper när alla fastigheter har solceller på hela taket men att fastigheterna är vinklade 45° respektive -45° från söderläge. Enhet i MWh.

[MWh] Solceller helt tak				Värmepump SCOP = 2,57		Värmepump SCOP = 3,5	
Etapp	fjärrvärme	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el	Elanvändning	Exporterad el
1A	1225	886	1246	1362	1186	1236	1204
1B	829	418	1139	740	840	655	923
2	5689	4595	2635	6808	2610	6221	2671
3	3246	2582	1589	3844	1572	3509	1610
4A	3128	1844	3743	3061	3411	2738	3495
4B	691	348	945	617	700	546	770
5A	2189	1304	2557	2155	2269	1929	2351
5B	323	162	443	288	327	255	359
6	1770	1251	1869	1939	1758	1757	1784
Total	19090	13390	16166	20814	14673	18846	15167

FJÄRRVÄRME I FRAMTIDENS HÅLLBARA BOSTADSOMRÅDEN

Fjärrvärme har alla möjligheter att vara basen för uppvärmning i framtidens hållbara bostadsområden. Resultaten i projektet visar att fjärrvärme tillsammans med solcellsinstallationer på fastigheternas tak kan skapa netto-noll koldioxidutsläpp för energianvändningen inom ett bostadsområde.

För att uppnå netto-noll koldioxidutsläpp inom ett bostadsområde behöver byggnadstyper blandas så att höga fastigheter med låg markyta (punkthus) där elanvändningen blir hög jämfört med möjlig solelproduktion, kompenseras av lägre fastigheter med låg elanvändning jämfört med möjlig takyta för elproduktion.

För att netto-noll koldioxidutsläpp ska kunna uppnås behöver också fjärrvärmens koldioxidutsläpp vara låga. Om fjärrvärmesystemet har låga koldioxidutsläpp kan kravet för att erhålla netto-nollutsläpp av koldioxid för energianvändning på områdesbasis sammanfattas som att mer el behöver produceras än vad som används inom området vilket ger en enkel och tydlig problembeskrivning vid planering och byggande av framtida bostadsområden med höga klimatambitioner.

Projektet har också visat en problematik kring användandet av olika begrepp för kommuners uppsatta mål inom miljöområdet. Inom ramen för samarbetet mellan Gävle-, Uppsala-, Knivsta kommun och regeringen avseende en större samlade exploateringar med hållbart byggande, finns en plan för en klimatneutral energianvändning på områdesbasis. Om inte begreppet klimatneutral är definierat och kan verifieras med beräkningar riskerar goda intentioner att skapa förvirring och att mål inte uppfylls.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin.