

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska

Samspel mellan värme, kyla och elanvändning i ett bostadsområde med en hög andel solcellsproducerad el

Energimyndighetens titel på projektet – engelska

Energy interplay between heating, cooling and the use of electricity in a housing area with a large share of PV produced electricity

Författare

Mattias Gustafsson, Vartan Ahrens Kayayan och Magnus Åberg

Organisation

**Högskolan i Gävle
Avdelning för Teknik och Miljö
801 76 GÄVLE**

Nyckelord

Framtida bostadsområden, fjärrvärme, värmepumpar, energieffektiva byggnader, solcellssystem, Positive Energy Districts.

Förord

Projektets har genomförts tillsammans med Gävle Energi AB och Gävle kommun. De har medfinansierat projektet ekonomiskt, men kanske ännu viktigare för projektets genomförande, både i form av tid och engagemang samt verkat som en referensgruppering för diskussioner. Uppsala universitet har deltagit i projektet som projektpart, främst genom Magnus Åberg som är medförfattare till denna slutrapport men också i delar av de vetenskapliga publikationerna.

Fatemeh Johari, också Uppsala universitet, har bidragit med sitt kunnande kring den UBEM-modellering som hon utvecklat och som har använts i projektet. Hon har även deltagit i delar av de vetenskapliga publikationerna. Diogo Cabral som arbetat i projektet har framförallt bidragit med simuleringarna av solcellssystemen samt deltagit i delar av publikationerna. Vartan Ahrens Kayayan har deltagit i skrivande av slutrapporten samt delar av de vetenskapliga publikationerna. Oskar Olsson och Karin Israelsson har också deltagit i projektet genom skrivande av sina examensarbeten som också utvecklades till en varsin vetenskaplig konferensartikel.

Sist men inte minst har Energimyndigheten bidragit med majoriteten av finansieringen till arbetet genom Forsknings- och innovationsprogrammet Termo utlysning 5.

Mattias Gustafsson
Högskolan i Gävle
Projektansvarig

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
Inledning	9
Bakgrund	11
Energigemenskaper	12
Solcellssystem på flerbostadshus	14
Exergigemenskaper	15
Fjärrvärmesystem	15
Området Näringen och Nyhamn i Gävle	17
Boverkets byggregler samt passivhus	19
Genomförande	21
Simulering av värmebehov i en enskild byggnad, energianvändning i ett bostadsområde samt bestämmande av minimumtemperatur i uppvärmningssystem	21
Simulering av olika distributionstekniker för fjärrvärme	24
Simulering av temperaturkrav på fjärrvärmesystem för området Näringen	26
Returflödet som primär värmekälla i ett sekundärt värmenät (cascading)	30
Simulering av fjärrvärmesystemet i området Näringen	31
Urban Building Energy Model	32
Byggnadsdata	33
Klimatfil för simuleringar	34
Elanvändning i simulerade byggnader	34
Solcellssimuleringar med PVsyst och tre simulerade installationsalternativ	36
Antaganden för värmepumpssystem, kylsystem samt simulerade scenarion för värme och kyla	38
Resultat	40

Simulering av energibehov för hela bostadsutvecklingsområdet	
Näringen.....	40
Temperaturbehovet för fastigheter med olika uppvärmningssystem	41
Fjärrvärmesystemet området Näringen	41
Solcellssystem och elproduktion på området Nyhamn	43
Termiskt energibehov, solcellsproduktion och fastighetsel på området Nyhamn.....	44
Diskussion	54
Slutsatser	58
Referenser, källor	66
Bilagor	72

Sammanfattning

Att världen står inför stora klimatutmaningar är det få som bestrider idag. Sveriges arbete med klimatfrågan är starkt knuten till EU:s arbete och olika initiativ som kommer inom energi- och miljöområdet påverkar Sverige i hög grad. Exempel på initiativ inom energi- och miljöområdet är till exempel EU:s gröna giv (EU Green Deal), EU:s klimatlag som omvandlade målen i EU:s gröna giv till lag samt 55%-paketet (Fit for 55) vilket syftar till att tillhandahålla ett sammanhängande och stabilt ramverk för att uppnå EU:s klimatmål. I 55%-paketet uppdaterades också bland annat förnybarhetsdirektivet, energieffektiviseringsdirektivet och direktivet för byggnaders energiprestanda. I det senare infördes också EU Solar standard som reglerar hur solcellssystem ska installeras på offentliga och kommersiella byggnader och på bostäder. Det medför att det händer mycket kring energi- och miljöfrågan för existerande men också framtida bostäder. Denna rapport ska försöka belysa komplexiteten kring energianvändning och elproduktion i bostadsområden och hur en samlad bebyggelse kan interagera inom energiområdet och öka samspelet mellan värme, kyla och elanvändning med en hög andel solcellsproducerad el.

För att kunna analysera ett framtida bostadsområde så valdes exploateringsområdet Näringen i Gävle som referensområde. Området Näringen är en del av en gemensam satsning mellan staten, Region Gävleborg och Gävle kommun där det är reglerat i avtal om att gemensamt göra en satsning för utökad infrastruktur och hållbar bebyggelse. Området Näringen utgörs av ca 230 hektar och där ska Gävle kommun enligt avtalet uppbringa 6 000 nya bostäder. Under 2023 kommunicerade Gävle kommun att man ville minska antalet bostäder på Näringen och förhandla om slutdatumet för stadsomvandlingsprojektet med regeringen från 2040 till år 2055. I samband med diskussionerna kring att skjuta upp stora delar av stadsomvandlingsprojektet Näringen så presenterades en ny genomförandeplan där området Nyhamn är den första etappen. Nyhamn knyter ihop ett tidigare exploateringsområde, Gävle Strand, med området Näringen. Det medförde också att projektet delvis ändrade fokus och de djupare analyserna kring samspelet mellan el-, värme- och kyl användning genomfördes för området Nyhamn.

För att kunna simulera energianvändningen i ett framtida bostadsområde användes en metod kallad Urban Building Energy Models (UBEMs). Modellen som användes är baserad på allmänt tillgängliga data från Lantmäteriet och Boverket men behöver också brukarindata. Som indata för gestaltning av framtida byggnader användes preliminära planskisser tillhandahållna av Gävle kommun. För att få mer verklighetsnära simuleringar användes uppmätta timdata för elanvändning i lägenheter och

fastighetsel i byggnader. De uppmätta data var anonymiserade men en för projektet framtagna beräkningsmodell anpassade de anonymiserade data till timdata i UBEM-modellens byggnader. För att även få in brukarbeteendet i simuleringarna så användes en klimatfil för Gävle från samma år som de uppmätta dataserierna. Det medför till exempel att den simulerade elanvändningen en varm sommardag blir relaterat till brukarbeteendet för samma dag.

Simuleringar har gjorts för byggnader med högtempererade radiator-system, lågtempererade radiatorsystem och för golvvärmsystem. Byggnaderna har också simulerats om fjärrvärme eller värmepumpar används för uppvärmning. För kyla har också kompressorkyla som komplement till grundfallet fjärrkyla simulerats. Fjärrvärmsystemen som analyserats har varit av typen lågtemperatursystem där även en teknik som kallas "cascading" har simulerats. Cascading innebär att returvärme från det primära fjärrvärmsystemet har använts som primär uppvärmningskälla i ett sekundärt fjärrvärmenät. För att säkerställa att korrekt temperatur på tappvarmvattnet erhålls har antingen värme från det primära fjärrvärmenätet eller en dedikerad värmepump för uppvärmning av tappvarmvattnet simulerats.

Simuleringarna visar att tillgängligt returflöde i fjärrvärmsystemet vid området Näringen och Nyhamn är begränsande. Även för det mindre området Nyhamn krävs att primär fjärrvärme används som värmekälla till det sekundära fjärrvärmenätet. Vidare visar projektet att en hög andel solcellsproducerad el skapar kraftiga effekttoppar av exporterad el ut från området. Om värmepumpar används för uppvärmning och kompressorkyla används minskar de exporterade effekttopparna något men sambanden är låg i bostäder mellan solcellsproduktion, användning av tappvarmvatten och kylbehov. Kylbehovet visar sig ligga efter i tid jämfört med solcellsproduktionen och att kompressorkyla i sig skapar hög effektanvändning sommartid.

Simuleringarna visar att det går att få en självförsörjningsgrad på 29% av elbehovet om fjärrvärme och fjärrkyla används. Om värmepumpar och fjärrkyla används så minskar självförsörjandegraden. Det beror på en ökad elanvändning under tider när el inte produceras av solcellsanläggningarna. Simuleringarna visar att det är kraftiga effekttoppar för både använd el och exporterad el för området men i sammanhanget en relativt låg energimängd vilket gör en batterilösning lämplig för att jämna ut topparna. Projektet har inte simulerat batterilager i detalj men det kan vara en utveckling av arbetet och då också koppla det till olika stödtjänstmarknader, minska använd toppeffekt vintertid men också en ökad lokal resiliens.

Summary

That the world is facing major climate challenges is something few disputes today. Sweden's work on climate issues is closely linked to the EU's efforts, and various initiatives in the energy and environmental sectors significantly impact Sweden. Examples of such initiatives include the European Green Deal, the European Climate Law which transformed the goals of the Green Deal into law and the Fit for 55 package, which aims to provide a coherent and stable framework for achieving the EU's climate goals. The Fit for 55 package also updates directives such as the Renewable Energy Directive, the Energy Efficiency Directive, and the Energy Performance of Buildings Directive. The latter introduced the EU Solar Standard, which regulates how solar PV systems should be installed on public buildings and residences.

This means there is a great deal of activity surrounding energy and environmental issues, both for existing and future housing. This report aims to investigate the complexity of energy use and electricity production in residential areas and how a local residential area can interact to increase the synergy between heating-, cooling-, and electricity use, with a high share of solar-produced electricity.

To investigate a future residential area, the development area Näringen in Gävle was chosen as a reference area. Näringen is part of a joint initiative between the state, Region Gävleborg, and the Municipality of Gävle, formalized in an agreement to collectively invest in expanded infrastructure and sustainable development. The Näringen area comprises approximately 230 hectares, where the Municipality of Gävle, according to the agreement, is to provide 6,000 new homes. In 2023, the municipality announced its intention to reduce the number of homes at Näringen and to renegotiate the project's end date with the government from 2040 to 2055.

In connection with the discussions about postponing major parts of the urban transformation project, a new implementation plan was presented, with Nyhamn as the first phase. This also led to a partial shift in focus in the project, and in-depth analyses of the interplay between electricity, heating, and cooling were conducted for the Nyhamn area instead of Näringen. To simulate energy usage in a future residential area, a method called Urban Building Energy Models (UBEMs) was used. The model is based on publicly available data from Lantmäteriet and Boverket but also requires user input. Preliminary design sketches provided by the Municipality of Gävle were used as input for the layout of the buildings.

To make the simulations more realistic, monitored hourly data for electricity use in apartments and for building operational electricity were used. These data were anonymized, but a project-specific calculation model adapted the anonymized data into hourly data for buildings in the UBEM model. To include user behavior in the simulations, a climate file for Gävle from the same year as the monitored data was used.

Simulations were conducted for buildings with high-temperature radiator systems, low-temperature radiator systems, and floor heating systems. The buildings were also simulated for both district heating and heat pump systems. For cooling, compressor cooling was simulated in addition to the baseline case of district cooling. The district heating systems investigated were of low-temperature type, and a technique called "cascading" was also simulated. Cascading use return heat from the primary district heating system as the primary heat source in a secondary district heating network. To ensure the correct temperature for domestic hot water, either heat from the primary district heating network or a dedicated heat pump for domestic hot water was simulated.

The simulations show that the available return flow in the district heating system in the areas of Näringen and Nyhamn is a limiting factor. Even for the smaller area Nyhamn, primary district heating is required as an additional heat source for the secondary district heating system. Furthermore, the project shows that a high share of solar-produced electricity creates significant power peaks of exported electricity from the area. If heat pumps are used for heating and compressor cooling is used, these exported power peaks are reduced somewhat. However, there is a low correlation in residential buildings between solar electricity production, domestic hot water use, and cooling needs. Cooling needs tend to lag behind solar production, and compressor cooling itself creates high power usage during summer.

The simulations show that it is possible to achieve a 29% self-sufficiency rate of electricity used if district heating and cooling are used. If heat pumps and compressor cooling are used, the self-sufficiency rate is reduced. This is due to increased electricity use during times when solar systems do not produce electricity. The simulations show significant power peaks for both electricity used and exported in the area during summer, but in relative terms, the total energy volume is low, which makes a battery solution suitable. The project did not simulate battery storage in detail, but this could be a development path for future work investigating battery storage systems together with different ancillary service markets, reducing peak loads during winter and an increased local resilience.

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 och från industrisektorn. Globalt, men även inom EU, används stora mängder fossila bränslen för uppvärmning av fastigheter men i Sverige är byggnaders klimatpåverkan låg och det beror framförallt på den höga andelen fastigheter som använder fjärrvärme för uppvärmning och att den el som används också är producerad från fossilfria källor. Fjärrvärmens fördelar med att kunna använda lokal restvärme och förbränning av olika restprodukter för produktion av både värme och el har starkt bidragit till att Sverige idag har ett unikt energisystem som i grunden är väl rustat för framtiden.

Nepp är ett multidisciplinärt forskningsprogram där energibranschen och dess företag, departement och myndigheter, samt akademien och forskningsföretag samverkat under ledning av Elforsk/Energiforsk och Energimyndigheten. Nepp har varit verksam sedan mitten av 1990-talet och över tid har forskningen breddats till att omfatta helheten (från tillförsel till användning; från elsystem till elmarknad) till att nu innefatta hela energisystemet. I Energiforsks rapport 2024:1052 ”Ledtider för att bygga ut det svenska elsystemet” förutspås en kraftig ökning av elanvändningen enligt Nepps högelscenario. Det är framförallt vätgas-användningen i industrisektorn som står för den stora efterfrågeökningen av el utifrån en övergång från användning av kol och koks till vätgas [1].

Nepps högelscenarier är i sin tur baserat på Energimyndighetens högelscenarier men som för alla framtida scenarion finns det en hel del osäkerhet i prognoserna. Det är till exempel stora skillnader i Energimyndighetens egna hög- respektive lågscenarion där det lägsta scenariot uppskattar elanvändningen år 2050 till 220 TWh/år och i det högsta scenariot till nära 360 TWh/år [2].

Det är svårt med analyser av energisektorn och utvecklingen är beroende av många faktorer. Vi har bland annat ett pågående krig i Europa som tillsammans med en spretig världspolitik skapar nya globala handelsflöden. Dessutom finns det oenighet inom en del områden i EU, till exempel rörande kärnkraft. Även den snabba utbyggnaden av billig solkraft i södra Europa kan påverka den svenska industriella omställningen, då investerare letar efter den billigaste elproduktionen i sina kalkyler [3]. Det finns också en hel del frågetecken kring den svenska gröna omställningen och dess elektrifiering. Det har inte undgått någon att utvecklingen inte direkt har varit spikrak. En fråga som dock är intressant och som lyfts i rapporten ”Vad kostar det om den gröna omställningen inte

sker på grund av elbrist?”, framtagen av Runar Brännlund och Bengt Kriström. Syftet med arbetet är framförallt att analysera ett tankesätt kring hur man kan besvara frågan vad det skulle kosta i samhällsekonomiska termer ifall den ”gröna omställningen” inte sker på grund av elbrist. Tankesättet illustreras med ett räkneexempel och påvisar potentiella höga kostnader [4].

Regeringen har satt ett planeringsmål om att Sverige ska kunna möta ett elbehov om minst 300 TWh år 2045 [5]. Nepp sammanfattar utmaning till att Sverige på tjugo år ska etablera ny elproduktion och tillhörande nätinfrastuktur som kan möta ytterligare 150 TWh jämfört med den elanvändning som i Sverige de senaste decennierna legat relativt konstant på ca 140-150 TWh. Det innebär knappt 60 GW tillkommande ny installerad elproduktionskapacitet som kan jämföras med dagens installerade kapacitet som uppgår till lite drygt 50 GW [1].

Energimyndigheten har analyserat olika utvecklingsvägar för både befintlig och ny elproduktion för ett kraftigt ökat elbehov framöver, både på grund av elektrifieringens roll i klimatomställningen men också på grund av etableringen av nya elintensiva verksamheter [6]. Men ska omställningen klaras så är inte lösningen enbart att öka elproduktionen. Samhället i stort behöver fundera i nya banor. Det lyfts bland annat fram i Energimyndighetens rapport Framtidens elektrifierade samhälle där utgångspunkten är hur elektrifieringen kan bidra till ett försörjningstryggt, konkurrenskraftigt och ekologiskt hållbart energisystem som minimerar negativ miljö- och hälsopåverkan. I rapporten diskuteras bland annat bostads- och servicesektorn där man tror på en ökad elektrifiering men också olika flexibilitetsresurser [7].

För att klara en framtida omställning av energisystemet är det viktigt att hela samhället involveras och att ny elproduktion introduceras tillsammans med ett nytänk kring användning av el- och värme utan att glömma bort att använda resurser effektivt.

Sverige står inför flera olika utmaningar inom energiområdet. För bostäder har generellt diskussionen tidigare varit att framförallt minska energi-användningen. Idag finns flera olika möjligheter som till exempel att verka i energigemenskaper och en helt annan möjlighet att delta på energimarknaden än vad som tidigare var fallet med till exempel solcells-anläggningar, batterilager och leveranser av olika stödtjänster till elnätet. Denna rapport ska försöka belysa komplexiteten kring energianvändning och elproduktion i bostadsområden och hur en samlad bebyggelse kan interagera inom energiområdet och öka samspelet mellan värme, kyla och elanvändning med en hög andel solcellsproducerad el.

Bakgrund

Sveriges arbete med klimatfrågan är starkt knuten till EUs klimatmål som är uppdelat i tre delar: utsläppshandel (EU ETS), den icke handlande sektorn (ESR) samt utsläpp och upptag från skog och mark (LULUCF).

Basen för EUs arbete med att minska koldioxidutsläpp är EUs system för utsläppshandel som infördes 2005 (EU Emission Trading System, EU ETS). EU ETS har utvecklats genom åren men grunderna och syftet är alltså desamma: att minska klimatpåverkan och bidra till att nå de utsläppsmål som satts inom EU. Det som är nytt från januari 2025 är att även koldioxidutsläpp från förbränning av bränslen från vägtransporter, bostäder och kommersiella eller offentliga lokaler ingår i utsläppshandeln. Från januari 2026 kommer också importörer som tar in vissa varor till EU från andra länder behöva ange och köpa certifikat för de utsläpp av växthusgaser som är förknippade med varorna. Utsläppstaket i EU ETS är knutet till EUs mål om att minska utsläppen av växthusgaser med 62 procent mellan 2005 och 2030. Inom utsläppshandelssystemet för vägtransport, byggnader och andra sektorer, ska koldioxidutsläppen minska med 42 procent till 2030 jämfört med 2005 års nivåer [1], [2].

Ett annat stort åtagande är EUs gröna giv (EU Green Deal) med syfte att bli världens första klimatneutrala region. Som en del av EUs gröna giv presenterades ett antal mål för att ställa om till en modern, resurseffektiv och konkurrenskraftig ekonomi där det första målet är att det inte ska finnas några nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 [3]. EUs gröna giv följdes därefter upp, i juni 2021 med att EU antog en klimatlag som slår fast att unionen ska nå klimatneutralitet senast 2050 och att nå nettonegativa utsläpp därefter. Klimatlagen anger även att EU ska minska sina nettoutsläpp med minst 55 procent till 2030 jämfört med 1990 års utsläpp. I EUs klimatlag omvandlades också målen i EUs gröna giv till lag [4]. I samband med EUs klimatlag lanserades också ”55%-paketet” (Fit for 55) vilket syftar till att tillhandahålla ett sammanhängande och stabilt ramverk för att uppnå EUs klimatmål om att minska nettoutsläppen av växthusgaser med 55% senast 2030 [5].

I EUs 55% paket ingår bland annat nya regler för att reglera koldioxidutsläpp från personbilar och lätta lastbilar. Det ingår också nya regler kring infrastruktur för laddning av fordon och tankning av andra alternativa bränslen. Inom ramen för 55% paketet uppdaterades också förnybarhetsdirektivet, energieffektiviseringsdirektivet och direktivet för byggnaders energiprestanda [5]. Förnybarhetsdirektivet innebär bland annat att 40 procent av den totala energimixen ska komma från förnybara energikällor senast 2030 [6]. Energieffektiviseringsdirektivet innebär att

EU ska ”minska energiförbrukningen på EU-nivå” med 36% för den slutliga energianvändningen och med 39% för primärenergiförbrukningen senast 2030”. Huvudmålet att minska den slutliga energiförbrukningen med 36% på EU-nivå blir också bindande [6]. Direktivet om byggnaders energiprestanda innebär bland annat att alla nya byggnader bör vara nollutsläppsbyggnader senast 2030 och att befintliga byggnader bör omvandlas till nollutsläppsbyggnader senast 2050 [5].

Inom ramen för direktivet om byggnaders energiprestanda införs också EU Solar standard som reglerar hur solcellssystem ska installeras på kommersiella och offentliga byggnader samt bostäder. Kravet gäller för byggnader över hela EU och kommer att rullas ut successivt för nya och befintliga byggnader enligt nedan [7].

1. 2026: Alla nya kommersiella och offentliga byggnader.
2. 2027: Befintliga kommersiella och offentliga byggnader som genomgår renovering.
3. 2029: Vid nyproduktion av bostadshus.
4. 2030: Befintliga offentliga byggnader.

Energigemenskaper

I samband med introduktionen av EUs Clean Energy for all Europeans Package, 2019, så introducerades också begreppet Energigemenskaper i den europeiska lagstiftningen. Definitionen av en energigemenskap är dock inte helt tydlig och det definieras två likartade men olika begrepp i elmarknadsdirektivet (medborgarenergigemenskaper) respektive förnybarhetsdirektivet (gemenskaper för förnybar energi). Båda dessa begrepp inkluderas vanligtvis i begreppet energigemenskaper. Därtill refererar såväl energieffektiviseringsdirektivet som direktivet om energiprestanda i byggnader till organisationsformen energigemenskaper. År 2019 fick Energimarknadsinspektionen i uppdrag från regeringen att analysera vilka åtgärder som krävs för att införa flera av bestämmelserna i svensk lagstiftning. Uppdraget resulterade i en rapport som bland annat innehöll författningsförslag för energigemenskaper. Förslagen som lämnades där om energigemenskaper har dock vid skrivande av denna slutrapport inte genomförts i svensk rätt [8].

En av orsakerna till att energigemenskaper har varit svårt att definiera i svensk lagstiftning är problematiken att kategorisera vad som egentligen är en energigemenskap. Några exempel på nyare initiativ till energigemenskaper är till exempel projekten i Hammarby sjöstad, Sätra i Västerås och Tamarinden i Örebro. De olika projekten delar olika energiformer och har valt olika varianter på organisationsform. En annan viktig skillnad mellan de olika initiativen till energigemenskaper är vilken form av infrastruktur som valts för att dela energin mellan medlemmarna.

Det är möjligt att använda egen infrastruktur, bygga kompletterande infrastruktur eller använda den existerande infrastrukturen genom så kallad virtuell delning [9]–[11].

I en rapport av Nordic Energy Research ”Energy Communities” från 2023 [12] så analyseras hur energigemenskaper är införlivade i den nationella lagstiftningen. De länder som analyseras är de nordiska (Sverige, Danmark, Norge och Finland) samt tre andra europeiska länder (Nederländerna, Österrike och Tyskland). I rapporten kommer man fram till att Sverige på flera sätt ligger efter andra länder i Europa utan att man i rapporten försöker rangordna arbetet på något sätt. En förklaring som diskuteras i rapporten är att länder med en redan hög andel förnybar energi i energimixen, där är befolkningen mindre benägen att se miljömässiga fördelar och med en låg andel ”dyra” fossila bränslen är det också svårt att se en ekonomisk fördel med energigemenskaper. Det medför att det saknas ett bottom-up perspektiv för en förändring [12].

I Sverige valde man initialt att tillåta energidelning i så kallade energigemenskaper genom kompletterande elnät. I praktiken innebär det att ett separat likströmsnät förbinder aktuella fastigheter och att därmed el kan förflyttas mellan fastigheterna för att till exempel öka andelen egenanvänd solcellsproducerad el eller för att utjämna effektuttaget från en enskild byggnad. Ett annat alternativ som varit möjligt i Sverige är i så kallade egna nät. Detta har till exempel varit möjligt i flerbostadshus då anslutningspunkten till elnätet varit fastigheten och lägenhetsinnehavarna har lagts bakom anslutningspunkten, även kallat kollektivmätning eller fördelningsmätning. Det är också möjligt att nyttja denna funktion i så kallade ”Icke Koncessionspliktiga Nät” (IKN-nät) då flera fastigheter kan vara bakom en gemensam anslutningspunkt men då måste man uppfylla kraven i IKN-förordningen. Ett tredje alternativ som inte provats i Sverige är så kallad virtuell delning av el i det befintliga elnätet. Det innebär att en virtuell avräkning sker av mätvärden utifrån hur mycket el som matas in eller ut från varje anslutningspunkt. Här är dock tolkningen i Sverige idag att eftersom elen passerar elmätaren så ska man idag betala energiskatt och nätavgift även om man är en del av en energigemenskap. Därför är det inte motiverat ekonomiskt att virtuellt dela el idag i en gemenskap [8].

Det finns ett antal koncept liknande energigemenskaper i Sverige. Antalet energigemenskaper är beroende på hur man definierar vad en energigemenskap egentligen är. Två av de mest kända gemenskaperna är, som också är tidigare nämnda i rapporten, Tamarinden i Örebro samt Hammarby Sjöstad i Stockholm. Tamarinden är ett bostadsområde där totalt 800 bostäder planeras och byggstarten påbörjades 2022 [13]. Hammarby Sjöstad är en befintlig stadsdel där ett antal

bostadsrättsföreningar har gått samman i en energigemenskap. Hammarby sjöstad är till skillnad mot Tamarinden befintliga fastigheter som anpassas för att kunna agera i en energigemenskap [13]. Båda bostadsområdena har en relativt hög andel solcellsproducerad el, har batterilager samt ett internt likströmsnät för att förflytta el mellan fastigheterna. RISE har i projektet ”systemförändring med lokalt delad energi” utforskat energigemenskaperna i Tamarinden och Hammarby Sjöstad och resultaten är sammanfattade i projektets slutrapport. I rapporten fastslås bland annat att självförsörjningen och egenanvändningen av egenproducerad solel ökar när det går att dela el mellan fastigheter i energigemenskapen. De ökar också med ett installerat batteri. Möjligheten till självförsörjning med solceller och batteri är dock relativt låg i tätbebyggda områden, och självförsörjningsgraden når max runt 21% i Hammarby Sjöstad och 27% i Tamarinden. [14].

Solcellssystem på flerbostadshus

Ett solcellssystem på en byggnad levererar generellt den producerade elen innanför systemgränserna till elnätsägaren, det vill säga innanför elmätaren för debitering. Huvudorsaken till inkoppling av solcellsanläggningen innanför elmätaren är att den producerade elen i första hand ersätter annars köpt el som innefattar överföringsavgifter, skatter och andra avgifter. Om solcellsanläggningen producerar mer el än vad som används inom systemets systemgräns så mäter elmätaren noll i elanvändning och resterande el exporteras ut på elnätet. Värdet på exporterad el är generellt samma som spotpriset på el vilket gör att den egenanvända elen har ett högre ekonomiskt värde än den el som exporteras utanför systemgränsen (elmätaren).

I Sverige är det vanligast att varje lägenhetsinnehavare i ett flerbostadshus har en egen elmätare och tecknar ett eget avtal med elnäts- och elhandelsföretag. Men det finns också en möjlighet att fastighetsägaren tecknar ett avtal för fastigheten och lägenhetsinnehavarna gemensamt. Det finns flera olika benämningar på detta men ett vanligt namn är kollektivmätning eller fördelningsmätning av el. Det innebär att det endast är fastighetsägaren som tecknar elprisavtal med ett elhandelsföretag och som betraktas som elanvändare [15]. Därefter ”interndebiteras” vanligtvis de olika lägenhetsinnehavarna efter den egna användningen av el.

Elanvändningen för fastighetens behov, den så kallade fastighetselen, är generellt låg i ett flerbostadshus. Det gör att det lätt blir en hög andel exporterad el av den producerade solcellselen vilket kan göra en solcellsanläggning svår att få lönsam. Även om ett lägenhetsinnehavarnas elanvändning läggs i ett gemensamt avtal så harmoniserar inte lägenhetselen med producerad solel då bostäder generellt har en låg

elanvändning på dagen då solcellsproduktionen är som högst. Ett annat potentiellt problem för ägare till flera flerbostadshus är den skattedeclaration som behöver göras om den sammanlagda installerade solcellseffekten är 500 kW_p eller högre för hela bostadsbeståndet kopplat till en juridisk person. Där ska all egenproducerad och inköpt el redovisas månadsvis vilket kan vara ett administrativt hinder [16].

Exergigemenskaper

Begreppet Exergigemenskaper introducerades och analyserades i projektet Exergigemenskaper – för ett resurseffektivt energisystem, finansierat av Energiforsk via programmet Future Heat. Syftet var att öka kunskapen om hur komplexa och lokala energisystemslösningar med multipla komponenter och energiflöden kan analyseras för att fånga värdet på energikvalitet (exergi) [17].

Resultaten från projektet visar att lokal soletproduktion som mest ger en grad av totalt självförsörjande på knappt 40% med värmepumpar, elbilsaddning och batterier. Utan värmepumpar nås som mest 24% självförsörjandegrad med endast solet. Solet i kombination med elektrifiering av värmebehov för uppvärmning och varmvatten ger även låg exergieffektivitet. De högsta nivåerna av självkonsumtion och självförsörjning i kombination med relativt hög exergieffektivitet erhålls med spillvärme från datacenter i kombination med ett termiskt lager. Projektet lyfter också en diskussion kring hur exporterad el ska betraktas i exergimening utifrån att det lokalt inte finns någon avsättning för elen. Projektet resonerar dock att överskottsproduktion kan tillgodogöras i andra delar av systemet och ger då som förväntat en ökad exergieffektivitet [17].

Fjärrvärmesystem

Det första kommersiella fjärrvärmesystemet byggdes år 1887 i Lockport USA och distributionen av värme gjordes med ånga som värmebärare. Det första fjärrvärmesystemet i Sverige byggdes år 1948 i Karlstad och som bas för värmeproduktionen användes ett kraftvärmeverk och vatten användes som värmebärare i systemet. Fjärrvärmens utveckling beskrivs ofta med olika generationer av fjärrvärmesystem där tidiga system använde ånga och där utvecklingen av systemgenerationerna har medfört lägre och lägre distributionstemperaturer. Det vanligaste fjärrvärmesystemet i Sverige idag är ett så kallat generation 3 fjärrvärmesystem som kännetecknas av prefabricerade fjärrvärmerör med en distributionstemperatur ofta under 100°C [18].

Vid distribution av fjärrvärme är den vanligaste tekniken ett 2-rörssystem där värmeväxlarna för rumsuppvärmning och tappvarmvatten har en gemensam fram- och returledning. Denna systemlösning fungerar för

såväl höga som låga distributionstemperaturer. Minimumtemperaturen för fjärrvärmesystem är dock begränsande av risken för legionellatillväxt i stillastående vatten. Boverkets byggregler anger att tappvarmvattnet vid tappstället ska hålla en temperatur mellan 50°C och 60°C. 60°C är också rekommenderad lägsta temperatur i varmvattenberedare [19]. För att säkerställa tillräcklig temperaturnivå så är framledningstemperaturen vanligtvis högre än 60-65°C och i traditionella europeiska fjärrvärmesystem så brukar framledningstemperaturen ligga mellan 70°C och 90°C [20].

Att sänka framledningstemperaturen i fjärrvärmesystem har sina systemfördelar. Förutom att värmeförlusterna minskar med lägre temperaturer så finns det andra fördelar som till exempel att rökgaskondensering i kraftvärme- eller värmeverk får bättre möjligheter återvinna värme från rökgaserna, det kan vara enklare att nyttja restvärme samt värme från solfångarsystem. En tidig definition av lågtempererad fjärrvärme, även kallad fjärde generationens fjärrvärme eller 4GDH (4th Generation District Heating), gjordes av [18]. En annan variant av lågtempererad fjärrvärme är så kallad ultralåg tempererad fjärrvärme eller kall fjärrvärme. Då kräver systemen en värmepump för att höja temperaturen till lämplig nivå och systemet kan anpassas för att tillföra både värme och kyla till fastigheten [21]. Det är dock något omtvistat om det ska kallas femte generationens fjärrvärme eller om det är en parallell teknik till fjärde generationens fjärrvärmesystem [22]. Det finns många olika systemlösningar för lågtempererad fjärrvärme. I ett arbete av Sven Werner identifierades inte mindre än 14 olika varianter av lågtempererade fjärrvärmesystem [20].

En intressant teknik som provats i till exempel kvarteret Hyttkammaren i Falun [23] är att använda fjärrvärmereturens energi som primär energikälla i ett subsystem, ett så kallad "cascading system". Returflödets temperatur är generellt tillräckligt hög för rumsuppvärmning i moderna byggnader, framförallt om golvvärmesystem används. Då kan enskilda fastigheter eller bostadsområden använda returflödet och som en bieffekt sänks då också totala returtemperaturen i fjärrvärmesystemet. Dock kan problem uppstå med temperaturkrav för uppvärmning av tappvarmvatten utifrån problematiken med legionellatillväxt. Här finns det olika teknisklösningar varav en är att använda primär värme från huvudsystemet för uppvärmning av tappvarmvattnet men då krävs en extra inkoppling för primärsystemets framledning men returledningen kan vara gemensam. Det blir då ett så kallat 3-rörssystem. I kvarteret Hyttkammaren används en dedikerad värmepump för att höja temperaturen till tappvarmvattnet och värmen tas från returflödet. Det medför en hög värmefaktor som enligt

Kopparstaden är nära fem för systemet i kvarteret Hyttkammaren¹. Det finns också en primär anslutning av fjärrvärme till systemet men det är endast som redundans utifall inställd temperatur inte kan erhållas vid normal drift. I Bild 1 visas systemet i kvarteret Hyttkammaren med värmepumpen, en ackumulatortank för tappvarmvattnet samt abonnentcentralen för fjärrvärme.



Bild 1. Bild på undercentralen i kvarteret Hyttkammaren med värmepump (t.h.) som används för att värma tappvarmvatten, värmen tas från returvärmen som också används för rumsuppvärmningen. Ackumulatortanken är för tappvarmvattnet.

Området Näringen och Nyhamn i Gävle

År 2017 slöts ett avtal mellan stat, region Gävleborg och Gävle kommun om att gemensamt göra en satsning för utökad infrastruktur och hållbar bebyggelse. Gävle kommun ska enligt avtalet uppbringa 6 000 nya bostäder och ca 450 000 m² annan lokalyta på ett område som kallas för Näringen samt att ett nytt logistik- och verksamhetsområde, Tolvfors, ska upprättas. Näringen utgörs av ca 230 hektar och är idag ett område med framförallt olika företag/verksamheter och ett fåtal permanent boende. Området inrymmer också Gävles godsbangård som inom ramen för avtalet ska flyttas. Inom ramen för avtalet ska staten och Region Gävleborg bland annat satsa på olika infrastruktursatsningar för både väg och järnväg [24]. För en bild av området, se Figur 2.

¹ Studiebesök kvarteret Hyttkammaren Falun, 2025-05-13



Figur 2: Bild av området Näringen i Gävle [25].

Området Näringen ska vara en modern stadsdel med ett hållbarhetstänk och som en del av detta anlitate Gävle kommun fyra arkitektkontor för att ta fram gestaltningsförslag till ett framtida Näringen. Ett av förslagen, framtagen av Spacescape och Skoog Arkitekter [26] har använts i projektet för att exemplifiera hur ett framtida bostadsområde kan se ut men observera att förslaget kom tidigt i processen och det ska inte tolkas som att Näringen kan komma att gestaltats enligt förslaget.

Den 13 april, 2023, kommunicerade Gävle kommun att man ville minska antalet bostäder på Näringen och förhandla om slutdatumet för stadsomvandlingsprojektet med regeringen från 2040 till år 2055. Huvudorsaken som kommunicerades var att tidigare prognoser för bostadsbehov hade reviderats men regeringens fördröjning för flytt av bangård som ingår i kontraktet för området Näringen kan också ha spelat in [27].

I samband med diskussionerna kring att skjuta upp stora delar av stadsomvandlingsprojektet Näringen så presenterades en ny genomförandeplan där området Nyhamn är den första etappen och som under 2024 var ute på ett första samråd. Nyhamn knyter ihop ett tidigare exploateringsområde, Gävle Strand, med området Näringen. Nyhamn är därmed den sista byggetappen av Gävle Strand, etapp 3 samt första etappen av Näringen [28], se Figur 3 för en bild av området Nyhamn.



Figur 3. Området Nyhamn. Området knyter ihop Gävle Strand och första etappen av området Näringsen.

Boverkets byggregler samt passivhus

År 2010 stiftades plan- och bygglagen (PBL) i syfte att främja en hållbar samhällsutveckling i Sverige. I detta gavs Boverket direktiv att sammanställa regler för att efterleva lagen. Reglerna har succesivt reviderats för att stramas åt i syfte att sänka energianvändningen i byggnader. Den senaste versionen är BBR 29, gällande från 1 september år 2020 till 30 juni 2025, därefter kommer en reviderad version gälla.

Enligt BBR 29 beräknas en byggnads energianvändning, E_{bea} (kWh), som den energi som levereras till byggnaden i form av uppvärmning, E_{uppv} , komfortkyla, E_{kyl} , tappvarmvatten, E_{tvv} , samt fastighetsenergi, E_f , enligt Ekvation 1. Om energi tillförs byggnaden via egenproduktion, exempelvis solceller, ingår inte i denna beräkning då BBR 29 utgår från köpte energi. Det medför också att den el som exporteras ut från fastigheten om produktionen av el är högre än användningen av el inte heller beaktas enligt BBR 29.

$$E_{bea} = E_{uppv} + E_{kyl} + E_{tvv} + E_f \quad (1)$$

E_f är den energi som används i gemensamma utrymmen så som hissar och fast belysning. Till detta tillhör fastighetsel vilket utgör den elbaserade energianvändningen om inte el används för uppvärmning [29].

Vidare används Ekvation 2 för att fastställa byggnadens energiprestanda vilket görs med ett primärenergital, EP_{pet} (kWh/m²), där uppvärmningen korrigeras med en geografisk justeringsfaktor (F_{geo}) som varierar från 0,9-1,9 samt viktningsfaktor (VF) för relevant energibärare.

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) \times VF_i}{A_{temp}} \quad (2)$$

Den tempererade arean, A_{temp} (m²) är den golvyta som värms till mer än 10°C. Relevant för detta projekt är viktningsfaktorn för fjärrvärme, $VF_{fv} = 0,7$, $VF_{el} = 1,8$ samt geografisk justeringsfaktor för Gävle, $F_{geo} = 1,1$. För att byggnaden ska uppnå energikraven enligt BBR 29 jämförs EP_{pet} med Tabell 9:2a i Boverket [29]. Se utdrag med krav för energiprestanda i Tabell 1 nedan.

Tabell 1: Utdrag ur BBR 29 (Tabell 9:2a) med krav för energiprestanda vid olika byggnadstyper och utifrån dess tempererade area.

Fastighet	EP_{pet} (kWh/m ²)
Småhus > 130 m ² A_{temp}	90
Småhus > 90 - 130 m ² A_{temp}	95
Småhus > 50 - 130 m ² A_{temp}	100
Småhus ≤ 50 m ² A_{temp}	-
Flerbostadshus	75
Lokaler	70

Vidare fastställer Boverket maximalt tillåtna U-värden för olika byggnadsdelar. Dessa redovisas i tabell 2 tillsammans med antagna värden för samma byggnadsdelar för byggnader som uppfyller energiprestandakraven för passivhus. Dessa värden är baserade på arbeten av F. Johari för att vara anpassade till simuleringar med framtagna UBEM-modell [30].

Tabell 2: Maximala U-värden för byggnadsdelar enligt BBR 29 samt antagna U-värden för passivhus enligt F. Johari [30]

	Enligt BBR 29	Passivhusstandard
U_i	(W/m ² K)	(W/m ² K)
U_{tak}	0,13	0,06
$U_{vägg}$	0,18	0,1
U_{golv}	0,15	0,06
$U_{fönster}$	1,2	0,8
$U_{ytterdörr}$	1,2	0,8

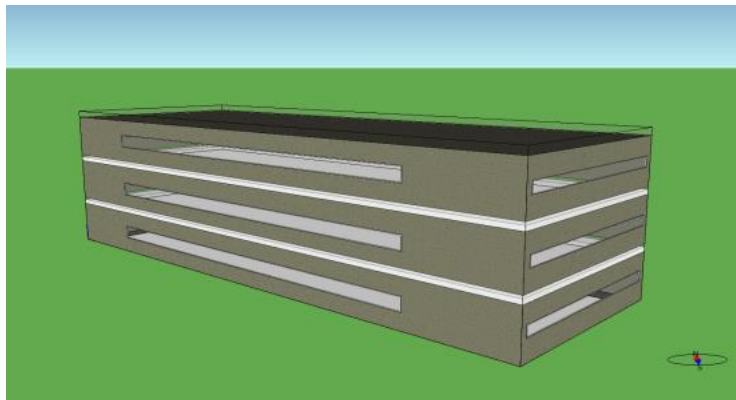
Genomförande

I detta kapitel beskrivs metoden för beräkningar och simuleringar. Initialt beskrivs beräkningarna av en enskild byggnad där energianvändningen simuleras och temperaturkrav i vattenburna distributionssystem för rumsuppvärmning analyseras. Därefter beskrivs en modell för beräkning av temperaturkrav i fjärrvärmesystem för att sedan övergå till en värmebehovsanalys för ett framtida bostadsområde. I denna studie används en planerad stadsdel i Gävle, området Näringen, initialt men även ett mindre delområde, Nyhamn, har simulerats. Metod- och teoridelen avslutas sedan med att visa hur området Nyhamn kan analyseras utifrån el- och värmebehov med en hög andel solcellsproducerad el men också med olika systemutformningar och teknislösningar för fjärrvärmesystem och värmepumpar. Metoden för beräkningar och simuleringar finns närmare beskrivet i två examensarbeten [31], [32], två konferensartiklar [33], [34] samt i en journalartikel [35] och i ett manuskript till en journalartikel. Samtliga arbeten finns beskrivna under rubriken ”Publikationslista”.

Simulering av värmebehov i en enskild byggnad, energianvändning i ett bostadsområde samt bestämmande av minimumtemperatur i uppvärmningssystem

Metoden för simulering av värmebehovet för en enskild byggnad och bestämmande av minimumtemperatur i distributionssystemet för vattenburen uppvärmning finns närmare beskrivet i [32], [34]. För simulering av en representativ byggnad som kan vara aktuell på bostadsområdet Näringen/Nyhamn valdes en godtycklig trevåningsbyggnad från tilldelade planskisser med simpel geometri avsedd att brukas som bostad. Simuleringsprogrammet IDA-ICE användes för att simulera den enskilda byggnaden [36]. Vid simulering av större bostadsområden användes en metod som kallas Urban Building Energy Models (UBEMs). I detta projekt användes en UBEM, modellerad i Python, skapad av F. Johari [30]. Vid simulering av den enskilda byggnaden i IDA-ICE antogs windows to wall ratio till 20% med en utformning enligt Johari et al. [37]. Detta för att simulerad byggnad i IDA-ICE ska efterlikna övriga simuleringar av byggnaderna i områdena Näringen och Nyhamn.

Val av byggnadsmaterial för simulerad byggnad gjordes för att vara representativ för en byggnad uppförd enligt BBR 29 respektive att uppfylla krav som passivhus. För mer information om byggnadens egenskaper, se Tabell 2. Takhöjden sattes till 2,5 m med en total våningshöjd, sedd från utsidan, på 3 m enligt planer för området. Varje våning förenklades till att bestå av en zon med en beräknad golvyta på 423,6 m² från given planskiss. Se Figur 3 för en bild av simulerad byggnad i IDA-ICE.



Figur 3: Modell av byggnad simulerad i IDA-ICE

Tabell 2: Materialval och U-värde för respektive byggnadsdel för simuleringarna i IDA-ICE för en byggnad uppförd enligt BBR 29 samt för en byggnad uppförd som passivhus.

Byggnad enligt BBR 29

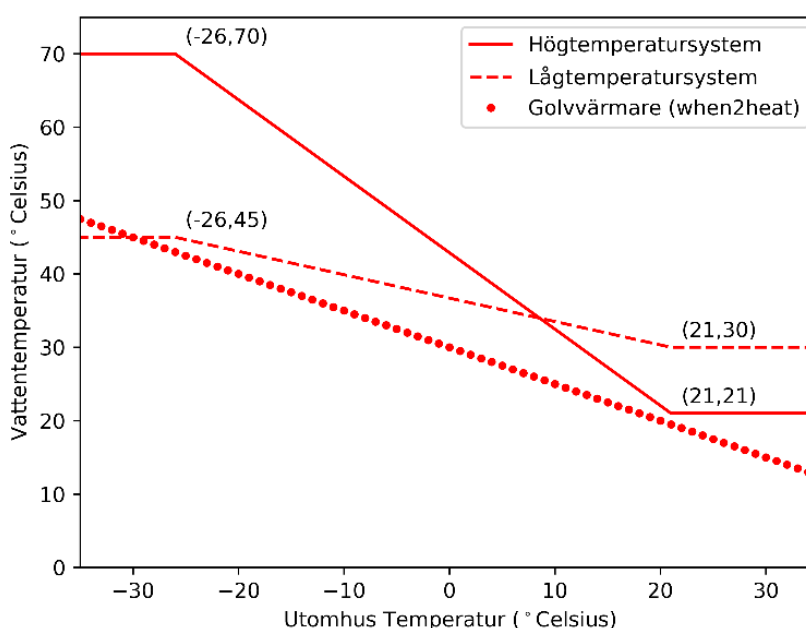
	material	Tjocklek (mm)	Konduktivitet (W/mK)	U-värde (W/m ²)
Tak	Betong	250	1,70	0,06
	Trä	22	0,14	
	Isolering	260	0,035	
Vägg	Betong	250	1,70	0,17
	Isolering	200	0,035	
	Betong	10	0,46	
Golv	Betong	250	1,70	0,15
	Cellplast	230	0,035	
	Betong	250	1,70	
Fönster	Glas	-	-	1,20

Byggnad som passivhus

	material	Tjocklek (mm)	Konduktivitet (W/mK)	U-värde (W/m ²)
Tak	Isolering	220	0,038	0,06
	Isolering	350	0,035	
	Betong	150	1,70	
Vägg	Isolering	350	0,035	0,10
	Betong	150	1,70	
Golv	Isolering	220	0,038	0,06
	Isolering	350	0,038	
Fönster	Betong	300	1,70	0,80
	Glas	-	-	

Luftomsättningen bestämdes i simuleringen till $0,35 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2$ enligt BBR 29 [19]. Enligt Statistiska Central Byrån är den genomsnittliga boytan $42 \text{ m}^2/\text{person}$ [38]. Från detta uppskattades antalet boende per våning till 10,1 personer med en antagen frånvaroprofil mellan 07.00-17.00 och effektavgivning på 80 W/person enligt Sveby [39]. Detta användes för att uppskatta värmeavgivningen från godtyckliga hushållsapparater och belysning till $932,7 \text{ W/våning}$. Vidare bestämdes tappvarmvattenanvändning till $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot A_{\text{temp}}\cdot\text{år})$ [39].

För att beskriva temperaturprofilen för hög- respektive lågtempererade distributionssystem (vatten) för rumsuppvärmning användes en studie av Hasan et al. [40]. I studien undersöktes en byggnads energianvändning vid implementering av hög- respektive lågtempererade rumsvärmare. I studien användes en designtemperatur för sommar och vinter på 21 respektive -26°C , för att definiera max- och minvärden för distributionssystemet. I Figur 4 har studien från Hassan et al. Kombinerats med max- och minvärden för golvvärmesystem enligt [41] där golvvärmens framledningstemperatur är linjärt beroende av utomhustemperaturen.



Figur 4: Temperaturprofil för hög- respektive lågtempererade uppvärmningssystem [40] samt en profil för golvvärmesystem som användes för simuleringarna av Nyhamn [41].

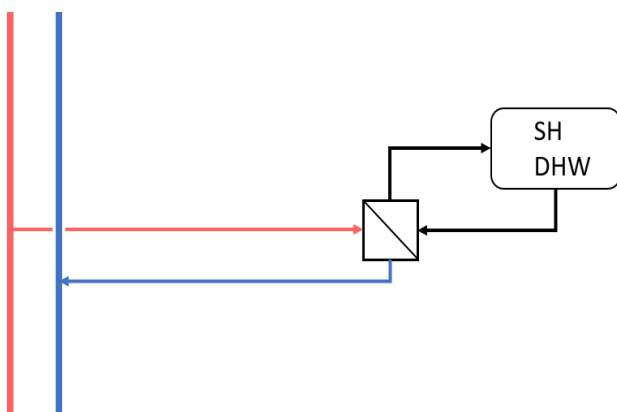
Vid simuleringarna av temperaturbehovet för uppvärmningssystemet för både passivhus och byggnad uppförd enligt BBR 29 placerades den valda rumsvärmaren i respektive zon. Rumsvärmarens framledningstemperatur och returtemperatur avlästes från bottenvåningen i simulerad byggnad då bottenvåningen kräver högsta framledningstemperaturen. Radiatorerna

modellerades med en effektavgivning på 100 W/m^2 , placerad under fönstret på ena långsidan av respektive våning, vilket gav en avgivningsyta på $11,7 \text{ m}^2$. Både konventionella radiatorerna simulerades med högtemperaturprofil enligt Figur 4 och lågtemperatur radiatorerna enligt lågtemperaturprofilen. Båda typerna av radiatorer designades att maximalt uppnå en inomhustemperatur på 21°C vid maximal effekt samt en temperaturskillnad mellan framledningstemperatur och returtemperatur på 10°C . Vidare simulerades golvvärme med 35 kretsar/våning, placerade 3 cm under golvytan, å 12 m^2 avgivningsyta för att täcka golvytan.

Effekt och temperaturskillnad mellan fram och returtemperatur sattes till 50 W/m^2 respektive 10°C enligt [40]. Med temperaturreglering bestämdes ett konstant massflöde på $0,014 \text{ kg/s}$, liknande studien av Zaheer-Uddin et al. [42]. Även detta system betraktades som lågtempererat och simulerades med lågtemperaturprofil.

Simulering av olika distributionstekniker för fjärrvärme

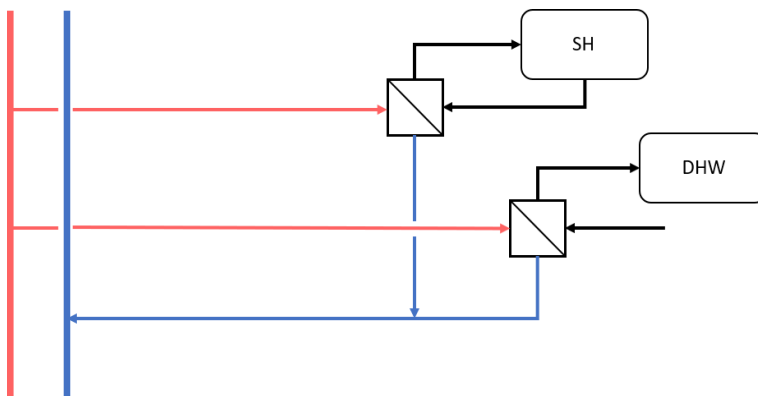
I detta projekt så simulerades tre olika distributionssystem för fjärrvärme. Det första var ett ”klassiskt” 2-rörssystem där framledningstemperaturen sattes till 60°C . Det kan då antas att lägenhetsvärmeväxlare används och då kan också framledningstemperaturen vara något lägre. Men för att säkerställa minimal legionellatillväxt antogs framledningstemperaturen till just 60°C [43]. I Figur 8 visas en schematisk bild för ett 2-rörssystem.



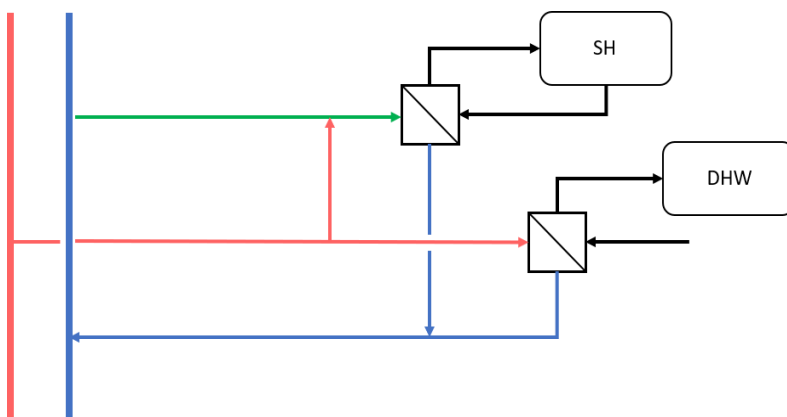
Figur 8: Illustration av rörkonfigurationen för 2-rörssystem. Värmeväxlarna för rumsuppvärmning och tappvarmvatten har en gemensam fram- och returledning. SH står för rumsuppvärmning och DHW står för tappvarmvatten.

Två andra distributionstekniker som simulerades var två olika 3-rörssystem. I det första exemplet ansluts framledning för rumsuppvärmning och tappvarmvatten till huvudsystemets primärledning. I det andra exemplet av 3-rörssystem används en kaskadkoppling där rumsuppvärmningens framledning ansluts till huvudsystemets

returledning. En schematisk bild över de olika 3-rörssystemen illustreras i Figur 9 och i Figur 10.



Figur 9: Illustration av rörkonfigurationen för 3-rörssystem där värmeväxlarna för rumsuppvärmning och tappvarmvatten ansluts till huvudsystemets primärledning. SH står för rumsuppvärmning och DHW står för tappvarmvatten.

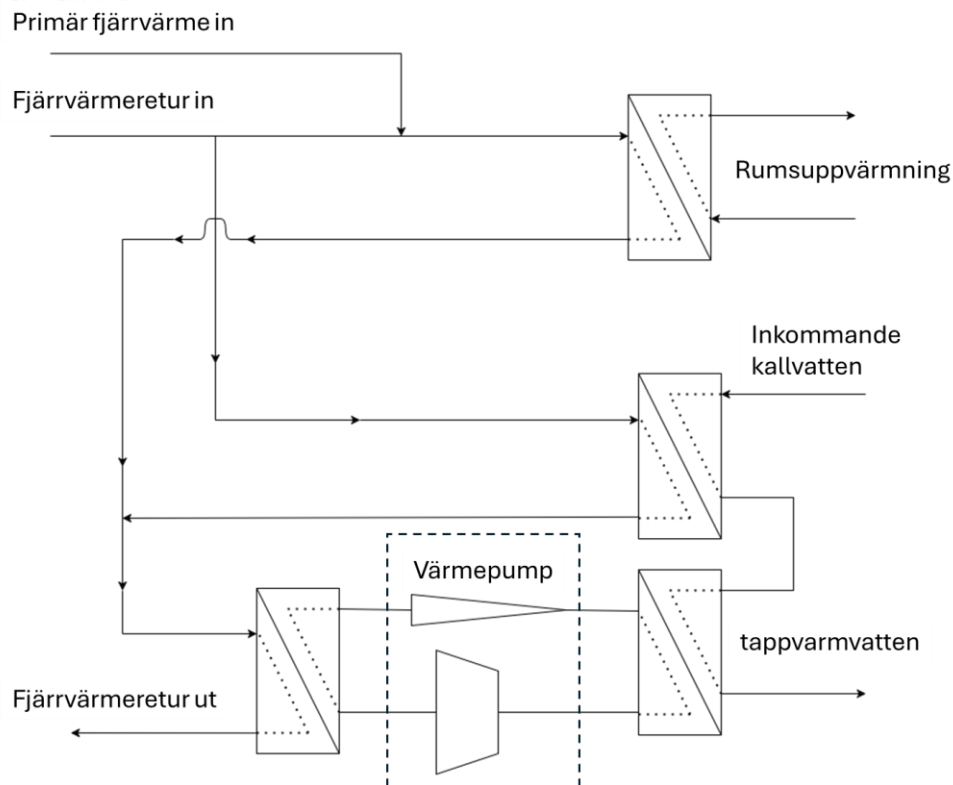


Figur 10: Illustration av rörkonfigurationen för 3-rörssystem där värmeväxlaren för rumsuppvärmning ansluts till fjärrvärmesystemets returledning men att tappvarmvattnets värmeväxlare ansluts till huvudsystemets primärledning. SH står för rumsuppvärmning och DHW står för tappvarmvatten.

För området Näringen gjordes framförallt övergripande simuleringar och för området Nyhamn gjordes mer detaljerade simuleringar. För området Nyhamn gjordes och simuleringar av fjärrvärmeanvändning för ett 3-rörssystem med design enligt kvarteret hyttkammaren i Falun.

Systemlösningen i kvarteret hyttkammaren innebär att returvärme används för rumsuppvärmning av fastigheten. Efter att rumsuppvärmning skett så används också returvärmen för att förvärma tappvarmvattnet som sedan värms upp av en värmepump. Det finns också en primär anslutning av

fjärrvärme för att säkerställa att korrekt temperatur kan upprätthållas. Se systembeskrivningen i Figur 11. Det finns också en ackumulatortank för lagring av tappvarmvatten.



Figur 11: Systembeskrivning enligt kvarteret hyttkammaren i Falun där returvärme används för uppvärmning av fastigheten. Efter att rumsuppvärmning skett så används också returvärmens för att förvärma tappvarmvattnet som sedan värms upp av en värmepump. Det finns också en primär anslutning av fjärrvärme för att säkerställa att korrekt temperatur kan upprätthållas.

Simulering av temperaturkrav på fjärrvärmesystem för området Näringen

För att kunna simulera olika systemutformningar av fjärrvärmesystem så användes en simuleringsmodell skapad av Press [44]. Implementeringen av modellen för detta arbete finns beskrivet i sin helhet i [31], [33].

Modellen baseras på grafteori vilket innebär att det undersökta systemet implementeras genom att alla förgreningar och anslutningspunkter definieras som noder/punkter och alla fjärrvärmeledningar som bågar/kanter som sammankopplar systemet till en komplett graf. Systemet kan beskrivas på matrisform av en kopplingsmatris med storleken $[n_n \times n_k]$ där n_n motsvarar antalet noder och n_k antalet kanter. Kopplingsmatrisen kan sedan användas för att beräkna distributionsförluster, tryckfall, temperaturfall och flöden.

Beräkning av flödet i fjärrvärmesystemet

Returflödet i ett tvärsnitt i fjärrvärmesystemet definieras som summan av massflödet från alla fjärrvärmecentraler bakom tvärsnittet i flödesriktningen och om systemet har en trädstruktur kommer flödet i framledningen alltid vara lika med returflödet [12]. Massflödet \dot{m}_{ut} kan beräknas då värmebehovet, framlednings- och returtemperatur för varje användare är känt enligt ekvation 3.

$$\dot{m}_{ut} = \frac{Q_i}{c_p(T_s - T_r)} \eta \quad (3)$$

Q_i definierar värmebehovet hos varje användare, c_p är specifika värmekapaciteten för vatten, T_s är framledningstemperaturen till användaren, T_r är returtemperaturen från användaren och η är verkningsgraden för användarnas värmeväxlare. För ett fjärrvärmesystem skiljer temperaturkravet på framledningen mellan olika användare. Det leder till att användaren med högst temperaturkrav på framledningen kommer dimensionera systemet för att säkerställa att värmelasten tillgodoses [44].

Beräkning av tryckfall i fjärrvärmesystemet

Vid beräkning av tryckfallet för en fluid i ett rör behöver diametern på röret vara känt. Dimensioneringen bestäms enligt ekvation 4 [43].

$$d_i = P \left(\frac{8\lambda}{\pi^2 \rho P_{d,i} m_i^2} \right)^{1/5} \quad (4)$$

$P_{d,i}$ är tryckfallet per meter och det sätts till 200 Pa/m. Detta antagande gjordes utifrån att fjärrvärmesystemet i Gävle är dimensionerat mellan 100 och 300 Pa/m. Det lägre tryckfallet gäller för huvudledningar och det högre längst ut i systemet. λ är friktionsfaktorn som beror på rörets ytråhet, ρ är vattnets densitet och m_i är det beräknade massflödet i varje rör från ekvation 1. Indexeringen ”i” i ekvation 4 och 5 indikerar att värdet är specifikt för varje rör. Tryckfallet i varje rör kan då bestämmas med Darcy-Weisbach ekvationen (ekvation 5) då massflödet och rördimensionen är känd.

$$\Delta P = f_{d,i} \frac{L_i \rho v_i^2}{d_i^2} \quad (5)$$

I ekvation 5 beskriver $f_{d,i}$ Darcy-Weisbach friktionsfaktor, L_i är längden på röret, d_i är diametern på röret, ρ är vattnets densitet och v_i vattnets hastighet vilket beräknas från flödet [45]. Tryckförlusterna beräknas på samma sätt för framledningen och returledningen där skillnaden endast är riktningen på flödet.

Beräkning av temperaturfall och distributionsförluster

I fjärrvärmesystem minskar framlednings- och returflödets temperatur i strömningsriktningen på grund av värmeförluster. Det medför att temperaturen på distributionsmediet när det lämnar produktionsanläggningen är högre än temperaturkravet hos användarna. Då temperaturkravet och massflödet (se ekvation 1) för användarna är känt kan distributionsförlusterna för systemet definieras med ekvation 6.

$$Q_{loss,i} = \dot{m}_i c_p (T_{s,i+1} - T_{s,i}) \quad (6)$$

I ekvation 6 är c_p vattnets specifika värmekapacitet, \dot{m}_i är massflödet för en ledning, $T_{s,i}$ är temperaturkravet i en punkt och $T_{s,i+1}$ är temperaturen som krävs i punkten efter för att uppfylla temperaturkravet i punkten "i". För två separata rör i marken beräknas temperaturfallet och distributionsförlusterna för framledningen och returen på olika sätt då de sammanfallande temperaturfälten beror på olika temperaturer. Framledningen påverkas av temperaturfältet från returflödet och returflödet påverkas i sin tur av temperaturfältet från framledningen [43]. Temperaturfallet för framledningen bestäms av ekvation 7 medan temperaturfallet för returflödet bestäms av ekvation 8. Både ekvation 7 och 8 beräknar temperaturfallet för rördelen "i" som sedan summeras till totala temperaturfallet.

$$\Delta T_{s,i} = \frac{4L_i((R_g + R_{is})\Theta_s - R_c\Theta_r)}{\rho v_i d_i c_p ((R_g + R_{is})^2 - R_c^2)} \quad (7)$$

$$\Delta T_{r,i} = \frac{4L_i((R_g + R_{is})\Theta_r - R_c\Theta_s)}{\rho v_i d_i c_p ((R_g + R_{is})^2 - R_c^2)} \quad (8)$$

Likheterna mellan ekvation 7 och 8 beror på påverkan av olika temperaturfält som diskuterats ovan. Det som skiljer dem åt är att Θ_s och Θ_r har skiftat plats. Värmemotstånden R_g , R_{is} och R_c definieras enligt ekvation 9 - 11 medan Θ_s och Θ_r definieras enligt ekvation 12 - 13.

$$R_g = \frac{d_i}{2\lambda_g} \ln\left(\frac{4h}{D_i}\right) \quad (9)$$

$$R_{is} = \frac{d_i}{2\lambda_{is}} \ln\left(\frac{D_i}{d_i}\right) \quad (10)$$

$$R_c = \frac{d}{2\lambda_g} \ln\left(\sqrt{\left(\frac{2h}{s}\right)^2 + 1}\right) \quad (11)$$

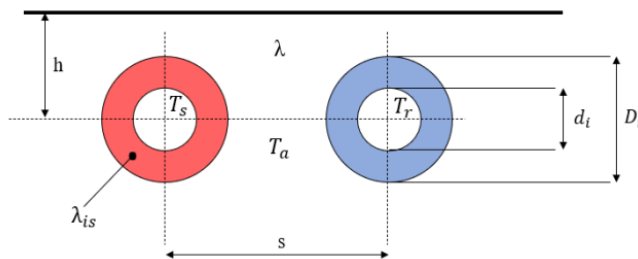
$$\Theta_s = T_{s,i} - T_a \quad (12)$$

$$\Theta_r = T_{r,i} - T_a \quad (13)$$

R_g är värmeöverföringsmotståndet i marken, R_{is} är isoleringsmotståndet och R_c är det sammanfallande temperaturfältet. I tabell 3 definieras de ingående parametrarna i beräkningarna och i figur 5 presenteras en schematisk bild över rörkonfigurationen.

Tabell 3: Definitioner av de ingående parametrar som används i ekvation 7-13.

Parameter	Definition	Enhet
T_s	Framledningstemperatur	°C
T_r	Returtemperatur	°C
T_a	Omgivningstemperatur	°C
L	Ledningslängd	m
d	Rördiameter	m
D	Yttre isoleringsdiameter	m
s	Avstånd mellan rörcentrum	m
h	Avstånd till markytan	m
λ_g	Värmekonduktivitet i mark	W/mK
λ_{is}	Värmekonduktivitet i isolering	W/mK
ρ	Densitet för vatten	kg/m ³
v	Strömningshastighet	m/s
c_p	Specifik värmekapacitet för vatten	J/kgK



Figur 5: Schematisk bild över fram- och returledning med aktuella parametrar för beräkningarna.

Ekvation 7 och 8 används för varje ledning i systemet och då temperaturkravet i den mest avlägsna noden är känt kan temperaturen i samtliga noder i systemet bestämmas genom iteration tills temperaturen i inloppet till systemet är bestämt. Detta medför att enbart den mest avlägsna noden får en temperatur som motsvarar det lägsta temperaturkravet för fastigheten och alla övriga noder erhåller en högre temperatur. Då temperaturen är känd i alla noder i systemet kan medeltemperaturen för alla ledningar bestämmas genom att ta medelvärdet av temperaturerna i noderna som ledningen kopplar ihop. Denna temperatur används sedan för att beräkna distributionsförlusterna för varje rör i framledningen och returen enligt ekvation 14 och 15 [43].

$$Q_{s,i} = \frac{L_i \pi d_i ((R_g + R_{is}) \theta_s - R_c \theta_r)}{((R_g + R_{is})^2 - R_c^2)} \quad (14)$$

$$Q_{r,i} = \frac{L_i \pi d_i ((R_g + R_{is}) \theta_{sr} - R_c \theta_s)}{((R_g + R_{is})^2 - R_c^2)} \quad (15)$$

Returflödet som primär värmekälla i ett sekundärt värmenät (cascading)

En sänkt returtemperatur på fjärrvärmenätet ger som tidigare beskrivet en bättre systemverkningsgrad och till exempel ett högre utbyte från rökgaskondensering i kraftvärme- och värmepannor. Ett sätt som används på olika håll är att använda returflödet för uppvärmningsbehov där låg temperatur behövs som till exempel markvärme vintertid eller uppvärmning av pooler med mera. Dock kan returflödet också användas som primär energikälla i ett sekundärnät med låga temperaturer, så kallat "cascading". I denna rapport analyseras möjligheten att använda returflödet från det ordinarie fjärrvärmesystemet som en primär värmekälla för både området Näringen och Nyhamn.

För ett beräkna möjligheterna med cascading analyserades tre olika scenarion för tillgängligt flöde från primära fjärrvärmesystemet till primärt flöde till Näringen/Nyhamn:

- Använder tillgängligt flöde som det maximala flödet vid sämsta timmen
- Antar att flödet från en närliggande fjärrvärmeledning också kan användas till det maximala flödet vid sämsta timmen
- Antar att det finns obegränsat flöde att tillgå.

I ekvation 16 definieras tillgängligt värmebehov utifrån massflödet och tillgänglig temperatur i returflödet (T_r) samt temperaturkrav i uppvärmningssystemet (T_{SH})

$$Q_{retur} = \dot{m} c_p (T_r - T_{SH}) \quad (16)$$

Därefter kan flödesbehovet i returledningen beräknas enligt ekvation 17 där värmebehovet uttrycks som Q_{SH} .

$$\dot{m}_{retur,behov} = \frac{Q_{SH}}{c_p (T_r - T_{SH})} \quad (17)$$

De tillgängliga returflödena beror på vilket scenario som antagits för tillgängligt flöde. Om inte tillgängligt flöde är tillräckligt för uppvärmningsbehovet och att detta ska täckas av värme från det primära fjärrvärmesystemet så definieras flödet från primära fjärrvärmesystemet enligt ekvation 18.

$$\dot{m}_{primär} = \frac{E_{SH-kvar}}{c_p (T_{primär} - T_{SH})} + \frac{E_{ttv}}{c_p (T_{primär} - T_{ttv})} \quad (18)$$

Därefter kan den totala returtemperaturen efter användningen av returflödet beräknas utifrån en summering av samtliga övriga returflöden vilket presenteras i ekvation 19.

$$T_{mix} = \frac{\sum_{i=0}^i \dot{m}_i \times T_i}{\sum_{i=0}^i \dot{m}_i} \quad (19)$$

Simulering av fjärrvärmesystemet i området Näringen

Fjärrvärmeanvändningen sommartid är generellt låg då behov för rumsuppvärmning i byggnader saknas. Värmeanvändningen är därmed begränsad till tappvarmvattenanvändning i bostäder. Det medför att flödet i systemet går mot noll och att därmed förlusterna i fjärrvärmesystemet blir relativt höga. Detta löses generellt med så kallade bypass-ventiler som garanterar ett minimumflöde oavsett värmebehov [43].

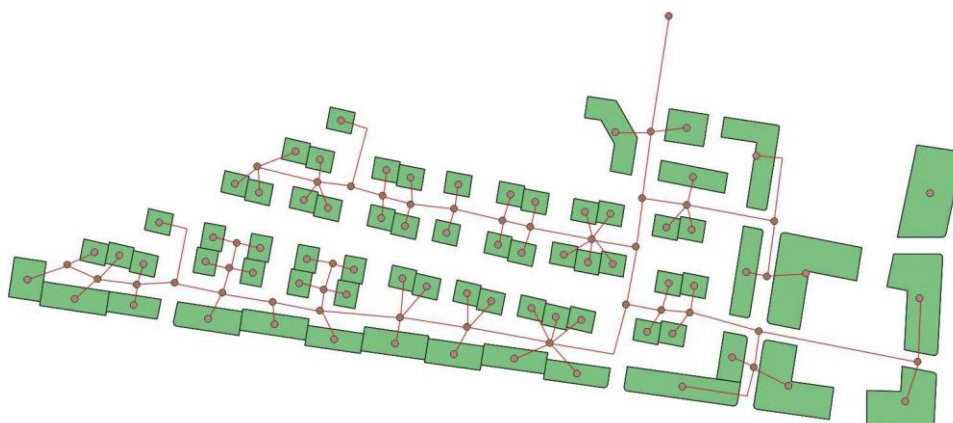
Beräkningsmodellen som använts begränsar flödet till ett minimivärde för att simulera effekten av bypass-ventiler de timmar värmebehovet är lågt. Detta minimiflöde bestäms genom iterering av värmebehovet tills det lägsta möjliga flödet med rimliga värmeförluster erhölls [31], [33].

För att kunna beräkna temperaturnivåer och flödesbehov i fjärrvärmenätet för området Näringen så användes två delområden som exempelområden för beräkningarna. Fjärrvärmesystemen utformades utifrån byggnadernas placering i Figur 2. Fjärrvärmenätets uppbyggnad följer en trädstruktur och det finns således inga "loopar" samt endast ett inlopp till systemen. Utöver detta gjordes antaganden gällande var inloppet till områdena placerades för att minimera avståndet till systemens yttersta anslutningspunkt. Kartbilden med fjärrvärmesystem laddades sedan in i programmet QGIS [46] och med det i QGIS integrerade mätverktyget bestämdes alla rörlängder. Då ingen information gällande placering av fjärrvärmecentralen fanns för byggnaderna antogs vara placerad centralt i vardera byggnad.

Delområde ett på Näringen som användes bestod av totalt 33 byggnader varav 29 av dessa var bostäder och 4 var lokaler. Delområde två bestod av totalt 69 byggnader varav 53 var bostäder. Bilder på delområdena med antagen trädstruktur för fjärrvärmenätet presenteras i Figur 6 respektive Figur 7.



Figur 6. Delområde ett av Näringsen som användes för simulering av fjärrvärmesystem.



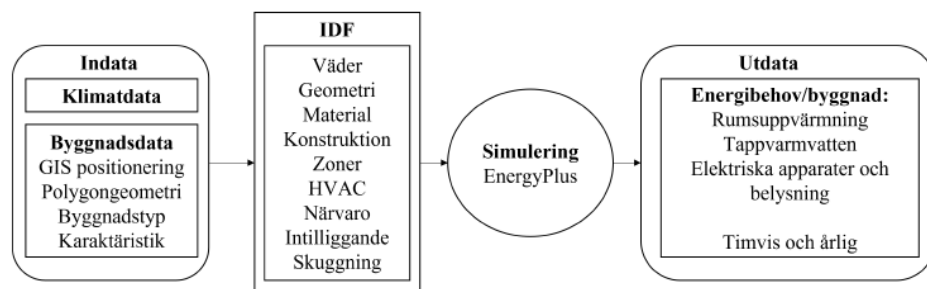
Figur 7. Delområde två av Näringsen som användes för simulering av fjärrvärmesystem.

Urban Building Energy Model

I syfte att simulera energianvändning i storskaliga urbana byggnadsområden har flertalet Urban Building Energy Models (vidare benämnt som UBEMs) modellerats. Modellerna använder fysikaliska samband för att beskriva samverkan mellan värme och massflöden i 3D-byggnader. Modellen kan användas på nya likväl existerande stadsdelar med bestämd geografisk placering [47].

I detta projekt användes en UBEM, modellerad i Python, skapad av F. Johari [30]. Modellen är baserad på allmänt tillgängliga data från Lantmäteriet och Boverket. Då modellen simulerar bostadshus kräver modellen följaktligen också brukarindata. För att möjliggöra simulering av

energibehov för kommersiella byggnader användes en närvaro-modell skapad av Sandels et al. [48] och kompletterat den ursprungliga UBEM. Kommersiella byggnader var med i simuleringen när hela området Näringen simulerades, för området Nyhamn simulerades bara bostäder. För att genomföra simulering krävdes specifik datainput i form av byggnadsdata och klimatdata. Se Figur 11 för en schematisk bild av UBEM-modellen baserad på F. Johari [36]



Figur 11: En schematisk bild av UBEM-modellen baserad på F. Johari [30].

Byggnadsdata

Det har genomförts simuleringar på hela området Näringen samt för det mindre området Nyhamn. Gemensamt för båda simuleringarna var att planskisser för områdena och användes som geografisk data. Dessa tillhandahölls av Skoog Arkitekter och SpaceScape (Näringen) samt Gävle kommun (Nyhamn). Den förstnämnda var baserad på ett av de tidiga gestaltningsförslagen och den andra var baserat på tidigare planskisser för området Gävle Strand som då kombinerades med planskissen för den aktuella delen av Näringen. Notera att det inte ska tolkas som att området kommer bli som antaget utan det är just tidiga gestaltningsförslag.

Antalet våningsplan och verksamhet för respektive byggnad (bostad eller verksamhetslokal) fanns angivet i arbetsmaterialet för planskisserna. Vidare användes QGIS för att inkludera attribut till respektive byggnad som sedan användes i UBEM-modellen för att specificera varje individuell byggnads karaktäristik. En sammanställning av de attribut som manuellt angivits till respektive byggnad sammanfattas i Tabell 4. Från planskiss specificerades byggnadstyp, *i*, till flerbostadshus eller lokal samt antalet våningar, *n*. Ventilationstyp, *m*, valdes till att använda att FTX-system med verkningsgraden 75%. Det så kallade windows to wall ratio (*wwr*) sattes till 20%. Samtliga byggnader gavs ett byggnadsnummer och byggnadsår sattes till 2025 utifrån att framtida bebyggelse simulerades (Simuleringarna genomfördes innan år 2025). Tabell 4 visar byggnadsnummer fram till 329 vilket var antalet byggnader på hela området Näringen.

Tabell 4: Datainput för Näringens byggnaders karakteristik till UBEM-modellen. Där n är antalet våningar, m är ventilationstyp och i är byggnadens verksamhet.

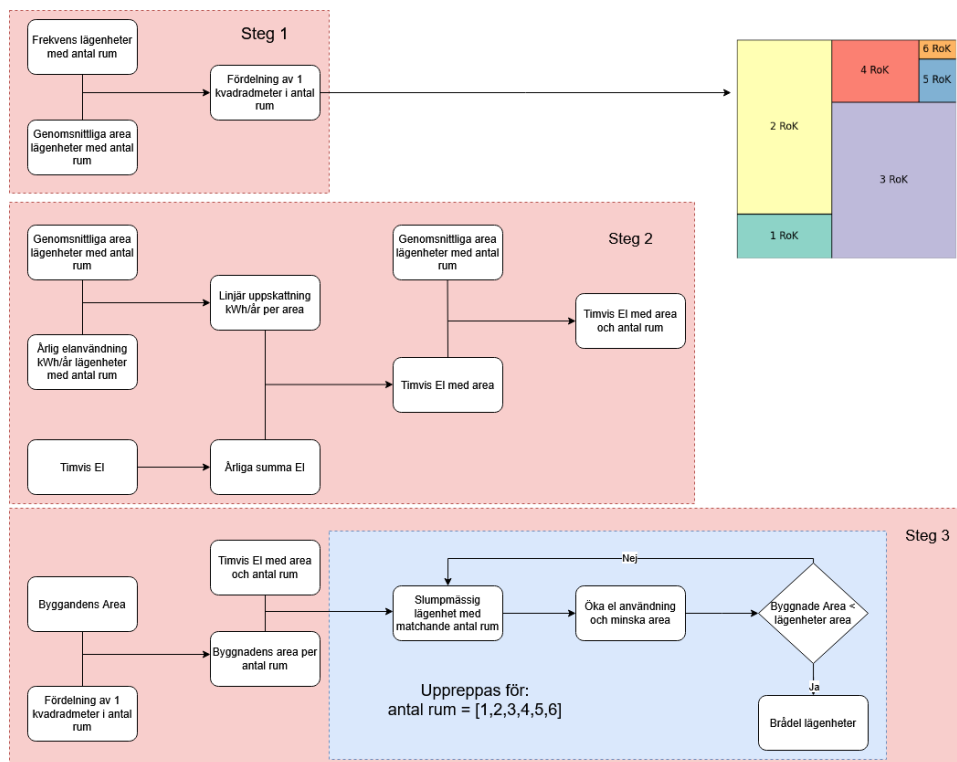
Byggnadsnummer	Byggnadstyp	Våningar	Ventilation	Byggnadsår
1	i	n	m	2025
2	i	n	m	2025
3	i	n	m	2025
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
329	i	n	m	2025

Klimatfil för simuleringar

I arbetena [32], [34] användes en klimatfil framtagen via PVGIS Online Tool vilket var årskorrigerade data för Gävle [49]. De framtagna data kompletterades med utomhustemperaturer i Gävle uppmätta av Gävle Energi AB. Till senare simuleringar i projektet användes uppmätta klimatdata från 2022. Dessa klimatdata var uppmätta vid Högskolan i Gävle. Då senare simuleringar använde verkliga timdata för elanvändning i lägenheter och för driften av fastigheter och att klimatdata för samma år och plats också användes för att simulera solcellsproduktion så erhöles en korrelation mellan brukarbeteende vid soligt väder och erhållna elproduktionsdata från solcellssimuleringarna.

Elanvändning i simulerade byggnader

För de initiala simuleringarna av hela området Näringen användes de av F. Johari använda inställningarna vid simulering med UBEM [37]. För att få ett mer dynamiskt och mer verklighetsnära elanvändning så erhöles timdata för elanvändningen för 559 lägenheter från år 2022. Dessa 559 lägenheter ägs av det kommunala bostadsbolaget Gavlegårdarna AB [50] och lägenheterna är lokaliserade i de 15 byggnader som Gavlegårdarna AB uppförde mellan 2011 och 2021. Utifrån regelverket för GDPR var data anonymiserat och inte kopplat till någon annan information kring byggnaden/de boende. Dock så erhöles information om antalet lägenheter och storleken för dessa i vardera av de 15 husen där data för lägenheterna hämtades. Detta tillsammans med information om övriga utrymmen men också timdata för använd fastighetsel för dessa byggnader. Utifrån de tillgängliga data så skapades en matematisk modell för att, utifrån storleken för byggnaderna som simulerades, göra antaganden om antalet lägenheter i vardera byggnad, storleken på dessa samt timdata för elanvändningen. Tillsammans med beräknad fastighetsel summerades sedan totala elanvändningen för varje byggnad med timupplösning. Beräkningsmodellen kan sammanfattas enligt Figur 12.



Figur 12: En schematisk bild hur timdata för en fastighets elanvändning beräknas utifrån anonymiserade lägenhetsdata från 559 lägenheter i Gavlegårdarnas bostadsbestånd samt data för använd fastighetsel för de 15 fastigheterna med lägenheterna.

Metoden för att skapa en timdataserie för årlig elanvändning för en planerad fastighet kan delas upp i tre delprocesser. Den första processen bestämmer antal kvadratmeter och antalet rum i en lägenhet. Den andra processen bestämmer en timdataserie för lägenhetens årliga elanvändning. Den tredje processen bygger sedan upp antalet lägenheter med olika antal rum för att slutligen få fram fastighetens totala elanvändning utifrån vardera lägenhets timdataserie. Därefter tilldelas fastigheten en fastighetsel utifrån en linjär approximering baserat på A_{temp} från en slumpvald uppmätt timserie av fastighetsel. De olika processerna förklaras närmare nedan:

1. Bestämmande av fördelning av antal rum per ytenhet ($1m^2$).
 - a. Utifrån statistiskt underlag för Gävles fastighetsbestånd och fördelning av antalet rum i varje lägenhet bestäms fördelningen av antalet rum per ytenhet $1 m^2$.
 - b. Utifrån statistiskt underlag för hur många kvadratmeter en lägenhet av typen 1 rum och kök (RoK), 2 RoK osv. i Gävle är så multipliceras fördelningen av antalet rum med värdet för antalet kvadratmeter för den typen av lägenhet.

2. Framtagande av timserier för lägenhetsel.
 - a. Linjär uppskattning av kWh/år per ytenhet (1m^2).
 - b. Summera timvis data för att få årlig summa.
 - c. Applicering av linjär ekvation till en årliga summa vilket ger en yta (area) för varje lägenheter med timvis data.
 - d. Klassificering av lägenheter med olika antal rum (1 RoK, 2 RoK, osv) baserat på given yta jämfört med genomsnittlig area för antal rum.
3. Uppskattning av en byggnads hushållsel.
 - a. Multiplikering av genomsnittlig kvadratmeter (från steg 1) med byggandens area för att erhålla hur stor areaandel som tillhör varje lägenhetstyp (antal RoK). Detta är tillgänglig area för att fylla med lägenheter.
 - b. För varje lägenhetstyp, tas en slumpmässig timdataserie med matchande antal rum och kök (som klassificeras i steg 2).
 - c. Summerar lägenhetens timdataserie till byggnadens totala användning av hushållsel och minska med lägenhetens area (uppskattas under steg 2c) utifrån tillgänglig area från bygganden.
 - d. Upprepa tills tillgängliga area för antal rum är noll. Sista lägenhet anpassas efter tillgänglig area.
 - e. Upprepa för alla antal rum och kök (från steg 3b). I detta fall från 1 RoK till 6 RoK.

Solcellssimuleringar med PVsyst och tre simulerade installationsalternativ

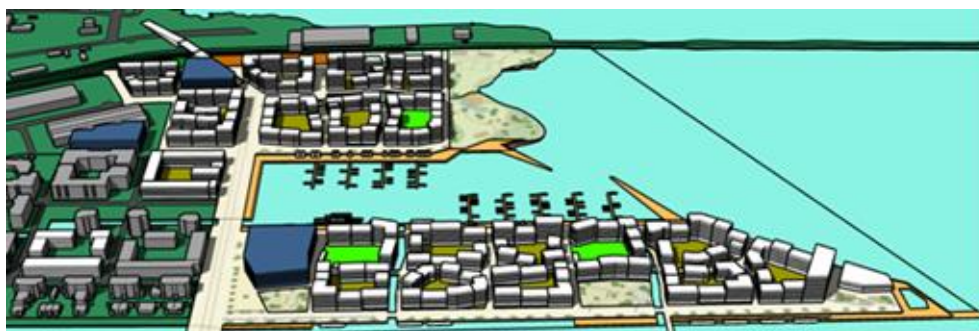
Solcellssimuleringarna som genomfördes på området Nyhamn simulerades i programmet PVsyst. PVsyst är ett väl använt simuleringsprogram av både akademien för forskning men även för kommersiellt användande [51]. Utifrån de ritningar som tillhandahölls av Gävle kommun för området Nyhamn skapades både 2D- och 3D-filer som importerades till PVsysts "skuggplaneringsschema". På grund av ritningarnas detaljerade natur förenklades skisserna för att minska den beräkningsmässiga komplexiteten.

För takmonterade system simulerades både för öst-väst monterade system med 10° lutning, system placerade i riktning syd-nord med 10° lutning samt sydlig orientering med lutning 10° , 15° och 20° . För byggnader lämpliga för fasadmontage (med låg skuggning från omgivningen) simulerades också system (vertikala, 90°) för att maximera

solinstrålningen vid höga latituder. Det är inte vanligt att montera solcellsanläggningar i riktning mot norr men vid låg lutning på modulerna kan det ge en riklig produktion som tillsammans med sydmonterade system ger en jämnare produktion över dygnet jämfört med enbart sydmonterade solcellssystem.

Layouten för solcellssystemen som genererades i PVsyst syftade till att maximera installerad solcellseffekt på vardera fastighet men med hänsyn till skuggproblematiken från omkringliggande rader av solcellspaneler samt omkringliggande byggnader/byggnadsdelar. Orsaken till att installerad solcellseffekt maximerades berodde på grundkriteriet i projektet att bostadsområdet ska ha en hög andel solcellsproducerad el men också utifrån att utvärdera om området kan uppfylla huvudkriteriet att vara ett ”Positive Energy District” (PED) vars grunddefinition är att mer energi ska produceras inom området än vad som används.

Vid simuleringarna i PVsyst användes generiska monokristallina 440 W_p ”half-cut” solcellsmoduler och generiska växelriktare med effekten 3 till 60 kW_{ac}. Växelriktarna anpassades efter modulantalet på vardera fastighet. I Figur 13 visas byggnadsalternativ 1 vid Nyhamn där de gråa husen är existerande byggnader som är inlagda i modellen utifrån att de kan skapa skuggproblematik som påverkar solelproduktionen. De blå byggnaderna är byggnader utan uppvärmning men där taken i simuleringarna används för installation av solcellanläggningar. Det är till exempel parkeringsutrymmen.



Figur 13: Byggnadsalternativ 1 där de gråa husen är existerande byggnader idag som i simuleringarna av solcellsproduktion är inlagda utifrån att de kan skapa skuggproblematik. De blå byggnaderna är byggnader utan uppvärmning men där taken i simuleringarna används för installation av solcellanläggningar.

Ett alternativt scenario för byggnation av området Nyhamn analyserades också efter diskussion med Gävle kommun. Dessa byggnader är färre till antalet men har en jämnare höjd vilket kan vara en fördel ur bland annat solcellssynpunkt. Figur 14 visar byggnadsalternativ 2.



Figur 14: Byggnadsalternativ 2 där de gråa husen är existerande byggnader idag som i simuleringarna av solcellsproduktion är inlagda utifrån att de kan skapa skuggproblematik. De blå byggnaderna är byggnader utan uppvärmning men där taken i simuleringarna används för installation av solcellanläggningar.

Vid simuleringar i programmet PVsyst användes en linjär skuggmodell samt att antagande om en horisontskuggning av 10° . Det senare innebär att viss skuggning antas då solen står lågt vilket framförallt ger en mer verklighetstrogen simulerad elproduktion vintertid. Observera dock att PVsyst inte tar hänsyn till snötäckning på moduler. Snötäckning kan göra stor skillnad under vintermånaderna med upp till 100% förlust av produktionen månadsvis men också på årsbasis medföra en minskad produktion på upp till 20% i norra Sverige [52].

Vid dimensioneringen av de olika solcellsanläggningarna det vill säga system med öst-väst montage med 10° lutning, system med syd-nord montage med 10° lutning samt sydlig orientering så erhöles olika systemstorlekar. För att kunna jämföra dessa så gjordes en linjärisering av produktionen vilket i detta sammanhang innebar att produktionen per installerad kW_p antogs vara konstant för de olika systemen men solcellsarean anpassades för att erhålla samma topp effekt för systemen. För att analysera effekterna av olika storlekar på installerade solcellsanläggningar har också en linjärisering gjorts för att minska installerad topp effekt och därmed solcellsproduktion inom området.

Antaganden för värmepumpssystem, kylsystem samt simulerade scenarion för värme och kyla

Vid simuleringarna för värmepumpar som presenteras i denna rapport används ett statiskt (konstant) SCOP-värde på 3,5 och för kompressorkyla har ett statiskt värde på 2,5 använts. Vid simuleringar där en värmepump används för uppvärmning av tappvarmvattnet har ett statiskt SCOP på 4,5 använts. Den höga faktorn för värmepumpens SCOP motiveras med att inkommande tappvarmvatten till värmepumpen har förvärmats med byggnadens returvärme och att även värmen till värmepumpen tas från returflödet.

I de mer utförliga studierna som genomförts inom projektet och som har publicerats vetenskapligt har också luft/vattenvärmepumpar simulerats och då med ett statistiskt SCOP-värde på 3,0. Det har också gjorts simuleringar där dynamiska COP-värden har använts och där de simulerade värmepumparna har levererat både värme- och kylbehovet. De dynamiska beräkningarna utgår från [41] och metoden baseras på en funktion av utomhus- och inomhustemperatur som är kopplade till värmepumpens förångnings- och kondenseringstemperatur.

De olika scenarierna som presenteras i denna rapport kan summeras enligt tabell 5 där också en kortare beskrivning av scenarierna presenteras.

Tabell 5. De analyserade scenarierna för hur värme och kyla tillförs till bostadsområdet.

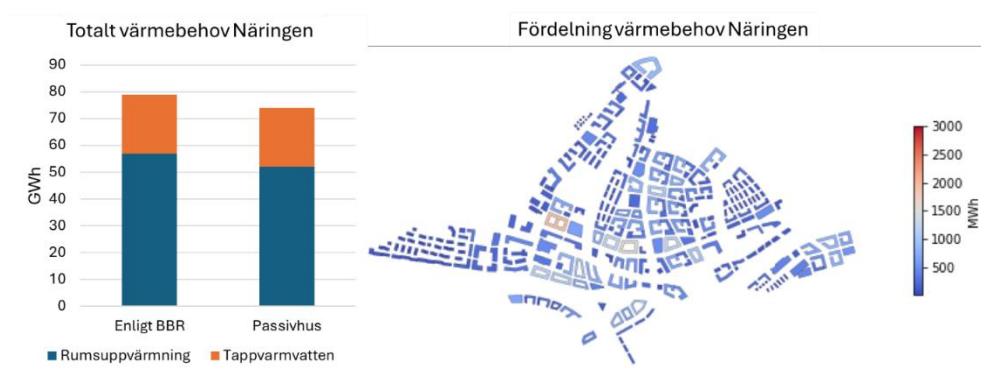
Scenario	Beskrivning av scenario
FJV	Grundscenariot är att fjärrvärme står för uppvärmningen i området och att inga överföringsförluster mellan fjärrvärme och byggnaderna finns.
FJV + PV	Uppvärmningen av fjärrvärmesystem analyseras tillsammans med installerade solcellssystem på byggnaderna.
VP	Uppvärmningen av fastigheterna görs med värmepumpssystem med en statistisk SCOP = 3,5
VP + PV	Värmepumpssystemen kombineras med solcellsanläggningar på byggnaderna
VP för tvv + PV	Värmepumparna analyseras utifrån att de täcker tappvarmvattenbehovet, här används också en vatten/vattenvärmepump med en statistisk SCOP = 4,5.

Resultat

Detta avsnitt kommer initialt beskriva resultaten för simuleringarna av energianvändningen för hela bostadsutvecklingsområdet Näringen och då med fokus på totala uppvärmningsbehovet. Därefter redovisas resultaten för temperaturbehovet för fastighetens uppvärmningssystem samt lägsta framledningstemperatur på fjärrvärmesystemet. Därefter presenteras mer detaljerade simuleringar för bostadsutvecklingsområdet Nyhamn där värmebehovet presenteras med olika uppvärmningstekniker. Fastigheterna simuleras därefter med solcellssystem monterade i olika riktningar där också olika systemstorlekar uppskattas. Därefter analyseras samspelet mellan värme, kyla och produktion/användning av el för ett bostadsområde med en hög andel solcellsproducerad el.

Simulering av energibehov för hela bostadsutvecklingsområdet Näringen

Det totala värmebehovet för bostadsutvecklingsområdet Näringen är, för simuleringar enligt BBR 29, 79 GWh/år varav tappvarmvattenbehovet utgör 22 GWh/år. För simuleringarna enligt passivhusstandard så sjunker värmebehovet med 5 GWh för området, dock är tappvarmvattenbehovet lika för både scenarierna. Figur 15 visar totala värmebehovet för Näringen (t.v.) men också hur fördelningen av värmebehovet ser ut för området (t.h.).

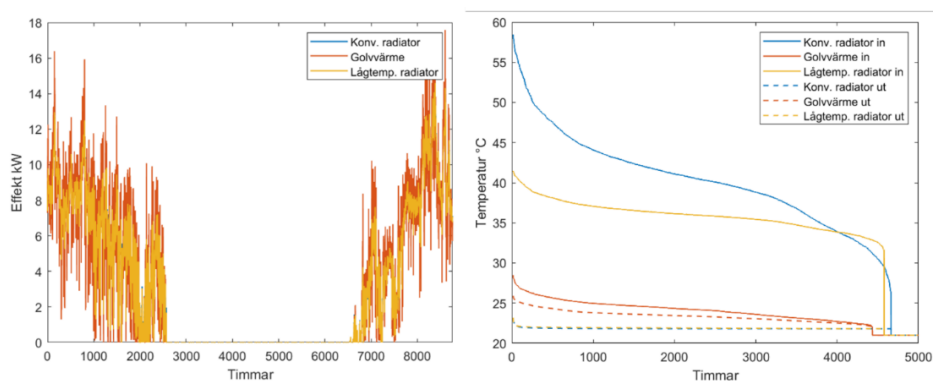


Figur 15. Till vänster i figuren visas den totala simulerade värmemängden för området Näringen och till höger visas översiktligt hur byggnadernas värmebehov varierar.

Fördelningen av värmebehovet visar att det är ett fåtal byggnader som har en högre energianvändning för uppvärmning. Dessa byggnader är generellt högre och har därmed en större klimatskärm vilket ökar energianvändningen totalt men inte nödvändigtvis med en sämre energiprestanda enligt BBR 29s beräkningsmodell för en byggnads primärenergital.

Temperaturbehovet för fastigheter med olika uppvärmningssystem

För att kunna göra beräkningar på hur ett fjärrvärmesystem kan vara utformat för området Näringen beräknades temperaturbehovet för olika uppvärmningssystem för en ”typbyggnad” i området. De tre olika uppvärmningssystemen var konventionella radiatorer, lågtemperaturreadiatorer samt om golvvärme används för uppvärmning. Figur 16 presenterar hur uppvärmningsbehovet för de simulerade byggnaden varierar över året samt vilken framledningstemperatur som krävs för att uppfylla uppvärmningsbehovet för typbyggnaden uppförd enligt BBR 29s kriterier.



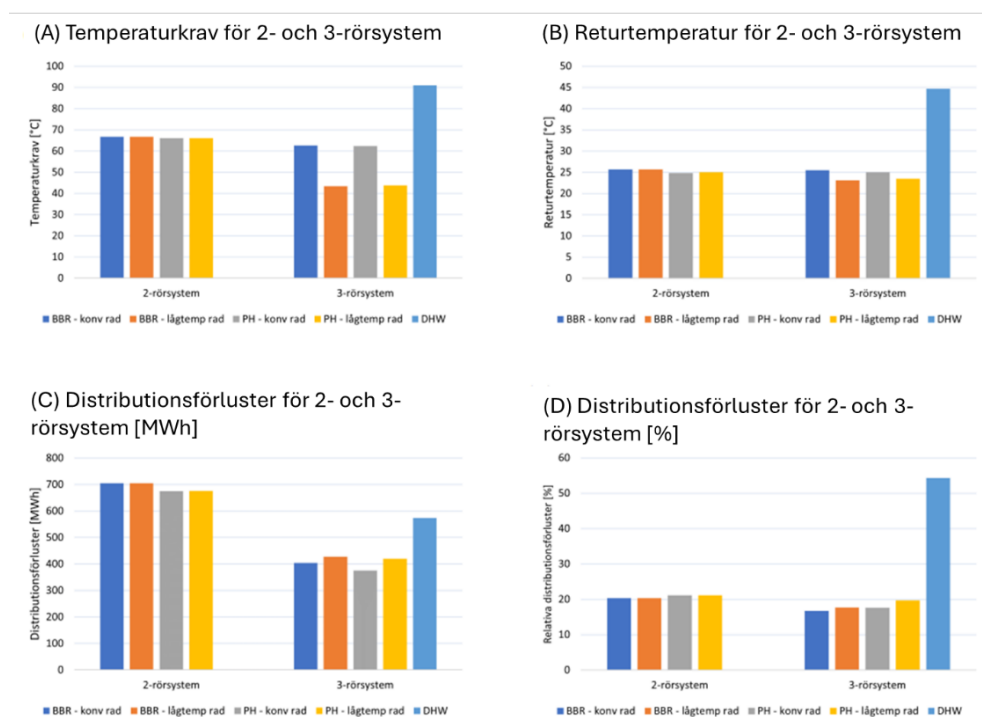
Figur 16. Till vänster i figuren visas hur effektbehovet per timme varierar över året för de tre olika uppvärmningssystemen och den simulerade typbyggnaden enligt BBR 29 standard. Till vänster visas temperaturbehov till de olika uppvärmningssystemen samt utgående temperatur, detta visas i ett varaktighetsdiagram baserat på uppvärmningsbehovet till vänster i figuren.

Figur 16 visar att för typbyggnaden enligt BBR standard så kräver byggnaden en tillförd rumsvärme under cirka 4550 h per år. Golvvärme för rumsuppvärmning kräver lägst framledningstemperatur av de jämförda uppvärmningssystemen vilket naturligtvis beror på att golvvärme har störst värmeavgivande yta. Den lägsta framledningstemperaturen för golvvärmesystemet för att klara typhusets uppvärmningsbehov vid dimensionerande vinterutetemperatur beräknas till 27°C. För lågtemperaturreadiatorer i typhuset krävs en framledningstemperatur på maximalt 41°C och för konventionella radiatorer 58°C. Observera dock att en något högre framledningstemperatur för golvvärmesystem har antagits vid senare beräkningar vilket förklaras i Figur 4 med tillhörande förklarande text. Den antagna framledningstemperaturen benämns ”Golvvärme (when2heat)” i figuren.

Fjärrvärmesystemet området Näringen

Fjärrvärmesystemet simulerades i två olika delområden, delområde 1 och 2 (se Figur 6 och 7). Dessa två delområden simulerades sedan med tre

olika fjärrvärmepprinciper: 2-rörssystem, 3-rörssystem samt 3-rörssystem där cascading används (Figur 8 - 10). Cascading innebär att returflödet från det primära fjärrvärmesystemet används som primärt flöde inom området Näringen. Figur 17 visar resultaten för delområde 1 på Näringen och presenteras i fyra diagram där A visar distributionstemperaturen för ett 2-rör och 3-rörssystem, B visar returtemperaturen för ett 2-rör och 3-rörssystem, C visar distributionsförlusterna i absoluta tal och D visar distributionsförlusterna i relativa tal. Resultaten är presenterade för både om byggnaderna är byggda enligt BBR eller passivhus standard. Simuleringar för temperaturkrav och returtemperatur är genomförda vid den dimensionerande vinterutomhustemperaturen, DVUT, och mer detaljerad information kring simuleringarna är presenterade i [31], [33].



Figur 17. Diagram A visar distributionstemperaturen för ett 2-rör och 3-rörssystem och diagram B visar returtemperaturen för ett 2-rör och 3-rörssystem, båda A och B visar temperaturerna vid DVUT. Diagram C visar de årliga distributionsförlusterna i absoluta tal och D visar de årliga distributionsförlusterna i relativa tal.

Resultaten visar att de absoluta distributionsförlusterna är lägre för passivhusen medan de relativa distributionsförlusterna är lägre för byggnaderna byggda enligt BBR 29. Distributionsförlusterna för tappvarmvatten står för en stor andel av förlusterna för 3-rörssystem och de sammanlagda förlusterna blir större för 3-rörssystem än för det simulerade 2-rörssystemet. Detta för alla uppvärmningssystem och för både passivhus och byggnader enligt BBR 29.

Delområde 2 på Näringen har ett högre energibehov för uppvärmning än delområde 1 och det påverkar resultaten något. Den stora skillnaden är värmeförlusterna i absoluta tal som är väsentligt högre men de relativa förlusterna är bara något högre. Detta beror på en något högre framlednings- och returtemperatur för delområde 2 jämfört med delområde 1 [31], [33].

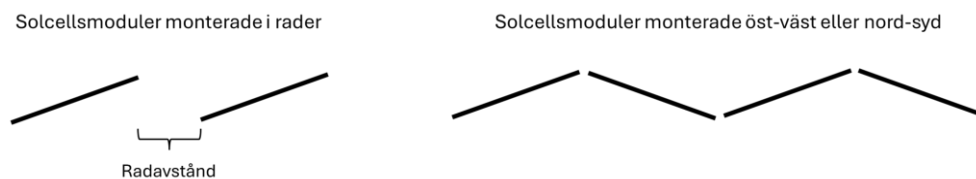
Det är viktigt att poängtera att i denna studie så har kortslutningsflöden antagits vara låga i tappvarmvattenkretsen i 3-rörsystemet. Det resulterar i att det krävs höga framledningstemperaturer och då temperaturskillnaderna mellan ledningstemperatur och mark är avgörande för rörförlusterna så medför det också höga förluster. Om högre flöden hade använts, dvs högre flöde i by-pass ventilerna, så hade en lägre framledningstemperatur kunnat användas men det hade då medfört en högre returtemperatur men detta undersöktes inte vidare i projektet.

För att kunna använda returvärme i ett så kallat cascading-system så behöver flödet i tillgänglig returledning vara tillräckligt för att tillgodose områdets värmebehov. I fallet med Näringen så är tillgängligt flöde för lågt för att tillgodose hela området. Då beslut i Gävle kommun pausade utbyggnaden av Näringen och fokuserar på området Nyhamn så beslutades att fortsatta analyser ska utgå från området Nyhamn och dess förutsättningar (vilket också passar projektets förutsättningar med till exempel tillgängligt returflöde i fjärrvärmesystemet).

Observera att dessa resultat ska ses som preliminära då huvudsyftet med beräkningarna har varit att ta fram metoden och ge en bild av problematiken. I detta arbete har inte resultaten analyserats vidare och vid fortsatta beräkningar har antaganden gjorts som skiljer sig något utifrån antagandena vid simuleringarna av rörförluster och returtemperaturer för de analyserade delområdena på Näringen.

Solcellssystem och elproduktion på området Nyhamn

När solcellssystemen för de båda byggnadsalternativen dimensionerades så användes maximal takyta. Öst-väst och syd-nord montage kan installera en högre topp effekt per takytan eftersom montaget inte är beroende av ett radavstånd mellan modulerna för att minimera skuggningspåverkan. Det medför en högre maximalt installerad solcellseffekt för dessa alternativ. Se Figur 18 för en förklarande bild för ovan resonemang. En solcellsmodul producerar maximalt över året om den placeras i rakt söderläge om inte skuggning finns vilket gör att produktionen per solcellsareanhet är högre för radmonterade solcellsmoduler i rakt söderläge men att topp effekten per takytan blir högre med öst-väst eller syd-nord montage.



Figur 18. En förklarande figur hur en öst-väst eller syd-nord monterad solcellsanläggning kan erhålla en större installerad topp effekt per takareeenhet än vad en solcellsanläggning med radmonterade solcellsmoduler i söderläge kan utifrån att hänsyn behöver tas till skuggning från framförvarande rad.

Tabell 6 visar solcellsarea, installerad kapacitet, linjäriserad installerad solcellskapacitet, elproduktion samt specifik elproduktion för vardera byggnadsalternativ på Nyhamn.

Tabell 6. Installerad kapacitet, linjäriserad installerad solcellskapacitet, elproduktion samt specifik elproduktion för respektive byggnadsalternativ på Nyhamn.

	Lutning och riktning	10° söder	15° söder	20° söder	10° öst-väst	10° syd-nord
Byggnads alternativ 1	PV area [m ²]	23250	23250	23250	31964	31510
	Installerad kapacitet [MWp]	4,87	4,87	4,87	6,7	6,6
	Kapacitet relativt öst-väst [-]	0,73	0,73	0,73	1	0,99
	Produktion [MWh/år]	3737	3842	3920	4933	4856
	Specifik produktion [kWh/kWp]	767	789	805	737	735
Byggnads alternativ 2	PV area [m ²]	21828	21828	21828	27386	27756
	Installerad kapacitet [MWp]	4,57	4,57	4,57	5,74	5,82
	Kapacitet relativt öst-väst [-]	0.80	0.80	0.80	1	1.01
	Produktion [MWh/år]	3443	3553	3612	4207	4220
	Specifik produktion [kWh/kWp]	753	777	790	733	726

Termiskt energibehov, solcellsproduktion och fastighetsel på området Nyhamn

På samma sätt som vid beräkningarna av solcellsproduktionen så gjordes beräkningarna av termiskt energibehov och fastighetsel för båda byggnadsalternativen. Tabell 7 visar uppvärmd area, topp effekt, specifik topp effekt, total energianvändning samt specifik energianvändning. Detta är fördelat på rumsuppvärmning, tappvarmvattenanvändning, totalt värmebehov, kylbehov samt fastighetsel. I tabellen presenteras också elbehovet för uppvärmning om en värmepump används samt om kompressorkyla används för kylning. För både värmepumps beräkningarna och beräkningarna för kompressorkyla så används i detta

presenterade exemplet ett statiskt SCOP på 3,5 för bergvärmesystemen och en konstant köldfaktor på 2,5 för kompressorkylsystemen.

Tabell 7. visar uppvärmd area, topp effekt, specifik topp effekt, total energianvändning samt specifik energianvändning. Detta är fördelat på rumsuppvärmning, tappvarmvattenanvändning, totalt värmebehov, kylbehov samt fastighetsel och presenteras för båda byggnadsalternativen. I tabellen presenteras också elbehovet för uppvärmning om en värmepump används samt om kompressorkyla används för kylning.

	Rumsuppv.	Tvv	Kyla	Fastighetsel	Lägenhetsel	
Byggnadsalternativ 1	Area [m ²]	195150	195150	195150	195150	
	Toppeffekt [kW]	4881	1540	6807	485	1828
	Toppeffekt [W/m ²]	25	8	35	2	9.3
	Total [kWh]	7630697	4711082	1402869	2860013	6523338
	Total [kWh/m ²]	39	24	7	15	33.4
Byggnadsalternativ 2	Area [m ²]	151621	151621	151621	151621	151621
	Toppeffekt [kW]	3584	1209	5104	489	1306
	Toppeffekt [W/m ²]	24	8	34	3	8.6
	Total [kWh]	5371590	3696276	953526	2654353	5098172
	Total [kWh/m ²]	35	24	6	17	33.6

Resultaten visar att specifika energianvändningen är högre för byggnadsalternativ 1 där byggnaderna har en större yta med klimatskal per boendeyta vilket exemplifieras genom skillnader i höjd mellan de olika byggnaderna. Detsamma gäller kylbehovet även om det är en relativt liten skillnad. Elanvändningen har en inbyggd slumpvariabel vilket gör att den kan variera.

När primärenergitalet beräknas för alla bostäder inom området Nyhamn så uppfyller alla byggnaderna kraven för BBR 29 oavsett vilken uppvärmningsform som används. I Tabell 8 visas den genomsnittliga beräknade primärenergitalet för både byggnadsalternativ 1 och byggnadsalternativ 2.

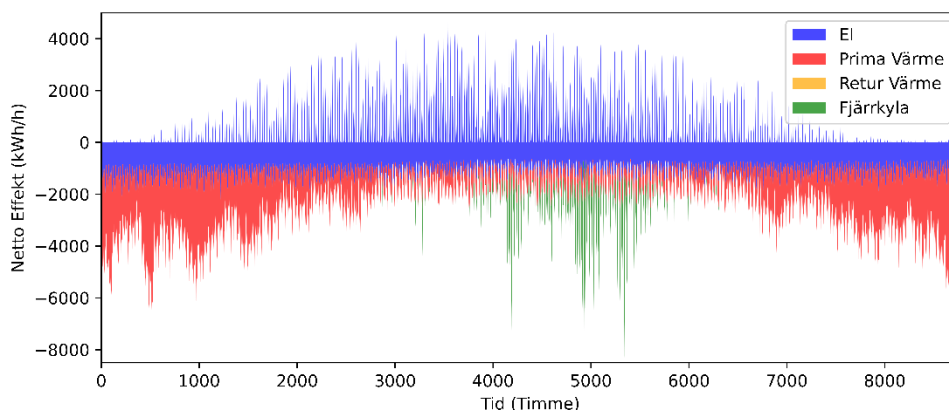
I Tabell 8 redovisas också en bokstav inom parentes. Den syftar till Boverkets definition på hur energieffektiv en byggnad är på en skala mellan A till F. Notera dock att Boverkets definition avser en enskild byggnad och att den i tabellen angivna bokstaven baseras på ett genomsnittligt värde vilket skiljer från Boverkets definition. Det är dock tydligt att ett värmepumpssystem med kompressorkyla har ett lägre genomsnittligt primärenergital än om fjärrvärme används för uppvärmning.

Tabell 8. Genomsnittligt primärenergital för byggnadsalternativ 1 och 2 då både fjärrvärme utan kompressorkyla samt värmepump med kompressorkyla används. Bokstaven inom parentes syftar till Boverkets definition på hur energieffektiv en byggnad är på en skala från A till F.

	Lutning och riktning	10° söder	15° söder	20° söder	10° öst-väst	10° syd-nord
Byggnadsalternativ 1	Fjärrvärme	64,5 (C)	64,6 (C)	64,6 (C)	64,0 (C)	64,0 (C)
	Normaliserat termiskt behov	66,3 (C)	66,4 (C)	66,4 (C)	65,8 (C)	65,8 (C)
	Linjäriserad solcellsprod.	64,1 (C)	64,2 (C)	64,2 (C)	64,0 (C)	64,0 (C)
	Värmepump och kompressorkyla	51,2 (B)	51,3 (B)	51,3 (B)	49,6 (B)	49,6 (B)
Byggnadsalternativ 2	Fjärrvärme	65,6 (C)	65,7 (C)	65,7 (C)	65,1 (C)	65,1 (C)
	Normaliserat termiskt behov	67,2 (C)	67,3 (C)	67,3 (C)	66,7 (C)	66,7 (C)
	Linjäriserad solcellsprod.	65,3 (C)	65,3 (C)	65,4 (C)	65,1 (C)	65,1 (C)
	Värmepump och kompressorkyla	52,5 (B)	52,5 (B)	52,6 (B)	51,2 (B)	51,2 (B)

Att koppla elanvändning för ett visst år till klimatdata för samma år ger en bra korrelation mellan väderbeteenden, elanvändning och uppvärmningsbehov. Det uppstår däremot ett potentiellt problem genom att alla uppmätta värden är knutna till ett specifikt år vilket kan vara en särskild kall vinter eller en varm sommar. För att underlätta jämförelser mellan olika år har SMHI tagit fram ett energiindex som ett enkelt verktyg för att normalisera uppmätt värmebehov för ett specifikt år till ett så kallat normalår. Normalåret jämför med ett typiskt klimat de senaste 30 åren för samma ort. Den senaste normalperioden är för åren 1991-2020 [53]. Raden ”Normaliserat termiskt behov i Tabell 8 visar därför hur denna normalisering påverkade det beräknade primärenergitalet. För data från år 2022 leder normaliseringen till en ökning av värmebehovet och därmed ett ökat primärenergital. Det finns ingen etablerade ekvivalent för kylefterfrågan i bostadsområden (som det finns för hotell och kontor). Vidare forskning skulle kunna applicera de etablerade metoderna för normalisering även för kylning av bostäder så att det finns en standardmetod för hela termiska behovet i bostadsområden.

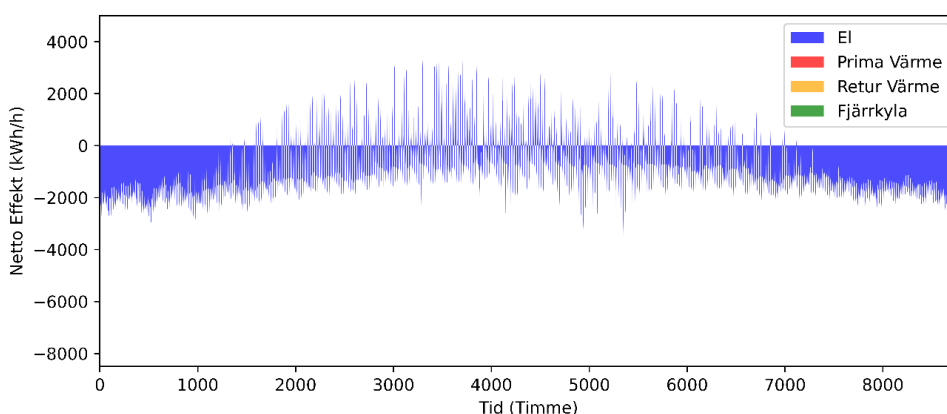
I Figur 19 visas behovet av värme för byggnadsalternativet 1 på Nyhamn samt kylbehovet och nettoanvändning/export av el. Med nettoanvändning/export av el menas att då nettovärdet är negativt så är användningen av fastighetsel större än producerad el och tvärtom vid positivt värde. Ett positivt värde innebär också att energi (el) exporteras ut från området. Figuren visar de simulerade resultaten för ett år, det vill säga 8760 timmar.



Figur 19. Figuren visar behovet av värme för byggnadsalternativet 1 på Nyhamn samt kylbehovet och nettoanvändning/produktion av el för ett år, det vill säga 8760 timmar. Ett positivt timvärde för el innebär export av el ut från bostadsområdet.

Figur 19 visar de simulerade behoven av värme och kyla. Det kan i detta resonemang likställas med att fjärrvärme levererar värmen och fjärrkyla levererar kylan, detta eftersom inga verkningsgrader antas i dessa fall utan bara levererad energimängd.

I Figur 20 kan man se hur elanvändningen förändras när värmepumpssystem med en statisk SCOP på 3,5 används tillsammans med kompressorkylanläggningar då en konstant köldfaktor på 2,5 antas. I figuren redovisas bara nettoanvändningen/export av el.

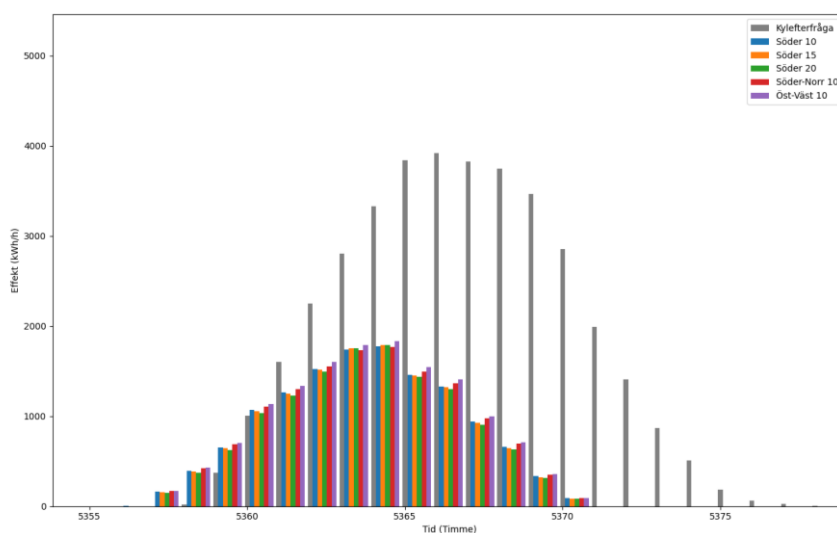


Figur 20. Figuren visar nettoanvändning/produktion av el för ett år Bergvärmesystem med ett SCOP = 3,5 använts tillsammans med kompressorkylmaskiner med ett SCOP = 2,5.

När värmepumpar används istället för uppvärmning med fjärrvärme så ökar den använda mängden el samt att den använda topp effekten vintertid blir högre. Den högsta effekten som används vintertid med fjärrvärme som uppvärmning 2,2 MW (MWh/h) och vid användning av värmepump är högsta effekten lite drygt 3 MW. Den högsta exporterade effekten när fjärrvärme används som uppvärmning är när solcellanläggningen är

monterad i rakt söderläge och uppgår till 3,9 MW. När värmepumpar och kompressorkyla används för uppvärmning och kyla så är maximala effekten som exporteras 3,8 MW. Den maximala användningen av el sommartid om kompressorkyla används för kylbehovet uppgår också det till 3,9 MW. Det är lika hög topp effekt som totala maximala ellasten vintertid om värmepumpar används för uppvärmning.

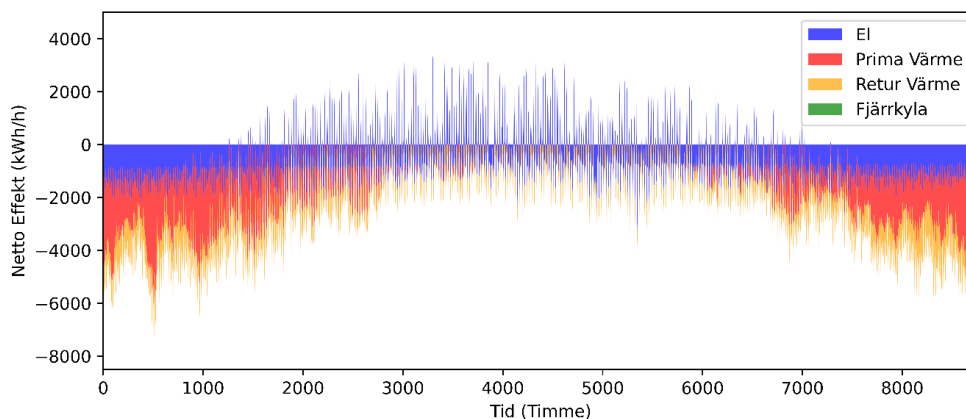
Figur 21 visar hur solcellsproduktionen korrelerar jämfört med kylbehovet för en relativt varm sommardag (11 Augusti). Dagen är vald utifrån en jämn solelproduktion över dagen samt en relativt hög utomhustemperatur (genomsnittlig dygnstemperatur = 19°C och maximal temperatur = 23°C).



Figur 21. Figuren visar solelproduktionen korrelerar med kylbehovet den 11 augusti för det simulerade året. Man kan tydligt se att kylbehovet är förskjutet i tid jämfört med solelproduktionen.

Figur 22 visar el och värmebehov om returvärme används för uppvärmning i byggnadsalternativ 1 enligt simuleringsmodellen för användning av returvärme. Kyla görs med hjälp av kompressorkyla.

I Figur 22 kan man se att returvärmerna inte är tillräcklig för hela rumsuppvärmningsbehovet för området utan extra värme behöver tillföras i form av fjärrvärme från huvudsystemets primärsida. Röd färg visar den energimängd som är ”spetsat” med prima fjärrvärme.



Figur 22. Figuren visar värmeanvändning fördelat på primär och sekundär fjärrvärme samt nettoelbehovet, det vill säga att solcellsanläggningarna producerar el och el används för fastighetsel och kompressorkyla.

I Tabell 9 visas elbehovet/exporten av el för en solcellsanläggning monterad i riktning öst-väst samt med en installerad kapacitet på mellan 20% och 100% av tidigare ursprunglig simulerad storlek. Observera att produktionen fortfarande beräknas i timvärden. Tabellen vill visa hur samspelet mellan solelproduktion och de olika uppvärmningsteknikerna med bara fjärrvärme och fjärrkyla, användningen av returvärme tillsammans med en värmepump för tappvarmvatten samt om värmepumpar används för hela uppvärmningsbehovet. Värdet utanför parenteserna i tabellen är om kompressorkyla används (ökad ellast) och värdet innanför parenteserna är om fjärrkyla används eller om kylbehovet exkluderas (tabellen visar bara elbehovet/exporten av el).

Tabell 9. I tabellen är solcellsanläggningar monterade i riktning öst-väst linjärt förminskad i steg om 10% till som minst 20% av ursprungsstorleken och andelen egenanvänd el, självförsörjningsgrad samt exporterad och använd toppeffekt är beräknade. Beräkningarna presenteras för de olika uppvärmningsteknikerna fjärrvärme, användningen av returvärme tillsammans med en värmepump för tappvarmvatten samt om värmepumpar används för hela uppvärmningsbehovet. Värdet utanför parentesen i tabellen är om kompressorkyla används (ökad ellast) och värdet innanför parentesen är om fjärrkyla används eller om kylbehovet exkluderas.

	Monterat öst-väst				
	Egen-användning [-]	Själv-försörjning [-]	Peak export [MW]	Peak användning [MW]	
Fjärrvärme	20%	1.0 (1.0)	0.1 (0.11)	0.08 (0.08)	4.07 (2.22)
	30%	0.98 (0.97)	0.15 (0.15)	0.52 (0.52)	4.02 (2.22)
	40%	0.93 (0.91)	0.19 (0.19)	0.96 (0.96)	3.96 (2.22)
	50%	0.87 (0.83)	0.22 (0.22)	1.4 (1.4)	3.91 (2.22)
	60%	0.81 (0.76)	0.24 (0.24)	1.83 (1.83)	3.86 (2.22)
	70%	0.75 (0.7)	0.26 (0.26)	2.27 (2.27)	3.81 (2.22)
	80%	0.69 (0.64)	0.28 (0.27)	2.71 (2.71)	3.76 (2.22)
	90%	0.65 (0.59)	0.29 (0.28)	3.15 (3.15)	3.71 (2.22)
	100%	0.6 (0.55)	0.3 (0.29)	3.58 (3.59)	3.66 (2.22)
Returvärme	20%	1.0 (1.0)	0.09 (0.1)	-0.0 (-0.0)	4.2 (2.33)
	30%	0.99 (0.99)	0.14 (0.14)	0.38 (0.38)	4.15 (2.33)
	40%	0.95 (0.94)	0.17 (0.18)	0.81 (0.81)	4.1 (2.33)
	50%	0.9 (0.87)	0.2 (0.21)	1.25 (1.25)	4.05 (2.33)
	60%	0.84 (0.8)	0.23 (0.23)	1.68 (1.68)	3.99 (2.33)
	70%	0.79 (0.74)	0.25 (0.25)	2.12 (2.12)	3.94 (2.33)
	80%	0.73 (0.68)	0.27 (0.26)	2.56 (2.56)	3.89 (2.33)
	90%	0.68 (0.63)	0.28 (0.27)	2.99 (2.99)	3.84 (2.33)
	100%	0.64 (0.59)	0.29 (0.28)	3.43 (3.43)	3.79 (2.33)
Värmepump	20%	1.0 (1.0)	0.07 (0.08)	-0.0 (-0.0)	4.26 (3.02)
	30%	1.0 (0.99)	0.11 (0.11)	0.32 (0.32)	4.21 (3.02)
	40%	0.97 (0.95)	0.14 (0.15)	0.75 (0.75)	4.16 (3.02)
	50%	0.92 (0.89)	0.17 (0.17)	1.19 (1.19)	4.11 (3.02)
	60%	0.87 (0.83)	0.19 (0.19)	1.62 (1.62)	4.06 (3.02)
	70%	0.81 (0.77)	0.21 (0.21)	2.06 (2.06)	4.01 (3.02)
	80%	0.76 (0.71)	0.22 (0.22)	2.49 (2.49)	3.96 (3.02)
	90%	0.71 (0.67)	0.24 (0.23)	2.93 (2.93)	3.91 (3.02)
	100%	0.67 (0.62)	0.25 (0.24)	3.36 (3.36)	3.86 (3.02)

Tabell 10 visar samma beräkning som för tabell 9 men i detta fall så är solcellsanläggningen monterad i rakt söderläge och linjäriserad för att ge samma mängd solcellsproducerad el som vid öst-väst montage.

Tabell 10. I tabellen är solcellsanläggningar monterade i rakt söderläge med 20° lutning. Den är linjärt förminskad i steg om 10% till som minst 20% av ursprungsstorleken och andelen egenanvänd el, självförsörjningsgrad samt exporterad och använd toppeffekt är beräknade. Beräkningarna presenteras för de olika uppvärmningsteknikerna fjärrvärme, användningen av returvärme tillsammans med en värmepump för tappvarmvatten samt om värmepumpar används för hela uppvärmningsbehovet. Värdet utanför parentesen i tabellen är om kompressorkyla används (ökad ellast) och värdet innanför parentesen är om fjärrkyla används eller om kylbehovet exkluderas.

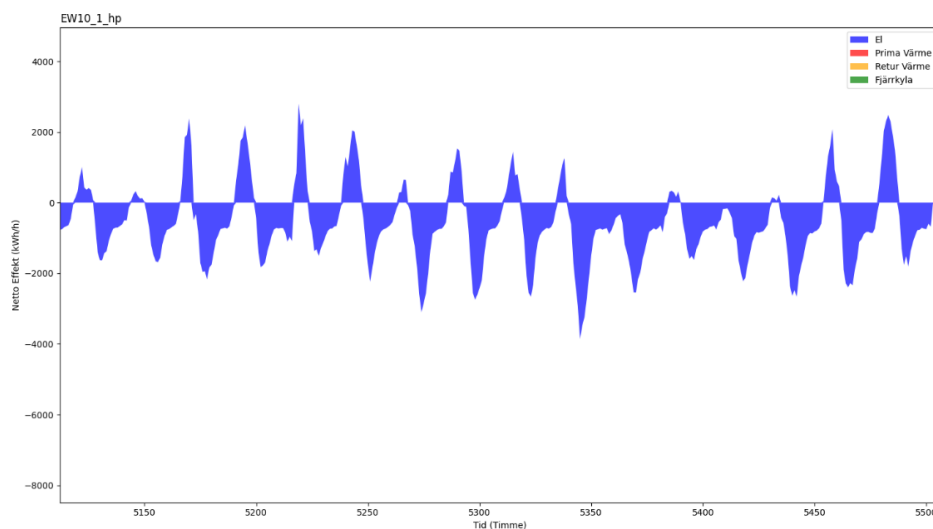
		Monterat i söderriktning med 20° lutning			
		Egen- användning [-]	Själ- försörjning [-]	Peak export [MW]	Peak användning [MW]
Fjärrvärme	20%	1.0 (1.0)	0.11 (0.11)	0.15 (0.15)	4.08 (2.22)
	30%	0.96 (0.95)	0.16 (0.16)	0.62 (0.62)	4.03 (2.22)
	40%	0.89 (0.86)	0.19 (0.2)	1.09 (1.09)	3.99 (2.22)
	50%	0.81 (0.77)	0.22 (0.22)	1.55 (1.56)	3.95 (2.22)
	60%	0.74 (0.7)	0.24 (0.24)	2.02 (2.03)	3.9 (2.22)
	70%	0.68 (0.63)	0.26 (0.25)	2.49 (2.5)	3.86 (2.22)
	80%	0.63 (0.58)	0.27 (0.27)	2.96 (2.97)	3.81 (2.22)
	90%	0.58 (0.53)	0.28 (0.28)	3.43 (3.44)	3.77 (2.22)
	100%	0.54 (0.5)	0.29 (0.29)	3.91 (3.91)	3.73 (2.22)
Returvärme	20%	1.0 (1.0)	0.1 (0.1)	0.03 (0.03)	4.21 (2.33)
	30%	0.98 (0.97)	0.15 (0.15)	0.51 (0.51)	4.17 (2.33)
	40%	0.92 (0.89)	0.18 (0.19)	0.99 (0.99)	4.12 (2.33)
	50%	0.84 (0.81)	0.21 (0.21)	1.47 (1.47)	4.08 (2.33)
	60%	0.78 (0.74)	0.23 (0.23)	1.95 (1.95)	4.03 (2.33)
	70%	0.72 (0.67)	0.25 (0.25)	2.43 (2.43)	3.99 (2.33)
	80%	0.67 (0.62)	0.26 (0.26)	2.91 (2.91)	3.95 (2.33)
	90%	0.62 (0.57)	0.28 (0.27)	3.39 (3.39)	3.9 (2.33)
	100%	0.58 (0.53)	0.29 (0.28)	3.87 (3.87)	3.86 (2.33)
Värmepump	20%	1.0 (1.0)	0.08 (0.08)	-0.0 (-0.0)	4.28 (3.02)
	30%	0.99 (0.98)	0.12 (0.12)	0.46 (0.46)	4.23 (3.02)
	40%	0.94 (0.91)	0.15 (0.15)	0.94 (0.94)	4.19 (3.02)
	50%	0.87 (0.84)	0.17 (0.18)	1.42 (1.42)	4.14 (3.02)
	60%	0.81 (0.77)	0.19 (0.19)	1.9 (1.9)	4.1 (3.02)
	70%	0.75 (0.71)	0.21 (0.21)	2.38 (2.38)	4.06 (3.02)
	80%	0.7 (0.66)	0.22 (0.22)	2.86 (2.86)	4.01 (3.02)
	90%	0.65 (0.61)	0.23 (0.23)	3.34 (3.34)	3.97 (3.02)
	100%	0.61 (0.57)	0.24 (0.24)	3.82 (3.82)	3.92 (3.02)

Tabell 9 och 10 visar att ett mindre solcellssystem medför en större andel egenanvänd el. Med värmepumpar för uppvärmning och kompressorkyla för kylbehovet så skulle det kunna vara möjligt att ha 93% egenanvändning med en solcellsanläggning på 40% av simulerad kapacitet. 40% av simulerad kapacitet motsvarar 2,8 MW_p då 100% solcellseffekt motsvarar 6,7 MW_p totalt för området Nyhamn.

Användandet av värmepumpar leder till en ökning av egenanvänd el men minskar självförsörjningsgraden. Det beror på att en del av den producerade elen som annars hade exporterats ut på elnätet används i värmepumpen men elbehovet totalt ökar mer än ökningen av egenanvänd el. Den maximala självförsörjningsgraden är beräknad till 30% om fjärrvärme används för uppvärmning. Om värmepumpar används för uppvärmning så minskar självförsörjningsgraden till 25% respektive 24%, det högre värdet för solcellsanläggningar monterade i riktning öst-väst. Det beror på en ökad elanvändning under tider när el inte produceras av solcellsanläggningarna vilket medför en minskad självförsörjningsgrad.

Att använda kompressorkyla för kylning av fastigheterna kan öka andelen egenanvänd el något samt i liten grad öka självförsörjningsgraden. Däremot så minskar inte den exporterade toppeffekten. Orsaken till det är att kylbehovet är energimässigt relativt litet i bostäder. Dock så behövs det en hög kyleffekt under kortare tider men som figur 21 visar så korrelerar solcellsproduktionen och kylbehovet dåligt vilket troligtvis påverkar att inte maximalt exporterad el påverkas mer.

Figur 23 visar hur el används och exporteras i- och ur området Nyhamn under drygt 2 veckor i augusti för det simulerade året. Uppvärmningen görs med hjälp av värmepumpar och kylbehovet med hjälp av kompressorkylanläggningar. Solcellsanläggningarna är monterade i riktning öst-väst.



Figur 23. Figuren visar hur el används och exporteras i- och ur området Nyhamn under drygt 2 veckor i augusti för det simulerade året. Uppvärmningen görs med hjälp av värmepumpar och kylas med kompressorkylanläggningar. Solcellsanläggningarna är monterade i riktning öst-väst.

Figur 23 visar att det är stora effekter som exporteras ut från området men energimängderna är inte orimligt stora utifrån använd toppeffekt. Det medför att batterilager skulle vara effektivt för att minska exporterad toppeffekt. Figuren visar också de stora effekterna som kylbehovet kräver vid användning av kompressorkyla.

Tabell 9 och 10 finns också presenterade i grafisk form som Bilaga 1 och Bilaga 2. Där är det lättare att urskilja variationerna i egenanvändningen av producerad el, självförsörjningsgrad men också toppeffekten för exporterad och använd el utifrån variationer i installerad solcellseffekt.

Diskussion

Projektets intentioner att göra beräkningar på framtida bostadsområden har en hel del utmaningar. De metodval som gjorts inom projektet att kombinera UBEM med uppmätta värden för elanvändning och koppla klimatfiler för samma år till simuleringarna av solcellsproducerad el medför att även beteenderelaterade aspekter utifrån väder tas med i simuleringarna. Metoden för beräkning av hushållsel och fastighetsel i byggnader utifrån verkliga timserier på uppmätt elanvändning är också av intresse för flera olika aktörer inom området för att förbättra simulerade resultat. Tillvägagångssättet som använts för att simulera framtida bostadsområden bör utvecklas vidare.

Metoden för att använda UBEM har visat sig fungera bra för ändamålet och utifrån arkitektritade förslag till nybyggnadsområden kan ett uppvärmningsbehov uppskattas och tillsammans med solcellssimuleringar utifrån tillgänglig takyta och användning av el på timbasis kan en detaljerad analys göras utifrån energiflöden i bostadsområdet. De initiala simuleringarna visar att det är fullt möjligt att förse större områden med värme via returledningen från det primära fjärrvärmesystemet. I fallet med området Näringen i Gävle så finns det redan idag fjärrvärmeledningar med större dimensioner men flödet i dessa är inte tillräckligt för att förse ett större bostadsområde med rumsuppvärmning. Under projektets gång så ändrades också förutsättningarna för området Näringen och det av Gävle kommun nu prioriterade området är nu Nyhamn vilket knyter ihop ett tidigare exploaterat område (Gävle strand) med området Näringen. I och med detta besked ändrades också fokus i projektet till att titta närmare på Nyhamn specifikt.

Området Nyhamn simulerades på samma sätt som tidigare genom användandet av UBEM för att få fram värmeanvändningen på timbasis samt den framtagna metoden för elanvändning utifrån uppmätt elanvändning från reella fastigheter. Resultaten visar att byggnaderna oavsett vilken teknik för uppvärmning som används uppfyller Boverkets energikrav utifrån BBR 29. Vid solcellssimuleringarna så maximerades tillgänglig takyta samt de fasader som var lämpliga utifrån skuggningssynpunkt. Noterbart är dock att området i sig inte uppfyller de övergripande kraven för Positive Energy Districts som är att mer energi ska produceras inom området än vad som används och detta oavsett om fjärrvärme eller värmepumpar används för uppvärmning.

De uppmätta värdena för lägenhetsel och fastighetsel är generellt högre än vad som vanligtvis används som indata vid simuleringar av byggnader. Detta är intressant men ingen vidare analys har gjorts kring skillnaden i detta projekt. Fördelen med att använda timvärden på elanvändning där väderrelaterade beteenden korrelerar med elanvändningen bedömdes överväga eventuella nackdelar då solcellsproduktionen simulerades med relaterade klimatdata. Det finns också en bostadsfastighet i Gävle som är inkopplad till fjärrkylanätet. Diskussioner fanns att använda uppmätta kyldata för denna byggnad i simuleringarna men noterbart är att uppmätt energimängd för kylbehovet var betydligt högre än erhållna data från simuleringarna. Här bedömdes dock att en enskild byggnad med kort driftstatistik inte var en tillräckligt god källa för representativa data men det är ett forskningsområde som även det bör undersökas vidare framöver.

När energieffektiviteten för byggnaderna beräknas enligt Boverkets definition i BBR 29 så klarar alla byggnaderna kraven. I Tabell 9 presenteras den genomsnittliga energieffektiviteten (EP_{pet}) och graderas enligt Boverkets definition för energieffektivitet efter en skala mellan A och F. Notera att det enbart är i indikativt syfte då Boverkets definition avser enskilda byggnader. Det är dock noterbart att energieffektiviteten blir bättre med värmepumpar och kompressorkyla än om fjärrvärme används. Detta beror på att antaget SCOP är högre än kvoten för viktningsfaktorn för el dividerat med viktningsfaktorn för värme ($1,8/0,7=2,57$). Kompressorkylan har en något lägre köldfaktor än kvoten för viktningsfaktorerna men då värmebehovet är dominerande över kylbehovet så erhålls en högre beräknad energieffektivitet för kombinationen värmepump och kompressorkyla. Hur solcellsanläggningarna är monterade har låg påverkan på beräknad energieffektivitet.

Figur 19, 20 och 22 visar hur värmebehovet, nettoanvändning av el samt kylbehovet varierar över året för olika uppvärmningstekniker för byggnadsområde 1 på Nyhamn. Figur 19 visar energiflödena över året om fjärrvärme och fjärrkyla används, Figur 20 om en värmepump med SCOP på 3,5 samt en kompressorkylanläggning med en köldfaktor på 2,5 används samt Figur 22 om returvärme används som vid behov spetsas av prima fjärrvärme samt en kompressorkylmaskin för kyla. Här kan man tydligt se säsongsvariationerna i uppvärmningsbehov och soletproduktion. Ur energisystemssynpunkt är det bra att producera el där elen används men i bostadsområden erhålls lätt höga toppar av exporterad el utifrån att elanvändningen för fastighetsel och hushållsel är låg, speciellt under sommaren då solcellsproduktionen är som högst. Att ett bostadsområde installerar en väsentlig mängd solcellssystem kan naturligtvis hanteras i elnätet men med initiativ som till exempel EU Solar standard som reglerar

hur solceller ska installeras på nya och befintliga byggnader så kommer mängden solcellsproducerad el att öka och en viss planering kan komma att krävas utifrån planering av lokalt elnät och framtida stadsplanering/exploatering.

Trots en hög installerad solcellseffekt och en medföljande hög mängd solcellsproducerad el blir inte simulerad självförsörjningsgrad högre än maximalt 29% om fjärrvärme och fjärrkyla används. Det är något högre värde än resultaten i projektet ”Exergigemenskaper – för ett resurseffektivt energisystem”. Noterbart är dock att simuleringar i det projektet når en självförsörjningsgrad på nära 40% om elfordon och batterilager inkluderas i systemet. Även för Nyhamn bör liknande resultat kunna erhållas om en intelligent styrning/optimering görs med laddning av elfordon och batterilager.

Att använda värmepumpar för att minska höga effekttoppar för exporterad el från området är bara delvis en lösning. Simuleringarna visar att effekttopparna minskas marginellt. Det beror på den låga elanvändningen och lågt tappvarmvattenbehov sommartid. När kompressorkyla används för kylningen av bostäder så minskas inte effekttoppen för exporterad el. Nu har bara den högsta effekttoppen analyserats för de olika uppvärmnings- och kylteknikerna samt alternativen för olika solcellsmontage, här påverkar en solcellsmoduls temperaturberoende med en lägre effektivitet vid en högre modultemperatur samt att kylbehovet ligger fördröjt jämfört med solcellsproduktionen (se Figur 21). Det visar sig dock i simuleringarna att ett batterilager skulle kunna vara en bra åtgärd för att sommartid minska exporterad toppeffekt men också använd toppeffekt. Simuleringarna visar att det är kraftiga effekttoppar för både använd el och exporterad el för området men i sammanhanget en relativt låg energimängd vilket gör en batterilösning lämplig. Projektet har inte simulerat batterilager i detalj men det kan vara en utveckling av arbetet och då också koppla det till olika stödtjänstmarknader, att minska toppeffekten vintertid men också en ökad lokal resiliens.

När projektet initierades så var intentionerna från kommunen att exploatera Näringen och låta området vara en ”testbädd” för ny teknik. Nu har samhället förändrats på många sätt under en kort tid och inte minst den ekonomiska situationen för kommunen. Då åtaganden i kontraktet mellan staten, Region Gävleborg och Gävle kommun har skjutits framåt i tid har också Näringen i dagsläget initialt skalats ner till Nyhamn som dock drivs framåt. En intressant teknik som under projektets gång har diskuterats är att använda returflödet från ordinarie fjärrvärmesystem som primär rumsuppvärmningskälla i fastigheterna. Här har det dock visat sig att möjligt flöde kring Näringen/Nyhamn är begränsat men alternativ som till

exempel testats i kvarteret Hyttkammaren i Falun där en värmepump värmer returflödet till lämplig temperatur för tappvarmvattnet är intressant. Då det finns en ackumulator till tappvarmvattnet finns det också möjlighet att optimera driften av värmepumpen, både utifrån att köra den när elexporten är som högst men också att styra den utifrån hur elnätet är belastat och att medverka på olika stödtjänstmarknader.

Om området använder värmepumpar för uppvärmning kan naturligtvis också de styras utifrån exporterad el och använd toppeffekt men då behöver värmelager också integreras inom området. Den simuleringen och optimeringen har dock inte genomförts i detta projekt men är intressant och speciellt om man då kombinerar systemet med batterilager.

Slutsatser

Den metod som använts i projektet för att göra beräkningar på framtida bostadsområden har visat sig fungera bra. Att kombinera Urban Building Energy Models med uppmätta värden för elanvändning och koppla klimatfiler för samma år till simuleringarna av solcellsproducerad el medför att även beteenderelaterade aspekter utifrån väder tas med i simuleringarna.

Simuleringarna visar att bostadsområden med större solcellssystem får höga toppar av exporterad el utifrån att elanvändningen för fastighetsel och hushållsel är låg, speciellt under sommaren då solcellsproduktionen är som högst. Att använda värmepumpar för att minska höga effekttoppar för exporterad el från området är bara delvis en lösning. Simuleringarna visar att effekttopparna minskas marginellt. Det beror på den låga elanvändningen och ett lågt tappvarmvattenbehov sommartid.

Värmepumpar för uppvärmning ökar effektbehovet vintertid men även här i relativt begränsad omfattning. När kompressorkyla används för kylningen av bostäder så minskas inte effekttoppen för exporterad el men kompressorerna ökar effektbehovet sommartid väsentligt.

Trots en hög installerad solcellseffekt och en medföljande hög mängd solcellsproducerad el blir inte simulerad självförsörjningsgrad högre än maximalt 30% om fjärrvärme och fjärrkyla används. Om värmepumpar används för uppvärmning så minskar självförsörjningsgraden till maximalt 25%. Det beror på en ökad elanvändning under tider när el inte produceras av solcellsanläggningarna vilket medför en minskad självförsörjningsgrad.

När projektet initierades så var intentionerna från kommunen att exploatera området Näringen och låta området vara en "testbädd" för ny teknik. Nu har samhället förändrats på många sätt under en kort tid och inte minst den ekonomiska situationen för kommunen. Då åtaganden i kontraktet mellan staten, Region Gävleborg och Gävle kommun har skjutits framåt i tid har också Näringen i dagsläget initialt skalats ner till området Nyhamn som dock drivs framåt. En intressant teknik som också har simulerats är att använda returflödet från ordinarie fjärrvärmesystem som primär rumsuppvärmningskälla i fastigheterna. Här har det dock visat sig att möjligt flöde kring Näringen/Nyhamn är begränsat men kan vara en intressant teknik för ett delområde för Nyhamn.

Publikationslista

Här sammanfattas de fem publicerade bidragen till denna slutrapport samt den journalartikel som är i manuskriptform vid slutredovisningen av projektet.

Referens [31], Oskar Olsson, Distributionssystem för lågtempererad fjärrvärme i framtida bostadsområden - Fallstudie för stadsomvandlingsprojektet Näringen i Gävle.

Sammanfattning: De rekordhög el- och naturgaspriserna under 2022 och 2023 har inte undgått någon i Europa. Vid planering och utbyggnad av nya stadsdelar är det därför av största vikt att de nya lokala energisystemen är effektiva för att minska dess framtida invånares påverkan av energipriserna. Fjärrvärme har visats vara en uppvärmningsteknik som påverkats mindre av de höga bränslepriserna och är således en attraktiv utgångspunkt vid stadsplanering. Ett viktigt första steg innan stadsutveckling kan påbörjas är att genomföra simuleringar av värmedistribution och värmebehov då effektiva uppvärmningssystem är ett måste i framtidens byggnader som till på köpet kan minska kostnaderna markant.

Fjärrvärme dominerar uppvärmningen i urbana områden i Sverige idag och det är en teknik under ständig utveckling. Lägre temperaturer varit den gemensamma nämnaren i utvecklingen genom historien och något som börjar slå igenom nu är lågtempererad fjärrvärme, så kallad ”fjärde generationens fjärrvärme” (4GDH). 4GDH medför att även lågvärdig spillvärme kan användas tillsammans med de konventionella värmekällorna i dagens fjärrvärmesystem: avfall, biobränsle, värmepumpar och högvärdig spillvärme. Det leder till att mindre primärenergi behöver tillföras till systemet. En ytterligare fördel med lägre temperaturer i systemet är att värmeförlusterna minskar vilket är en förutsättning för att framtidens fjärrvärmesystem fortsatt ska vara ett konkurrenskraftigt alternativ även år med lägre el- och gaspriser.

Syftet med detta projekt har varit att kombinera 4GDH med en framtida hållbar stadsdel med energieffektiva byggnader.

Stadsomvandlingsprojektet Näringen i Gävle agerar testområde i studien men målet är att resultatet ska kunna generaliseras. Arbetet genomfördes genom att två delområden med olika sammansättning av byggnader valdes ut som testobjekt där olika distributionstekniker testades med avseende på värmeförluster, temperaturkrav och flöden. Distributionsteknikerna som undersöktes var ett klassiskt 2-rörsystem med lägenhetsvärmväxlare och två olika varianter av 3-rörsystem. Det som skiljer 2- och 3-rörsystem är

att framledningen för rumsuppvärmningen och tappvarmvattenberedningen är separerad för 3-rörssystem. Det innebär att systemet kan bli optimerat för olika typer av rumsvärmars specifika temperaturkrav och inte bli låst till 60°C som krävs för att säkerställa ingen tillväxt av legionellabakterier i tappvarmvattnet. Skillnaden mellan de olika 3-rörssystemen är att ett av systemen är kaskadkopplat, vilket innebär delar av värmen förses från huvudnätets returledning.

Resultatet påvisar att det klassiska 2-rörssystemet där temperaturen har sänkts till miniminivån för att säkerställa ingen legionellatillväxt, det vill säga 60°C, erhåller lägst totala värmeförluster och temperaturkrav. Vid användning av ett 3-rörssystem blir flödet i tappvarmvattenröret så lågt att de sammanlagda värmeförlusterna ökar trots att värmeförlusterna för rumsuppvärmningen är lägre än 2-rörssystemet. Det låga flödet medför även att temperaturkravet in i delområdet ökar till över 90°C till följd av ett stort temperaturfall. Ur ett systemperspektiv innebär det att framledningen från produktionen inte kan sänkas till under den temperaturen vilket gör att de ovan nämnda fördelarna med lågtempererad fjärrvärme försvinner. Detta kan motverkas genom att ha ett garanterat minimiflöde i systemet eller en krets som cirkulerar tappvarmvatten. Exempel för ett av de undersökta delområdena visar att framledningstemperaturen kan sänkas med drygt 25°C om sådant minimiflöde används.

Ett annat intressant resultat från projektet visar att vid användning av 4GDH ökar det totala flödet i systemet jämfört med om dagens högttempererade system skulle användas. Det är något som skulle påverka hela fjärrvärmesystemet och eventuellt innebära att större delar behöver dimensioneras om för att hantera det ökade flödesbehovet. Vidare undersökning av detta låg utanför det här projektet men är något som måste tas hänsyn till vid implementering av 4GDH. Vid analys av resultatet framkom ingen tydlig skillnad mellan de två olika delområdena vilket tyder på att sammansättningen av byggnader har liten påverkan på de undersökta nyckeltalen.

Resultatet för det kaskadkopplade 3-rörssystemet påvisade att tekniken är möjlig att implementera i delar av det undersökta testområdet men att tillgången på flöde i huvudnätet är avgörande för hur stor del. Till exempel för det större av de två undersökta delområdena räckte inte flödet i den närliggande delen av huvudnätet till för att tillgodose värmebehovet vid användning av lågtemperatur element.

Sammanfattningsvis påverkar valet av distributionsteknik för 4GDH mycket det resulterande temperaturkravet, värmeförlusterna och flödet i

systemet. Tappvarmvattenberedning med fjärrvärme medför komplikationer med lågt flöde och stort temperaturfall men med smart styrning och rätt dimensionering är 4GDH helt klart en viktig pusselbit i framtidens hållbara energisystem.

Referens [32], Karin Israelsson, Värmebehov i byggnader i en planerad stadsdel med lågtempererad fjärrvärme som värmekälla.

Sammanfattning: I ett svenskt klimat är en varm och behaglig bostad högt värderat och något som länge har tagits för givet. Men med ökande elpriser har intresset stigit för hur uppvärmningen sker och framför allt hur just det egna husets energianvändning kan minimeras för att spara pengar och på miljön. Denna trend har även forskare följt där det undersöks hur komforten hemma kan bevaras samtidigt som mindre energi behöver produceras för att åstadkomma detta.

Fjärrvärme är den vanligaste och kanske bekvämaste uppvärmningsmetoden för byggnader i Sveriges tätorter. Här bränns avfall i stora ugnar för att värma upp vatten till höga temperaturer, som 100°C, i ledningar som kan kopplas samman med en närliggande byggnad. Men tänk om vattnet kan värmas med ännu mindre energi? Tänk om det räcker med värmen från en restaurangs ugn? Byggnaden ska ha samma bekväma inomhustemperatur som förut. Så vad krävs då av byggnaden?

För att undersöka detta har byggnader med olika bra material testats i detta projekt, i syfte att se om värmebehovet förändras. Material med förmåga att hålla kvar värmen inomhus har, inte helt oväntat, visats innebära lägst energibehov. Samtidigt har andra tekniska lösningar visats vara mycket effektiva för energibesparingar. Genom att ta tillvara på den varma luften som släpps ut från exempelvis köksfläkten, har stora besparingar kunnats göra. Det finns alltså flera sätt att spara energi på. Dessutom är fjärrvärme som mest gynnsam när det är nära mellan byggnader och att tillräckligt högt värmebehov finns. Det vill säga att värmebehovet för samtliga byggnader på en viss yta överstiger ett tröskelvärde omkring 40 kWh/m². För fjärrvärmeproducenten har det därför visats vara mer fördelaktigt om byggnadskonstruktionerna varierar så att värmetätheten blir snarlik områden emellan. Innebär det att det inte är fördelaktigt att ha energisnåla byggnader? Inte nödvändigtvis! Att bygga de mest energisnåla byggnaderna överallt är kostsamt och kan innebära en mindre effektiv fjärrvärmeanvändning. Att minimera energianvändningen generellt är dock att föredra.

Att minska energitillförseln till en byggnad som fortfarande kräver att inomhustemperaturen är komfortabel är nästa fråga detta projekt har

undersökt. Det har visats att vattenbaserad golvvärme kräver lägst temperaturer för att fortfarande nå god inomhuskomfort. Golvvärme klarar av låga vattentemperaturer eftersom värme kan avges från en stor yta, oftast hela golvytan. Av samma anledning undersöktes också temperaturkravet hos vattenbaserade element med stor yta, s.k. lågtempererade element. Dessa är i regel större än vanliga konventionella element som är vanligast idag. Även denna typ av element visades uppnå god inomhus komfort trots låga vattentemperaturer.

Referens [33], Oskar Olsson et al., Simulation of distribution system for low temperature district heating in future urban areas – Case study of a planned city district in Gävle.

Sammanfattning: I Europa nådde priserna på naturgas och el rekordnivåer under 2022. Ett sätt att mildra de höga elkostnaderna är att expandera fjärrvärmesystemen i stadsområden, vilket minskar belastningen på elnätet samt ökar möjligheterna till elproduktion i kraftvärmeverk. Fjärrvärme har varit den dominerande tekniken för värmeförsörjning i svenska tätorter sedan 1980-talet. Men i takt med att energieffektiviteten i byggnader ökar måste fjärrvärmens distributionsförluster minskas för att säkerställa en kostnadseffektiv värmeförsörjning. Detta har lett till idén om fjärde generationens fjärrvärme, som kännetecknas av låga distributionstemperaturer.

I denna studie simuleras lågtemperatur-fjärrvärmedistribution i ett planerat framtida stadsdistrikt med ett Python-baserat verktyg. Två olika lågtemperatur-distributionssystem undersöks: 1) ett 2-rörs lågtemperatursystem och 2) ett kaskadkopplat 3-rörs lågtemperatursystem. Fokus ligger på att simulera distributionsförluster, temperaturfall och massflöde i rörnätet. Analysen omfattar även en undersökning av effekten av lägre returtemperaturer på det centrala fjärrvärmenätet.

Resultaten visar att 2-rörs distributionssystemet presterar bättre än det kaskadkopplade systemet när det gäller distributionsförluster och temperaturfall. Massflödet beror på temperaturbehovet i byggnadernas värmesystem och är avsevärt högt för båda de undersökta lågtemperatursystemen.

Referens [34], Karin Israelsson et al., Building heat demand characteristics in a planned city district with low-temperature district heating supply.

Sammanfattning: På grund av önskvärda utsläppsminskningar och befolkningstillväxt identifieras den ökande energiefterfrågan som en

allvarlig utmaning för energisystemen. Införandet av lågenergibyggnadsområden möjliggör en ökad effektivitet i energisystemen. Denna studies syfte är tvådelat. För det första används en omfattande urban byggnadsenergimodell för att simulera den timvisa användningen och den geografiska fördelningen av värmebehovet för bostäder och kommersiella byggnader som ska försörjas av ett lågtempererat fjärrvärmesystem. De simulerade byggnaderna är en del av ett planerat stadsdistrikt beläget i Gävle, Sverige. Två scenarier för byggnaders energiprestanda studeras: ett där alla byggnader antas uppfylla Passivhusstandard, och ett där byggnaderna uppfyller de konventionella nybyggnadsreglerna i Sverige.

För det andra modelleras en specifik byggnad i detalj och simuleras i byggnadsenergisimuleringsprogrammet IDA ICE för att undersöka vilket uppvärmningssystem som är bäst lämpat för lågtempererad värmeförsörjning. Temperaturbehoven för golvvärme och ventilation med värmeåtervinning undersöks och jämförs med konventionella vattenburna radiatorer. Byggnadens temperaturbehovsresultat kan användas vid utformningen av ett lågtempererat fjärrvärmesystem för att fastställa en kompatibel uppvärmningsteknik. Variationer i behovet av tilloppstemperatur möjliggör optimering vid val av uppvärmningssystem i byggnader, vilket i sin tur kan leda till kostnadsbesparingar.

Referens [35], Kayayan, V. A., Cabral, D., Israelsson, K., & Gustafsson, M. (2025). Positive energy districts in Sweden : The impact from heat Pumps, photovoltaic Systems, and energy recovery from district heating return pipe.

Sammanfattning: Denna studie undersöker ett framtida ”Positive Energy District” och jämför tekniklösningar med värmepumpar och fjärrvärme i kombination med solcellssystem. En metodik utvecklades för att beräkna energianvändningen och elproduktionen baserat på data som är tillgängliga för kommunala aktörer i de inledande faserna av ett planerat bostadsområde. Modellen kräver tredimensionella ritningar och data från liknande byggnader. Detta integrerades med en validerad urban byggnadsenergimodell för att simulera värmebehovet samt en ny metod för att beräkna fastighetsel, hushållsel och solcellsproducerad el på timbasis.

Detta gör det möjligt att uppskatta om ett framtida bostadsområde uppfyller kriterierna för ett ”Positive Energy District” samt att ta hänsyn till effekttoppar för el och värme samt import och export av el. Studien undersökte även energiåtervinning från returledningen i fjärrvärmesystemet. Metoden tillämpas på en fallstudie av ett planerat bostadsområde i östra Mellansverige.

Resultaten visar att det för det undersökta bostadsområdet inte är möjligt att uppnå status som ett "Positive Energy District" med vare sig fjärrvärme- eller värmepumpslösningar i kombination med solcellssystem. Värmepumpssystem föredras när ett lågt årligt energianvändning är det enda bedömningskriteriet, men värmepumpar fördubblar också elimporten under vintern. Varken den årliga energibalansen för "Positive Energy Districts" eller indikatorn för primärenergi (enligt BBR 29) gör skillnad på energi från primär fjärrvärme eller returvärme.

Resultaten visar också att även om "Positive Energy Districts" syftar till att stärka det lokala energisystemet, så främjar inte den årliga energibalansen som ensam indikator till sådana förbättringar.

Manuskript, Kayayan, V. A. et al, Energy Interplay in a Planned District Community with a Large Share of PV Produced Electricity in Nordic Climate.

Sammanfattning: Denna studie fördjupar arbetet med analyser av framtida bostadsområden med hjälp av metoden med Urban Building Energy Models. I denna studie används det planerade bostadsområdet Nyhamn som exempel och området simuleras med en hög andel solcellsproducerad el. De uppvärmningssystem som simuleras är fjärrvärme, fjärrvärme i ett sekundärt system med "cascading" samt om värmepumpar används för uppvärmning. Kyla simuleras också om det används fjärrkyla eller kompressorkyla.

Simuleringarna visar att tillgängligt flöde i fjärrvärmesystemet vid området Nyhamn är begränsande och det krävs att primär fjärrvärme används som värmekälla till det sekundära fjärrvärmenätet. Vidare visar projektet att en hög andel solcellsproducerad el skapar kraftiga effekttoppar av exporterad el ut från området. Om värmepumpar används för uppvärmning och kompressorkyla används minskar de exporterade effekttopparna något men sambanden är låg i bostäder mellan solcellsproduktion, användning av tappvarmvatten och kylbehov. Kylbehovet visar sig ligga efter i tid jämfört med solcellsproduktionen och att kompressorkyla i sig skapar hög effektanvändning sommardag.

Simuleringarna visar också att det går att få en självförsörjningsgrad på 29% av elbehovet om fjärrvärme och fjärrkyla används. Om värmepumpar och fjärrkyla används så minskar självförsörjandegraden. Det beror på en ökad elanvändning under tider när el inte produceras av solcellsanläggningarna. Simuleringarna visar att det är kraftiga effekttoppar för både använd el och exporterad el för området men i

sammanhanget en relativt låg energimängd vilket gör en batterilösning lämplig.

Referenser, källor

- [1] Naturvårdsverket, Vad är utsläppshandel, <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/utslappshandel/utslappshandel-for-allmanheten/vad-ar-utslappshandel/> (accessed 2025-05-26)
- [2] European Commission, EU Emissions Trading System (EU ETS), https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (accessed 2025-05-26)
- [3] European Commission, EU:s gröna giv, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_sv (accessed 2025-05-26)
- [4] European Commission, European Climate Law, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_sv (accessed 2025-05-26)
- [5] Europeiska rådet, 55 %-paketet, <https://www.consilium.europa.eu/sv/policies/fit-for-55/> (accessed 2025-05-26)
- [6] Europeiska rådet, pressmeddelande, 55 %-paketet: rådet enas om högre mål för förnybar energi och energieffektivitet, <https://www.consilium.europa.eu/sv/press/press-releases/2022/06/27/fit-for-55-council-agrees-on-higher-targets-for-renewables-and-energy-e> (accessed 2025-05-26)
- [7] Byggfakta, EU inför krav på solceller i nybyggnation från 2026, <https://www.byggfakta.se/blogg/eu-infor-krav-pa-solceller> (accessed 2025-05-26)
- [8] Energimyndigheten, Energigemenskaper - Förutsättningar och förslag på främjandeinsatser, ER 2024:20, ISSN 1403-1892, <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=294bae20fa14458da8673d849234874b&q=2024%3A20&lstqty=1> (accessed 2025-05-26)
- [9] Sveriges Energigemenskaper, Hammarby Sjöstad, <https://www.sverigesenergigemenskaper.se/post/hammarby-sj%C3%B6stads-energigemenskap> (accessed 2025-05-26)
- [10] Sveriges Energigemenskaper, Västerås, Sätra, <https://www.sverigesenergigemenskaper.se/post/virtuellt->

- [energigemenskap-i-eskilstuna](#) (accessed 2025-05-26)
- [11] Sveriges Energigemenskaper, Örebro, Tamarinden, <https://www.sverigesenergigemenskaper.se/post/efterl%C3%A4ngt-ad-klartecken-f%C3%B6r-energidelning-i-ny-stadsdel> (accessed 2025-05-26)
- [12] Mette Lager, Martin Warneryd, Maria Jangsten, Energigemenskaper - Förutsättningar och möjligheter, Version 1.0, https://www.bebostad.se/media/6950/slutrapport_energigemenskaper-forutsattningar-och-mojligheter_ver1_240707-1.pdf Version 1.0 2024-07-07 E”.
- [13] Örebro bostäder (ÖBO), Tamarinden - Sveriges smartaste stadsdel, <https://www.obo.se/sok-ledigt/vi-bygger/tamarinden-sveriges-smartaste-stadsdel/> (accessed 2025-05-26)
- [14] Erika Lönntoft, Hanna Hasselqvist, Systemförändring med lokalt delad energi, slutrapport, Datum 2024-12-18, https://www.ri.se/sites/default/files/2024-12/Slutrapport%20Systemf%C3%B6r%C3%A4ndring%20med%20lokalt%20delad%20energi_0.pdf (accessed 2025-05-26)
- [15] Energiföretagen Sverige och Svenska Kraftnät, Svensk Elmarknadshandbok 2023B, <https://www.energiforetagen.se/495eab/globalassets/plattformar/elmarknadsutveckling/2023/arkiv/svensk-elmarknadshandbok-2023b.pdf> (accessed 2025-05-26)
- [16] Solkraft Sverige, <https://www.solkraftsverige.se/bostadshus-i-otakt-med-solen/> (accessed 2025-05-26)
- [17] M. Åberg, Exergigemenskaper - för ett resurseffektivt energisystem, Energiforsk AB, Rapport 2024:1064, ISBN 978-91-89919-64-8
- [18] H. Lund *et al.*, 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems,” *Energy*, vol. 68, pp. 1–11, Apr. 2014, doi: 10.1016/J.ENERGY.2014.02.089.
- [19] Boverket, BBR 29, https://rinfo.boverket.se/BFS2011-6/dok/BFS2020-4_Konsolidering.pdf (accessed 2025-05-26)
- [20] S. Werner, Network configurations for implemented low-temperature district heating,” *Energy*, vol. 254, p. 124091, Sep.

- 2022, doi: 10.1016/J.ENERGY.2022.124091.
- [21] S. Buffa, M. Cozzini, M. D'Antoni, M. Baratieri, and R. Fedrizzi, 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 104, pp. 504–522, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2018.12.059.
- [22] H. Lund *et al.*, Perspectives on fourth and fifth generation district heating,” *Energy*, vol. 227, p. 120520, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.ENERGY.2021.120520.
- [23] Tidningen Energi, Juni 2023, Här används fjärrvärmereturen för uppvärmning, <https://www.energi.se/artiklar/2023/juni-2023/har-anvands-fjarrvarmereturen-for-uppvarmning/> (accessed 2025-05-26)
- [24] Gävle kommun, Näringen, <https://www.gavle.se/kommunens-service/bygga-trafik-och-miljo/planer-och-samhallsbyggnadsprojekt-i-gavle/pagaende-byggprojekt-i-gavle/naringen/> (accessed 2025-05-26)
- [25] Ekologigruppen, området Näringen, <https://www.ekologigruppen.se/projekt/framtidens-hallbara-naringen-i-gavle/> (accessed 2025-05-26)
- [26] Spacescape, Ideförslag Näringen, <https://www.spacescape.se/project/ideforslag-naringen/> (accessed 2025-05-26)
- [27] SVT Nyheter, Publicerad 13 april 2023, Gävle vill skjuta upp omvandlingen av Näringen: ”Inte samma tryck på nya bostäder, <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/gavleborg/gavle-vill-skjuta-opp-omvandlingen-av-naringen-inte-samma-tryck-pa-nya-bostader> (accessed 2025-05-26)
- [28] Gävle kommun, området Nyhamn, <https://www.gavle.se/kommunens-service/bygga-trafik-och-miljo/planer-och-samhallsbyggnadsprojekt-i-gavle/pagaende-byggprojekt-i-gavle/nyhamn-stadsdelen-som-vagar/> (accessed 2025-05-26)
- [29] Boverket. BFS 2020:4 - BBR 29. <https://rinfor.boverket.se/BFS2011-6/pdf/BFS2020-4.pdf>. (accessed 2025-05-26)
- [30] F. Johari, F. Shadram, and J. Widén, Urban building energy modeling from geo-referenced energy performance certificate data:

- Development, calibration, and validation,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 96, p. 104664, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.SCS.2023.104664.
- [31] Oskar Olsson, Distributionssystem för lågtempererad fjärrvärme i framtida bostadsområden - Fallstudie för stadsomvandlingsprojektet Näringen i Gävle, Juni 2023, <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1768990/FULLTEXT01.pdf> (accessed 2025-05-26)
- [32] Karin Israelsson, Värmebehov i byggnader i en planerad stadsdel med lågtempererad fjärrvärme som värmekälla, Juni 2023, <https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1771089/FULLTEXT01.pdf> (accessed 2025-05-26)
- [33] Oskar Olsson et al., Simulation of distribution system for low temperature district heating in future urban areas – Case study of a planned city district in Gävle, SIMS 64, Västerås, Sweden, September 26-27, 2023
- [34] Karin Israelsson et al., Building heat demand characteristics in a planned city district with low-temperature district heating supply, SIMS 64, Västerås, Sweden, September 26-27, 2023
- [35] Kayayan, V. A., Cabral, D., Israelsson, K., & Gustafsson, M. (2025). Positive energy districts in Sweden : The impact from heat Pumps, photovoltaic Systems, and energy recovery from district heating return pipe. *Energy and Buildings*, 334.
- [36] EQUA Simulöation AB, IDA-ICE, <https://www.equa.se/se/ida-ice> (accessed 2025-05-26)
- [37] F. Johari, J. Munkhammar, F. Shadram, and J. Widén, Evaluation of simplified building energy models for urban-scale energy analysis of buildings,” *Build. Environ.*, vol. 211, p. 108684, Mar. 2022, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.108684.
- [38] Statistikmyndigheten, SCB, <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/hushallens-ekonomi/inkomster-och-inkomstfordelning/hushallens-boende/pong/statistiknyhet/hushallens-boende-2019/> (accessed 2025-05-26)
- [39] Sveby. Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. url: https://www.sveby.org/wp-content/uploads/2011/06/brukarindata_bostader.pdf (accessed 2025-05-26)

- [40] A. Hasan, J. Kurnitski, and K. Jokiranta, “A combined low temperature water heating system consisting of radiators and floor heating,” *Energy Build.*, vol. 41, no. 5, pp. 470–479, May 2009, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2008.11.016.
- [41] Ruhnau, O., Hirth, L. & Praktiknjo, A. Time series of heat demand and heat pump efficiency for energy system modeling. *Sci Data* 6, 189 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0199-y>
- [42] M. Zaheer-Uddin, G. R. Zheng, and S. H. Cho, “Optimal operation of an embedded-piping floor heating system with control input constraints,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 38, no. 7, pp. 713–725, May 1997, doi: 10.1016/S0196-8904(96)00058-1.
- [43] Svend Fredriksen och Sven Werner. Fjärrvärme och fjärrkyla. Upplaga 1:4. Lund: Studentlitteratur, 2014.
- [44] Arvid Press. Utformning av modell för simulering av distributionsnät för fjärrvärme. 2022. url: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1670033/FULLTEXT01.pdf> (accessed 2025-05-26)
- [45] H. Chanson, “Physical modelling of hydraulics,” *Hydraul. Open Channel Flow*, pp. 253–274, Jan. 2004, doi: 10.1016/B978-075065978-9/50021-0.
- [46] QGIS, <https://www.qgis.org/> (accessed 2025-05-26)
- [47] C. F. Reinhart and C. Cerezo Davila, “Urban building energy modeling – A review of a nascent field,” *Build. Environ.*, vol. 97, pp. 196–202, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2015.12.001.
- [48] Claes Sandels, Joakim Widén och Lars Nordström. ‘Simulating occupancy in office buildings with non-homogeneous Markov chains for Demand Response analysis’. I: 2015 IEEE Power Energy Society General Meeting. 2015, s. 1–5. doi: 10.1109/PESGM.2015.7285865.
- [49] European Commission. Photovoltaic Geographical Information System. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#TMY. (accessed 2025-05-26)
- [50] Gavlegårdarna AB, <https://www.gavlegardarna.se/> (accessed 2025-05-26)
- [51] PVsyst, <https://www.pvsyst.com/> (accessed 2025-05-26)

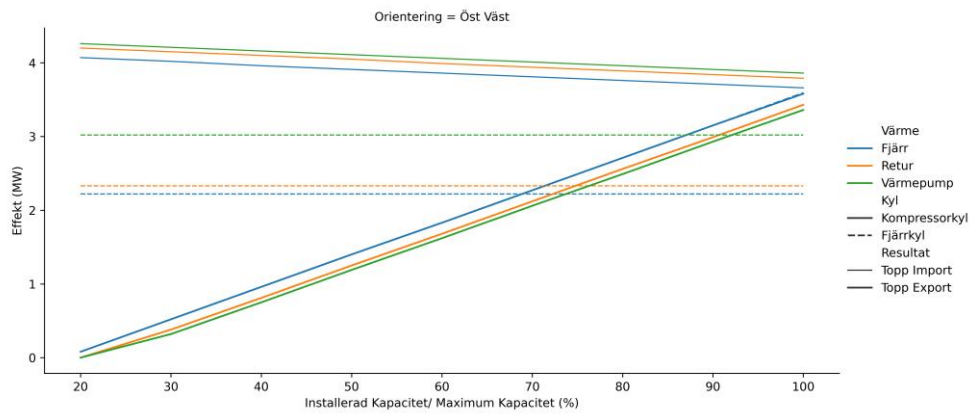
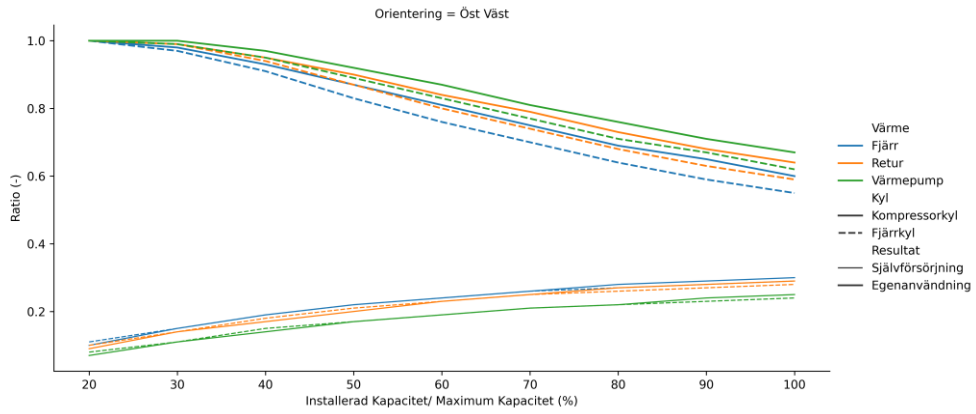
- [52] van Noord, M., Landelius, T., & Andersson, S. (2021). Snow-Induced PV Loss Modeling Using Production-Data Inferred PV System Models. *Energies*, 14(6), 1574. <https://doi.org/10.3390/en14061574>".
- [53] SMHI, Faktapaket normaler, <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/normaler> (accessed 2025-05-26)

Bilagor

Som bilagor bifogas Tabell 9 och 10 i grafisk form där Bilaga 1 visar resultaten när solcellsanläggningarna är monterade i riktning öst-väst och linjärt förminskad i steg om 10% till som minst 20% av ursprungsstorleken och andelen egenanvänd el, självförsörjningsgrad samt exporterad och använd toppeffekt är beräknade. Beräkningarna presenteras för de olika uppvärmningsteknikerna fjärrvärme, användningen av returvärme tillsammans med en värmepump för tappvarmvatten samt om värmepumpar används för hela uppvärmningsbehovet.

Bilaga 2 visar resultaten när solcellsanläggningarna är monterade i söderriktning med 20° lutning och linjärt förminskad i steg om 10% till som minst 20% av ursprungsstorleken och andelen egenanvänd el, självförsörjningsgrad samt exporterad och använd toppeffekt är beräknade. Beräkningarna presenteras för de olika uppvärmningsteknikerna fjärrvärme, användningen av returvärme tillsammans med en värmepump för tappvarmvatten samt om värmepumpar används för hela uppvärmningsbehovet.

Bilaga 1



Bilaga 2

