



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC - STS 21015

Examensarbete 30 hp
Maj 2021

Energidelning mellan byggnader

Utveckling av en gemensam energicentralsmodell
i IDA ICE

Ida Adolfsson & Kristin Boman



UPPSALA
UNIVERSITET

**Teknisk- naturvetenskaplig fakultet
UTH-enheten**

Besöksadress:
Ångströmlaboratoriet
Lägerhyddsvägen 1
Hus 4, Plan 0

Postadress:
Box 536
751 21 Uppsala

Telefon:
018 – 471 30 03

Telefax:
018 – 471 30 00

Hemsida:
<http://www.teknat.uu.se/student>

Abstract

Energy sharing between buildings

Ida Adolfsson & Kristin Boman

This report aims to evaluate the potential of sharing energy regarding heat and cooling between buildings in a small decentralized energy system. A model of an energy substation was developed in IDA ICE Advanced level only system to create a time efficient tool that is easy to handle for people in the industry. Three cases of building stocks with different heating and cooling demands were modeled in the energy substation, both separately and collectively, to investigate the differences in energy performance as a result of energy recovery between buildings.

The study also contained a sociotechnical aspect of the decentralized energy system. Interviews were carried out to study how a mutual energy substation is implemented in reality and what challenges and opportunities the technology faces. An important conclusion is that the future development for this new technology is highly dependent on an increased cooperation between companies in the industry.

The simulations of the cases showed an improved energy performance for the mutual energy substations in all three cases, seven percent improvement as most. The report concludes that there is potential for an improved energy performance in a building stock when implementing a mutual energy substation since it enables the ability to save energy through energy recovery. Furthermore, it is concluded that a resembling heat and cooling demand within the building stock increases the total energy performance of the system. An improved control system of the model is recommended before deciding if and where it is beneficial to implement a mutual energy substation.

Handledare: Robin Jonsson
Ämnesgranskare: Annica Nilsson
Examinator: Elísabet Andrésdóttir
ISSN: 1650-8319, UPTec STS21 015

Populärvetenskaplig sammanfattning

För att säkerställa att våra byggnader förses med värme under årets kallaste vinterdagar, eller att den lokala matbutiken alltid har tillgång till kyla, krävs idag en stor mängd energi till våra byggnader. Nya energieffektiva lösningar som kan sänka energianvändningen för uppvärmning och kylning är därför viktiga att utveckla för att spara energi och minska utsläppen. Traditionellt sett kan byggnader ha en egen energicentral bestående av en värmepump som ansvarar för fastighetens energiförsörjning. När en värmepump producerar värme erhålls alltid kyla som biprodukt, och vice versa genereras ett värmeöverskott vid produktion av kyla i en kylmaskin. I vanliga fall släpps värmen ut i luften och överskottsenergin går därmed till spillo. Genom att sammankoppla byggnader i en gemensam energicentral kan byggnader i stället dela energi mellan varandra och energiåtervinna den restenergi som uppstår.

Denna nya lösning på hur energi kan delas mellan byggnader i en gemensam energicentral är ett nytt område inom uppvärmnings- och kylmarknaden. För att stötta användandet av förnyelsebar energi kan även ett geoenergilager inkluderas i lösningen, och systemet för energidelning kan därmed även nyttja markens energi. Denna typ av system för energidelning med en geoenergianläggning är det studien ämnar studera. I och med att tekniken är i en uppstartsfas saknas enkla och tidseffektiva verktyg att utgå från för att avgöra om ett byggnadsbestånd har potential att spara energi genom att använda en gemensam energicentral. Studien har därför utvecklat en tidseffektiv och lätthanterlig modell som kan analysera hur energianvändning påverkas om byggnader sammankopplas i en gemensam energicentral, jämfört med hur energianvändningen ser ut i den traditionella meningen med en egen energicentral.

Studien ämnar även att undersöka vilka utmaningar denna nya typ av teknik ställs inför i verkligheten. Genom att intervjua personer med erfarenhet från ett verkligt projekt av en gemensam energicentral likt studiens energicentral, är det tydligt att teknikens utveckling bygger på ett fungerande samarbete mellan branschens företag. Eftersom det finns få verkliga system för energidelning i drift att dra lärdom från krävs det att de företag som sitter på denna expertis är villiga att dela med sig av sin kompetens för att främja innovationsutveckling kring tekniken. Idag saknas en plattform som möjliggör detta kunskapsutbyte, vilket kan tolkas som ett hinder för att påskynda teknikens framtida utveckling och framväxt på marknaden.

Studiens modell analyserade tre olika fall av byggnadsbestånd med olika värme- och kylbehov. I samtliga fall skedde en förbättring vid sammankoppling i en gemensam energicentral, jämfört med när byggnaderna hade en egen energicentral. En förbättring av energiprestandan blev uppemot sju procent för ett byggnadsbestånd som sammankopplas i en gemensam energicentral jämfört med om samma byggnadsbestånd skulle använda egna energicentraler. Resultatet visade att sammansättningen av byggnaderna i byggnadsbeståndet måste ha ett mötande kyl- och värmebehov för att kunna återvinna överskottsenergi mellan varandra. Förhoppningen är att modellen ska kunna utvecklas

vidare och ligga till grund för att öka kunskapen om energidelning mellan byggnader. Studiens modell har fortsatt behov av förbättringsåtgärder, men är ett steg i rätt riktning för att stötta framväxten av nya lösningar inom branschen som kan sänka energianvändningen i dagens byggnader.

Förord

Detta examensarbete avslutar vår civilingenjörsutbildning i system i teknik och samhälle med inriktningen energisystem vid Uppsala universitet. Examensarbetet omfattar 30 hp och har utförts hos Bengt Dahlgren Stockholm AB av Ida Adolfsson och Kristin Boman under vårterminen 2021.

Vi vill börja med att rikta ett stort tack till vår ämnesgranskare Annica Nilsson vid Uppsala universitet, universitetslektor vid institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik, byggteknik och byggd miljö. Din roll som bollplank har hjälpt arbetet framåt och till det bättre.

Vi vill tacka Bengt Dahlgren Stockholm AB för att vi fått äran att göra vårt examensarbete hos er. Vi vill även tacka Bengt Dahlgren Uppsala AB för att vi fått ta del av ert kontor i pandemins dystra tider, och att vi fått möjligheten till att bli en del av er varma företagskultur. Vi vill även tacka alla respondenter för att vi fått låna er tid och att vi fått möjligheten att ta del av er expertis inom området.

Slutligen vill vi tacka vår handledare Robin Jonsson, Bengt Dahlgren Stockholm AB för ditt stora engagemang och för att du tagit dig tid för oss genom hela arbetet. Tack för alla kontinuerliga samtal som hjälpt oss framåt och möjliggjort att ta arbetet i mål.

Ida Adolfsson och Kristin Boman
Uppsala, maj 2021

Innehållsförteckning

Figurförteckning.....	2
Förkortningar och ordlista	3
Nomenklatur	4
1. Inledning	5
1.1 Syfte och frågeställningar	6
1.2 Avgränsningar.....	6
1.3 Begränsningar	7
1.4 Individuellt bidrag till rapporten	7
1.5 Disposition	7
2. Bakgrund.....	8
2.1 Dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem.....	8
2.2 Framtidens uppvärmning- och kylsystem	10
2.3 Energilagring	12
2.4 Energiprestanda och verkningsgrad	13
2.5 Studiens uppvärmning- och kylsystem	13
3. Metod.....	17
3.1 IDA ICE Advanced level only system	17
3.2 Modellbeskrivning	18
3.3 Validering	24
3.4 Datahantering.....	25
3.5 Simulering.....	25
3.6 Intervju.....	26
4. Resultat.....	27
4.1 Energiprestanda	27
4.2 Teknikens utmaningar och möjligheter.....	36
4.3 Känslighetsanalys	39
5. Diskussion	43
5.1 Energiprestanda	43
5.2 Modellens potential.....	45
5.3 Teknikens utmaningar och möjligheter.....	47
6. Slutsatser	50
7. Rekommendationer till framtida studier	52
Referenser	53
Bilagor	56

Figurförteckning

Figur 1. Ett kombinerat fjärrvärme- och fjärrkylasystem, med värmedistribution och returvärme i röda ledningar och kyldistribution och returkyla i blå ledningar.	9
Figur 2. Sammansättning av byggnadsbestånden för de tre studerade fallen, där röd färg indikerar att det finns ett värmebehov och blå färg ett kylbehov.	14
Figur 3. Studiens uppvärmning- och kylsystems uppbyggnad för fall 3.	16
Figur 4. Modellens delsystem för uppvärmning.	19
Figur 5. Modellens delsystem för tappvarmvatten.	19
Figur 6. Modellens delsystem för kylning.	20
Figur 7. Modellen för energicentralen, inklusive ledningarna som kopplar samman delsystem och energilager.	22
Figur 8. Värmeväxlarnas koppling mellan borrhål och framledning till respektive delsystem.	23
Figur 9. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 1.	28
Figur 10. Effektöverföring i VVX1, för fall 1, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.	28
Figur 11. Effektöverföring i VVX2, för fall 1, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.	29
Figur 12. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 2.	31
Figur 13. Effektöverföring i VVX1, för fall 2, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.	31
Figur 14. Effektöverföring i VVX2, för fall 2, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.	32
Figur 15. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 3.	34
Figur 16. Effektöverföring i VVX1, för fall 3, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.	34
Figur 17. Effektöverföring i VVX2, för fall 3, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.	35
Figur 18. Temperatur ner i och upp från borrhålen i fall 1 under tidsperiod 2000-2020.	40
Figur 19. Temperatur ner och upp från borrhålen i fall 2 under tidsperiod 2000-2020.	41
Figur 20. Temperatur ner i och upp från borrhålen i fall 3 under tidsperiod 2000-2020.	42

Tabellförteckning

Tabell 1. Energiförbrukning (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 1, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiförbrukning för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).	30
Tabell 2. Energiförbrukning (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 2, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiförbrukning för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).	33
Tabell 3. Energiförbrukning (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 3, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiförbrukning för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).	36
Tabell 4. Specifikationer om fallens byggnader, deras yta, energibehov och energiförbrukning.	56

Förkortningar och ordlista

<i>4GDH</i>	<i>Fjärde generationens fjärrvärmesystem</i> Bygger på dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem (tredje generationens fjärrvärmesystem) men med lägre cirkulerande temperaturer än dagens.
<i>5GDHC</i>	<i>Femte generationens fjärrvärme- och fjärrkylasystem</i> Bygger på principen att dela energi mellan byggnader genom att nyttja varandras restvärme och restkyla, med cirkulerande temperaturer nära marktemperatur.
<i>COP</i>	<i>Coefficient of Performance</i> Verkningsgraden beskriver exempelvis värmepumpens eller kylmaskinens prestanda och visar hur mycket värme eller kyla en värmepump eller kylmaskin levererar jämfört med tillförd mängd el.
<i>COP_{system}</i>	Den för studien framtagna verkningsgrad, baserad på ett viktat medelvärde för energianvändningen av uppvärmning, kyla och TVV hos en byggnad eller ett byggnadsbestånd
<i>Energicentral</i>	En undercentral som förser en eller flera byggnader med värme och kyla.
<i>Egna energicentraler</i>	När flera byggnader i ett byggnadsbestånd använder egna energicentraler.
<i>Energidelning</i>	När värme och/eller kyla delas mellan byggnader.
<i>Energiprestanda</i>	Anges i kilowattimmar per kvadratmeter (kWh/m ²) och är ett mått på hur mycket energi som behöver tillföras till en byggnad.
<i>Framlednings-temperatur</i>	Mediets temperatur i ledningen fram till byggnaden.
<i>Frikyla</i>	Möjligheten att erhålla kyla från omgivning utan användning av kylmaskin. Kyla kan exempelvis hämtas från berggrunden, uteluften eller en närliggande sjö.
<i>Gemensam energicentral</i>	När flera byggnader i ett sammankopplat byggnadsbestånd använder en gemensam energicentral.
<i>IDA ICE</i>	<i>IDA Indoor Climate and Energy</i> Simuleringsmjukvara som erbjuder verktyg för att modellera byggnader samt utföra energiberäkningar och klimatberäkningar kopplade till en byggnads unika egenskaper.
<i>Kylsystem</i>	Det system som förser en byggnad med kyla.

<i>Lastprofil</i>	Den last i form av energibehov en byggnad utgör i ett energisystem, vilket kan variera både dygnsvis och årsvis. I studien avses främst energibehov i form av värme- och kylbehov.
<i>Primär sida</i>	Den primära sidan av kretsen finns utanför byggnaden och förser byggnaden med vattenburen värme eller kyla. Den primära sidan är närmast kopplat till distributionen av värme- eller kyla.
<i>Returlednings-temperatur</i>	Mediets temperatur efter att energi är överförd till byggnaden.
<i>Sekundär sida</i>	Den sekundära sidan av kretsen finns i byggnaden och förser byggnaden med vattenburen värme eller kyla. Den sekundära sidan förser exempelvis radiatorer i byggnaden med värme.
<i>Spets</i>	En effektreserv som används när den primära energikällan i en byggnad inte kan täcka det momentana effektbehovet.
<i>TVV</i>	<i>Tappvarmvatten</i>
<i>VVX</i>	<i>Värmeväxlare</i>
<i>Värme-/kylbehov</i>	Den värme eller kyla som krävs för att uppnå efterfrågat inomhusklimat i en byggnad.
<i>Värmesystem</i>	Det system som förser en byggnad med uppvärmning till rum och tappvarmvatten.

Nomenklatur

Symbol	Beskrivning	Enhet
P	Effekt	W
$\dot{m}$	Massflöde	kg/s
ρ	Densitet	kg/m ³
c_p	Specifik värmekoefficient	J/(kg, K)
T_{fram}	Framledningstemperatur	°C
T_{retur}	Returledningstemperatur	°C
B	Antal borrhål	st
q	Flöde	l/s
ΔT	Temperaturdifferens	°C

1. Inledning

Byggnader kräver idag en stor mängd energi för att tillgodose rätt inomhusklimat och säkerställa värme- och kylbehovet under årets alla timmar. I Sverige går en tredjedel av landets totala energianvändning till att förse bostäder och lokaler med värme och kyla, varav 60 procent går till uppvärmning (Energimyndigheten, 2020a). Energianvändning i byggnader utgör globalt sett en av de mest energikrävande sektorerna idag och bidrar till en stor andel utsläpp (GlobalABC m.fl., 2020). Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU skriver att i takt med att fler människor flyttar in till städerna ökar behovet av byggnader, något som kräver nya lösningar på hur energiförbrukningen inom sektorn kan sänkas. Europaparlamentets och rådets direktiv 2012/27/EU skriver att som svar på denna utveckling har krav på energieffektiviseringsåtgärder samt en ökad användning av förnyelsebara energikällor framförts i EU:s energieffektivitetsdirektiv samt direktiv om byggnaders energiprestanda. Energi för rumsuppvärmning, kylning och tappvarmvatten utgör majoriteten av energianvändningen inom byggnader (GlobalABC m.fl., 2019), och därmed finns en stor potential i att sänka byggnadens energiförbrukning inom dessa områden.

Vanligtvis kan en byggnad ha en egen energicentral i form av en värmepump som ansvarar för fastighetens energibehov. När en värmepump producerar värme skapas alltid en biprodukt av kyla, och på samma sätt uppstår värme som biprodukt när en kylmaskin producerar kyla. Vanligtvis släpps biprodukten av energi ut i luften och på så sätt går energi förlorad. Ett sätt att sänka energianvändningen i byggnader och ta tillvara på denna restenergi är genom att koppla samman olika byggnader och dela energi. Genom att sammankoppla byggnader i en gemensam energicentral, och skapa ett byggnadsbestånd bestående av olika energibehov, går det att ta vara på byggnadernas restenergi. På så sätt kan biprodukten av kyla som uppstår från ett värmebehov, i exempelvis bostäder, möta ett kylbehov i exempelvis lokaler. Denna typ av system för energidelning bygger på att varje ansluten byggnad agerar som en prosument, som både producerar och konsumerar energi i en cirkulär lösning mellan de anslutna aktörerna. Denna nya teknik av decentraliserad energidelning i form av en gemensam energicentral för ett byggnadsbestånd är det denna studie ämnar undersöka.

För att möta agenda 2030 mål 7 gällande att säkerställa tillgång till ekonomiskt överkomlig, tillförlitlig, hållbar och modern energi för alla (UN, A/RES/70/1) kan även ett geoenergilagrar inkluderas. På så sätt kan lagrad värmeenergi i marken användas. Ny teknik likt en gemensam energicentral kan komma att påverka dagens kommersiella lösningar på värme- och kylmarknaden, exempelvis fjärrvärme och fjärrkyla. Ett helhetsperspektiv av vilka utmaningar och möjligheter denna typ av teknik står inför, både tekniskt och ur ett sociotekniskt perspektiv, blir således viktigt att studera.

Idag finns ett stort utbud av programvaror för energisimulering av enskilda huskroppar med egna energicentraler¹. Det saknas däremot lätthanterliga lösningar med korta

¹ Exempelvis: IDA Indoor Climate and Energy, VIP ENERGY och ENERGY PLUS

simuleringstider för att analysera den mängd energi som kan återanvändas om byggnader i ett byggnadsbestånd i stället sammankopplas i en gemensam energicentral. Det finns därför en stor efterfrågan på att ta fram en modell som klarar av ett systemtänk likt detta. En sådan modell kan användas som underlag i uppbyggandet av framtidens hållbara uppvärmnings- och kylsystem i byggnader, och de utmaningar som uppstår vid framställandet av modellen antas vara av extra intresse för branschen att få en inblick i och utveckla vidare.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att skapa en modell av en energicentral i programvaran IDA ICE Advanced level only system som kan användas för att utvärdera energiutbytet mellan sammankopplade byggnader. Studien ämnar även till att analysera en gemensam energicentral ur ett sociotekniskt perspektiv. Följande frågeställningar ställs:

- Hur påverkas energiprestandan (mätt i kWh/m²) i ett byggnadsbestånd vid sammankoppling i en gemensam energicentral?
- Hur påverkas energiprestandan vid en förändring av ett byggnadsbestånds sammansättning?
- Vilka utmaningar och möjligheter kan identifieras när den här typen av energilösningar realiserar?

1.2 Avgränsningar

Mjukvaruprogrammet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE), som studiens modell är uppbyggd i, utgår från ideala förhållanden. Detta innebär att distributionsförluster som uppstår i energicentralens rör och mindre pumpar inte inkluderats i resultatet. Den modul i IDA ICE som används i denna studie tar inte hänsyn till den interna påverkan mellan borrhål vid modellering av geoenergisystem. Eftersom byggnadsbeståndet med egna energicentraler och byggnadsbeståndet som är sammankopplat i en gemensam energicentral simuleras i samma modell och program, kommer icke-ideala förhållanden påvisas i samtliga undersökta fall. Då resultaten enbart sätts i relation till varandra kommer följd effekter från detta sannolikt inte ha stor påverkan på studiens resultat.

Ingen hänsyn har tagits till ekonomiska eller miljömässiga aspekter kopplade till energianvändning i denna studie. Samtliga byggnader i studien använder el som energikälla för att förse värmepumpar och kylmaskiner med energi. Studien antar att spetsen för uppvärmning och TVV använder el och består av en värmepanna. Eftersom studiens fokus har varit att undersöka energianvändningen för sammankopplade byggnader med en gemensam energicentral och byggnader med en egen energicentral, har studien avgränsats från att undersöka huruvida den energin som krävs för att värma och kyla byggnadsbestånd kommer från olika primärenergikällor. Likaså avgränsas frågor gällande hur ekonomiskt lönsamt det är att använda ett sammankopplat system med en gemensam energicentral framför egna energicentraler för respektive byggnadsbestånd. Därmed kan det resultat som visas vara mest energieffektivt vid

jämförelse av energianvändning mellan de två energisystemen, ge ett annat resultat ur ett ekonomiskt eller miljömässigt perspektiv.

1.3 Begränsningar

Eftersom tekniken för hur uppbyggnaden av en gemensam energicentral är ny har en begränsning i projektet varit att inte kunna validera modellen för den gemensamma energicentralen mot data från ett liknande system i drift. Det existerar likaså ingen standardiserad mall för hur en energicentral ska konstrueras i IDA ICE. Vid simulering av energicentralen har resultat granskats av sakkunniga ingenjörer från Bengt Dahlgren Stockholm AB för att stärka dess trovärdighet.

1.4 Individuellt bidrag till rapporten

Detta examensarbete har genomförts i samarbete mellan Ida Adolfsson och Kristin Boman. Rapportens samtliga delar har uppkommit och framställts i samverkan mellan författarna där ingen står ensamt ansvarig för någon enskild del. För att säkerställa ett genomgående regelbundet språk i rapporten har båda författarna både enskilt och gemensamt gått igenom samtliga kapitel, men för att uppnå ett effektivt samarbete under studiens gång har vissa uppdelningar gjorts i ansvarsområden.

Ida har genomfört och ansvarat för studiens tre intervjuer. Detta har inneburit ett övergripande ansvar för kontakt med respondenterna, utformning av intervjufrågor och intervjumetodik samt sammanställning av resultatet. Kristin har ansvarat för studiens Excelverktyg som tagits fram för att hantera data. Därmed har Kristin haft ett övergripande ansvar för hantering och sortering av data som applicerats till modellen samt de resultat som genererats av modellen.

1.5 Disposition

Kapitel 2 hanterar studiens nödvändiga bakgrundsinformation och är uppdelad i fem avsnitt: dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem, framtidens uppvärmning- och kylsystem, energilagring, energiprestanda och verkningsgrad samt studiens uppvärmning och kylsystem. Kapitel 3 presenterar studiens metod gällande: programvaran IDA ICE, den framtagna modellens modellbeskrivning, validering, datahantering och simulering samt de intervjuer som genomförts. Kapitel 4 presenterar studiens resultat och känslighetsanalys. Resultaten diskuteras i kapitel 5 och sammanställs genom studiens slutsatser i kapitel 6. Avslutningsvis presenteras författarnas rekommendationer till framtida studier inom detta ämnesområde i kapitel 7.

2. Bakgrund

I det första avsnittet (2.1) presenteras bakgrund till studien med avstamp i dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem. I avsnitt 2.2 presenteras två av framtidens möjliga uppvärmningssystem; fjärde generationens fjärrvärmesystem (4GDH) och femte generationens fjärrvärme- och fjärrkylasystem (5GDHC). Studiens modellerade system innefattar ett geoenergilag, därför tas bakgrund gällande denna typ av teknik upp i avsnitt 2.3, liksom bakgrund om energiprestanda och verkningsgrad i avsnitt 2.4. Avslutningsvis presenteras studiens uppvärmning- och kylsystem (2.5) med en genomgång av studiens fall, dess energibehov och energiprestanda samt energicentralens uppbyggnad.

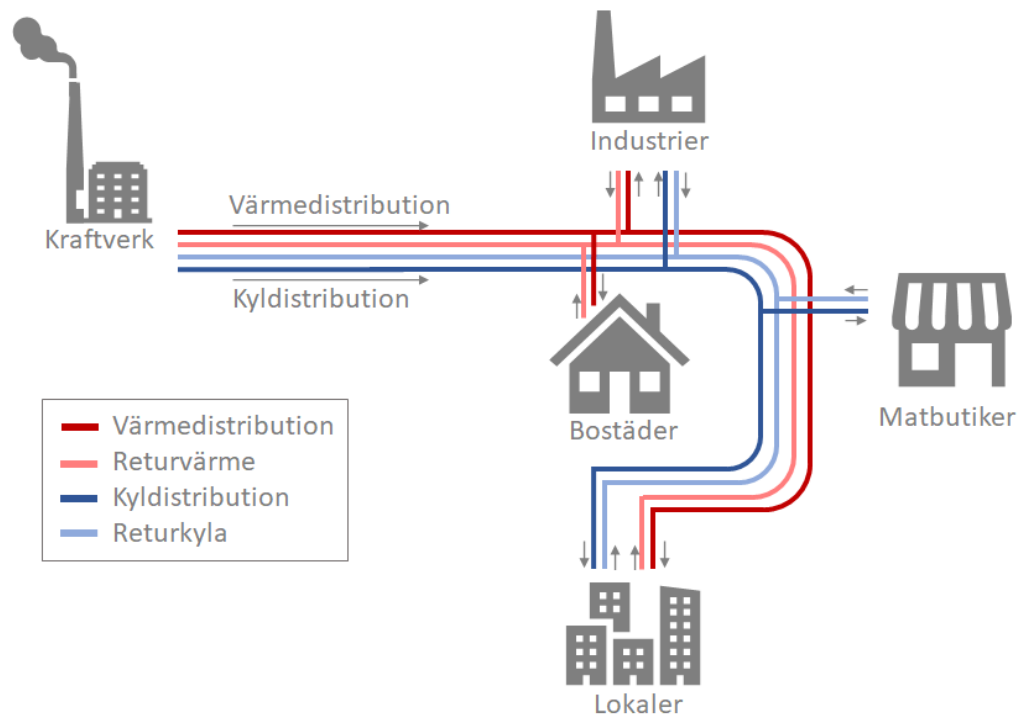
2.1 Dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem

Fjärrvärme bygger på principen att storskaligt försörja tätbebyggda områden med värme från centraliserade värmeverk via ett nätverk av rör med ett cirkulerande varmvatten (Warfvinge & Dahlblom, 2011). Ett fjärrvärmesystem syftar till att förse en byggnad med uppvärmning och tappvarmvatten (TVV) som tillsammans bildar byggnadens värmesystem. Lund m.fl., (2014) redogör i sin rapport om fjärrvärmesystemets utveckling, och hur framtidens fjärrvärmesystem bör utformas för att stötta en hållbar samhällsutveckling med en ökad andel förnyelsebar kraft i energisystemet (Lund m.fl., 2014).

Dagens konventionella fjärrvärmesystem, även kallat tredje generationens fjärrvärme, har en cirkulerande temperatur under 100 grader (Lund m.fl., 2014). Werner (2017a) skriver att medeltemperaturen på Sveriges högtempererade fjärrvärmesystem ungefär är 86 grader i framledning och 47 grader i returledningen, beroende av årstid och väder. Värmeverkens vatten fortsätter inte in i byggnadens uppvärmningssystem och kommer därmed inte ut i kranarna. Endast det heta cirkulerande vattnets värmeenergi överförs i byggnadens fjärrvärmecentral till husets egna uppvärmning- och TVV-system genom två värmeväxlare. Användaren ställer in eftersträvd rumstemperatur och temperatur på TVV, där fjärrvärmecentralen sedan ser till att rätt mängd värmeenergi överförs till byggnadens värmesystem i värmeväxlarna för att tillgodose efterfrågad temperatur (Werner, 2017b). Dagens fjärrvärmesystem baseras på ett produktionscentrerat perspektiv i den aspekten att systemets nätförvaltare ansvarar för att distribuera rätt framledningstemperatur och tryck till varje central i de anslutna byggnaderna (Buffa m.fl., 2019).

Fjärrvärmesystem har egenskapen att kunna nyttja olika energikällor för värmeproduktion såsom överskottsvärme från industri, geotermisk energi, solenergi samt avfallsförbränning i kraftvärmeverk. På så sätt kan fjärrvärmen fördelaktigt integrera förnybara källor och värme från källor som annars gått till spillo (Lund m.fl., 2014). Energimyndigheten (2020b) har i sin rapport Energiläget 2020 visat på att andelen kraftvärmeproducerad fjärrvärme ökar i Sverige vilket gynnar ett effektivt

resursutnyttjande i simultan värme- och elproduktion. Majoriteten av den tillförda energin i det svenska fjärrvärmesystemet kommer från biobränslen, vilket stöttar en förnyelsebar energitillförsel (Energimyndigheten, 2020b). Energimyndigheten (2020c) har fastslagit att 90 procent av värmebehovet för svenska flerbostäder försörjdes av fjärrvärme 2019. Motsvarande siffra för lokaler var 78 procent. Fjärrvärme är därmed den vanligaste metoden för uppvärmning i svenska flerbostäder och lokaler (Energimyndigheten, 2020c). Ett fjärrvärmesystem kan sättas samman med ett fjärrkylasystem, detta bildar ett kombinerat fjärrvärme- och fjärrkylasystem, vilket illustreras i figur 1.



Figur 1. Ett kombinerat fjärrvärme- och fjärrkylasystem, med värmedistribution och returvärme i röda ledningar och kyldistribution och returkyla i blå ledningar.

Fjärrkyla fungerar med samma princip som fjärrvärme fast med kallt cirkulerande vatten (Warfvinge & Dahlblom, 2011). Marknaden för fjärrkyla är i dagsläget mindre än fjärrvärme, där fjärrkyla främst används för kylning i kommersiella byggnader, i kontors- och affärslokaler och inom industriprocesser. Användningen av fjärrkyla ökar i Sverige, och mellan 2017 och 2018 ökade leveransen av fjärrkyla med 26 procent (Energimyndigheten, 2020b). I EU:s (2011) rapport “2020-2030-2050 Common Vision for the Renewable Heating & Cooling sector in Europe” diskuteras trenden av ett ökat kylbehov i Europa. Detta beror bland annat på ett ökat krav på förbättrad inomhuskomfort och energieffektiva klimatskal inom bostäder men även inom kommersiella byggnader likt köpcentrum. Klimatförändringar har även skapat en växande efterfråga på komfort med kallare inomhustemperatur, särskilt under sommarhalvåret (EU, 2011).

UNEP (2015) diskuterar fjärrkylans potential i att sänka det kraftigt ökade elbehovet från luftkonditionering och kylaggregat. Elförbrukningen från dessa kylmaskiner kan orsaka problem i elnätet vid topplaster samt leda till långvariga strömavbrott och stora kostnader

för att upprätthålla effektreserver (UNEP, 2015). Fjärrkyla blir ett miljövänligt alternativ för att möta trenden av ett ökat kylbehov, då tekniken ersätter marknadens elintensiva luftkonditionering (Jangsten m.fl., 2020). Dagens konventionella fjärrkyla använder ofta absorptionskyla i kombination med kylmaskiner för att producera fjärrkyla. Alternativt kan enbart frikyla användas (Energimyndigheten, 2020b), vilket innebär möjligheten att erhålla kyla från omgivning utan användning av kylmaskin. Frikyla kan exempelvis hämtas från berggrund, hav eller sjöar.

Värmemarknaden i Sverige har sedan avregleringen av elmarknaden 1996 haft oreglerade marknadspriser. Fjärrvärme beskrivs som ett naturligt monopol eftersom det antyds endast finnas marknad för ett fjärrvärmebolag i ett geografiskt avgränsat område (Karlsen & Pettyfer, 2011). Att ansluta sig till fjärrvärmenätet kräver stora investeringskostnader vilket oftast innebär att när en byggnad väl anslutit sig till fjärrvärmenätet sker sällan ett byte från fjärrvärme (Biggar m.fl., 2018). Detta kan, om prissättningen eller uppvärmningsmetod förändras, resultera i att kunder tvingas kvar i fjärrvärmenätet (Biggar m.fl., 2018; Karlsen & Pettyfer 2011). Fjärrvärmen har idag få avbrott, vilket innebär en försörjningstrygghet för anslutna byggnader. Vid händelse av ett långvarigt stopp skulle stora konsekvenser uppstå för uppvärmning av bostäder och lokaler samt försörjningstryggheten för personer och byggnader (Energimyndigheten, 2020b).

2.2 Framtidens uppvärmning- och kylsystem

Utvecklingen av framtidens uppvärmning- och kylsystem är pågående och flera systemtyper med potential är i utvecklingsfas. Denna studie presenterar två systemtyper: fjärde generationens fjärrvärmesystem (4GDH) och femte generationens fjärrvärme- och fjärrkylasystem (5GDHC). Det finns flertalet nystartade projekt inom ramen för dessa system, där två system presenteras i denna studie. Avslutningsvis presenteras även 4GDHC och 5GDHC:s fördelar gällande att balansera energi inom systemet, främst genom energidelning mellan byggnader.

2.2.1 Fjärde generationens fjärrvärmesystem

Nästa generationens fjärrvärmesystem, fjärde generationens (4GDH), ska enligt Lund m.fl., (2014) utformas och anpassas till ett energisystem baserat på förnyelsebara energikällor. En viktig aspekt är att 4GDH arbetar med lägre cirkulerande temperaturer. Lägre temperaturer innebär mindre distributionsförluster, vilket i sin tur ökar möjligheten att leverera fjärrvärme till områden med lägre värmtäthet på ett ekonomiskt försvarbart vis. Framtidens fjärrvärmesystem behöver kunna leverera värme med låga temperaturer till både gamla byggnader, renoverade byggnader och nya lågenergihus med låga nätförluster. Fjärrvärmesystemet behöver enligt Lund m.fl., (2014) även använda värmeåtervinning från lågtempererade energikällor och integrera förnyelsebara energikällor. Detta krävs för att fjärrvärmen ska vara en del av ett smart energisystem menar Lund m.fl., (2014), där ett smart energisystem innebär att olika tekniska lösningar av elnät, termiska nät och gasnät kombineras och samordnas för att uppnå synergier.

2.2.2 Femte generationens fjärrvärme- och fjärrkylasystem

Enligt Boesten m.fl., (2019) nyttjas inte returflödets energiinnehåll i dagens konventionella fjärrvärmesystem. Ett typiskt femte generationens fjärrvärme- och fjärrkylasystem (5GDHC) saknar returledning och har ett dubbelriktat flöde som tillhandahåller värme och kyla samtidigt (Boesten m.fl., 2019). Bünning m.fl., (2018) beskriver att vid värmebehov nyttjas värmen från den varma sidan av systemet där en värmepump i byggnaden höjer vattnet till önskad temperatur, för att sedan släppa ut returvattnet på den kalla sidan av systemet. Vid ett kylbehov arbetar 5GDHC i motsatt riktning. Temperaturen i ett 5GDHC-system är nära marktemperatur, mellan 12 och 20 grader på den varma sidan och mellan 8 och 16 grader på den kalla sidan (Bünning m.fl., 2018). På grund av dess låga verksamma temperatur skriver Boesten m.fl., (2019) att systemet inte passar för direkt uppvärmning av byggnader, utan kräver en lokal värmepump vid byggnaden för att höja eller sänka temperaturen till önskad temperatur. Däremot kan 5GDHC med dess värmepumpsteknik, nyttja värmen som finns i den restenergi som uppstår från kylning, alternativt den kyla som finns i restenergin som uppstår från uppvärmning. På detta sätt kan 5GDHC balansera den termiska efterfrågan effektivt och sänka den totala efterfrågan på energi. Befintlig energi nyttjas således på ett mer optimalt sätt mellan byggnader och det finns inte ett lika stort behov av att behöva tillföra energi till systemet (Boesten m.fl., 2019).

2.2.3 Delningspotential

Det timvisas effektbehov en byggnad har kan beskrivas genom byggnadens lastprofil, vilket kan variera både dygnsvis och årsvis. Integralen av lastprofilen ger byggnadens totala energibehov. I studien avses främst energibehov i form av värme- och kylbehov. Egenskapen att kunna tillgodose värme och kyla samtidigt fungerar enligt Buffa m.fl., (2019) framför allt fördelaktigt där sammankopplade byggnader har olika lastprofiler för värme och kyla. På detta sätt kan synergier i energibehov av värme och kyla uppstå och en delvis balans av energi inom systemet uppnås (Buffa m.fl., 2019). I samband med att ett system för energidelning ökar i storlek, exempelvis genom ett ökat antal olika lastprofiler, ökar också sannolikheten för att uppnå balans mellan tillgång och efterfrågan på värme och kyla i systemet (Boesten m.fl., 2019). Lund m.fl., (2014) skriver att en viktig parameter för framtidens fjärrvärme är att integrera effektiva lösningar för just kylning. Även framtidens fjärrvärme och fjärrkyla måste utveckla nya, hållbara affärsmodeller i linje med ett energisystem baserat på förnybara källor (Lund m.fl., 2014).

I framtidens uppvärmning- och kylsystem, likt 5GDHC, agerar varje konsument också som en producent av energi, en så kallad prosument (Buffa m.fl., 2019; Bünning m.fl., 2018). Detta beskriver Buffa m.fl., (2019) kommer göra att framtidens uppvärmning- och kylsystem blir mer beroende av varje enskild konsument i systemet. Aktörerna i systemet kan exempelvis vara industrier, privatpersoner, kontor eller bostäder, som alla erbjuder olika typer av lastprofiler (Buffa m.fl., 2019). Boesten m.fl., (2019) skriver att vissa värme- och kylaster kan balanseras timvis medan andra kan balanseras säsongsvis. För att överbrygga tidsmässiga luckor som uppstår mellan utbud och efterfrågan för värme-

respektive kylbehov används både kortvariga och säsongsbundna energilager i systemet. Genom säsongslagring kan värmeöverskott som ofta uppstår under sommaren lagras för att sedan nyttjas på vintern och därmed täcka en del av det kalla halvårets värmebehov (Boesten m.fl., 2019).

Trots att 5GDHC fortfarande är ett relativt nytt system för uppvärmning och kylning av byggnader finns ett antal pilotprojekt i drift, främst i Europa (Buffa m.fl., 2019). Dessa system är ofta konstruerade olika ur ett tekniskt perspektiv, men bygger gemensamt på 5GDHC:s princip: att byggnader effektivt kan dela energi. Tekniken för denna energidelning mellan byggnader menar Bünning m.fl., (2018) finns tillgänglig och går att anpassa till olika systemlösningar. Det saknas däremot information om hur systemets uppbyggnad ska genomföras ur ett konventionellt perspektiv samt hur färdiga system i drift ska hanteras och optimeras (Bünning m.fl., 2018).

Ett svenskt exempel på framtidens uppvärmnings- och kylsystem är det planerade projektet Embassy of Sharing i Malmö, vars syfte är att balansera värme och kyla i ett byggnadsbestånd bestående av sju byggnader på en yta av 55 000 kvm (Midroc, u.å). Embassy of Sharing är ett lågtempererat system², och kombinerar även förnybar geo- och solenergi, där en geoenergianläggning används för att dela värme och kyla mellan byggnaderna (Midroc, u.å). Ett ytterligare svenskt exempel som är i drift är E.ONs system Ectogrid i Lund, där systemet utgör en yta på 114 000 kvadratmeter (Ectogrid, u.å.). I detta byggnadsbestånd balanseras 11 GWh värme och kyla mellan 15 byggnader i ett lågtempererat tvärörssystem i ett dubbelriktat nät med låga energiförluster. Från E.ONs hemsida exemplifieras Ectogrid likt en energirevolution för framtidens hållbara städer (Ectogrid, u.å.). Ectogrids systemlösning beskrivs av E.ON (2021) som ett sätt att erbjuda både värme och kyla i samma nät vilket möjliggör lägre energipriser än marknadens traditionella lösningar. Systemets egenskap gällande att tillgodose kyla och värme vid efterfrågad temperatur på kortare avstånd innebär även små distributionsförluster i nätet. Det delade ägarskapet av energi mellan nätets anslutna aktörer innebär även ett större inflytande för kunderna inom systemet (E.ON, 2021).

2.3 Energilagring

Geoenergi nyttjar energin i berggrund, jordlager eller sjöar för lagring eller utvinning av förnybar energi (Erlström, m.fl., 2016). Det finns olika typer av anläggningar för geoenergi, där ett borrhålslager nyttjar berggrundens termiska energi via borrhål som möjliggör säsongsbaserad lagring av värme och kyla (Erlström, m.fl., 2016, IEA ECES, 2020). När energilagret extraherar värmeenergi kyla omgivningen i berggrunden, vilket kan nyttjas till passiv kyla till en byggnad under sommarhalvåret (Erlström m.fl., 2016). En balans mellan uttag och återladdning av värme och kyla, där uttag av kyla innebär återladdning av värme och vice versa, blir viktigt att uppnå för att borrhålslagret på sikt

² Temperaturer för Embassy of Sharing: Framledning för värme är över 30 grader, returledning för värme är mellan 20 och 30 grader, framledning för kyla är mellan 3 och 8 grader och returledning för kyla är mellan 8 och 18 grader.

ska kunna användas effektivt och erhålla sin säsongslagrande funktion. Detta beror på hur lagring av borrhålsenergi ändrar marktemperaturen och påverkar den årliga värmebalansen, något som blir en viktig parameter att styra vid geolagring via borrhål (Rohde m.fl., 2018).

Dimensionering av systemets antal hål, djup och avstånd mellan borrhålen beror på geologiska och geografiska förhållanden samt berggrundens egenskaper och energibehovets storlek. Antal borrhål i ett system kan därför variera kraftigt, från ett tiotal upp mot hundratal, där borrhålen även påverkar varandra intern. Den interna påverkan skapar förutsättningar för aktiv säsongslagring genom att systemet kan värma respektive kyla en större bergvolym och därmed möjliggöra en aktiv återladdning till systemet (Erlström, m.fl., 2016). Om ett borrhålslager kopplas samman med en värmepump skapas enligt IEA ECES (2020) en bergvärmepump. Innan ett borrhålslager eller en bergvärmepump implementeras genomförs förstudier för att avgöra vilka fördelar det finns med att implementera ett geoenergisystem jämfört med exempelvis att ansluta sig till ett fjärrvärmesystem. Detta beror på den tilltänkta platsens geologiska och geografiska egenskaper. Även ekonomiska aspekter, planritningar och byggnadernas energi- och temperaturbehov studeras för att avgöra vilket system som anses vara fördelaktigt i det specifika fallet (IEA ECES, 2020).

2.4 Energiprestanda och verkningsgrad

Boverket (2021) beskriver att en byggnads tekniska egenskaper, utan påverkan av byggnadanvändarnas specifika brukande, kan påvisas i byggnadens energiprestanda och utgår från inköpt energi till byggnaden. Byggnadens energianvändning beräknas för uppvärmning, komfortkyla och TVV och energiprestandan mäts i kWh/m² (Boverket, 2021) där studien inte inkluderar fastighetsel. Energiprestandan för en byggnad eller ett byggnadsbestånd kan förbättras om en högre verkningsgrad används i framställandet av energin. Verkningsgraden, även kallat Coefficient of Performance (COP), beskriver en värmepumps prestanda och visar avgiven värme i förhållande till tillförd el. Kommersiella värmepumpar har ett COP på ungefär fyra, men kan variera med driftförhållanden. Värmeproduktion från en elvärmepanna är lika stor som mängden tillförd el, vilket ger värmepannan ett COP på ett.

2.5 Studiens uppvärmning- och kylsystem

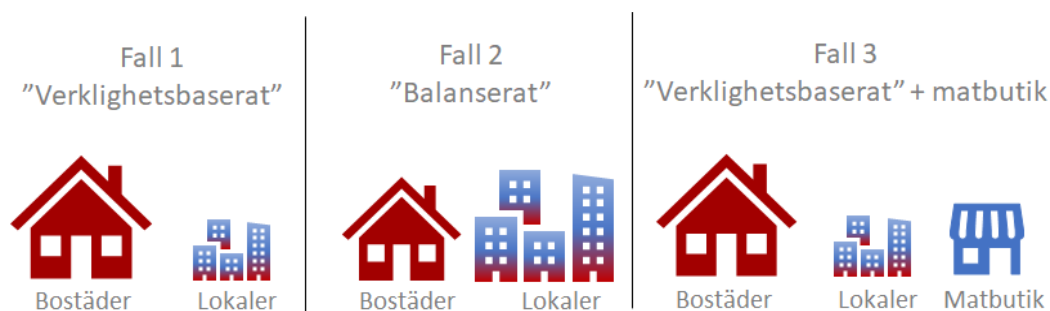
Studien analyserar tre fall av uppsättningar av byggnadsbestånd. Två av fallen inkluderar olika sammansättningar i storlek av lokaler och bostäder och det sista fallet har inkluderat ett konstant kylbehov. Studiens fall är framtagna för att möjliggöra utvärdering av hur olika sammansättningar av byggnadsbestånd påverkas av att sättas samman i en gemensam energicentral. De tre fallen är antagna av författarna och syftar till att spegla olika realistiska och möjliga byggnadsbestånd i dagens samhälle, som modellen ska klara av att simulera. Följande avsnitt presenterar studiens undersökta fall, den

energianvändning som byggnadsbestånden kräver samt uppbyggnaden av studiens energicentral.

2.5.1 Studiens undersökta fall

Enligt Statistiska centralbyrån (SCB, 2021) erhöles fler bygglov för nybyggnation för bostäder än lokaler i Stockholm under 2019. Arealen för bostäder utgjorde även en större andel än lokaler (SCB, 2021). Det byggs fler bostäder än lokaler och bostäder har en större area än lokaler. Med utgångspunkt från denna statistik syftar fall 1 till att återspegla ett scenario för hur ett verkligt byggnadsbestånd kan se ut. Fall 1 består av ett byggnadsbestånd med bostäder och lokaler, där bostäder utgör en större area än lokaler. Andelen bostäder utgörs av 34 000 m² och andelen lokaler utgörs av 6 000 m². Fall 2 består också av ett byggnadsbestånd med bostäder och lokaler men där arealen för bostäderna och lokalerna är i samma storlek. Arealen för bostäderna och lokalerna justeras till 20 000 m² vardera. Fall 2 syftar till att studera ett mer balanserat byggnadsbestånd, där värme- och kylbehov från bostäder och lokaler är mer likvärdiga jämfört med fall 1. Fall 3 utgår från samma sammansättning av bostäder och lokaler som fall 1, men inkluderar även en tredje byggnad med en konstant kylast. Den adderade byggnaden i byggnadsbeståndet kan exempelvis motsvara en matbutik, med en area om 10 000 m², vars kylbehov blir intressant att studera i ett byggnadsbestånd där en större mängd värmebehov finns.

Bostäder har i regel ett större värmebehov än lokaler eftersom bostäder kräver mer energi för beredning av TVV (Boverket, 2016). Bostäder har även ett större behov av rumsuppvärmning eftersom internvärmes generellt sett är lägre i bostäder jämfört med i lokaler. I lokaler finns i stället ett större behov av kyla för att hantera värmen som uppstår från exempelvis elektronik och personer. Figur 2 illustrerar fallens sammansättning av byggnadstyper samt deras värme- och kylbehov.



Figur 2. Sammansättning av byggnadsbestånden för de tre studerade fallen, där röd färg indikerar att det finns ett värmebehov och blå färg ett kylbehov.

2.5.2 Byggnadernas energibehov

Studios energicentral använder el för att förse värmepumpar och kylmaskinen med energi. Även värmesystemens spets använder el, vilken kan bytas ut mot andra alternativ, exempelvis fjärrvärme. För att jämföra potentialen i förbättrad energianvändning hos ett byggnadsbestånd med egna energicentraler och ett byggnadsbestånd med en gemensam

energicentral används främst analys av energiprestanda i denna studie. I studien består energiprestanda av den mängd el (till värmepumparna, kylmaskinen och spets) som krävs för att förse byggnaden med dess energibehov.

För att avgöra hur energianvändningen skiljer sig åt mellan ett byggnadsbestånd med egna energicentraler och ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral har för studien framtagna verkningsgrad COP_{system} för de olika fallen studerats. Verkningsgraden COP_{system} är ett viktat medelvärde för energianvändningen av uppvärmning, kyla och TVV hos en byggnad eller ett byggnadsbestånd. Beräkning av COP_{system} bestäms enligt ekvation

$$COP_{system} = \frac{\sum_{k=1}^n \text{Avgiven energi}}{El_{Uppvärmning} + El_{Kylning} + El_{TVV}}, \quad (1)$$

där n är antal byggnader i byggnadsbeståndet.

Värmepumparna i energicentralen är av kommersiell typ och har ett COP på drygt fyra, samtidigt som värmepannan (spetsen) använder el och har ett kommersiellt COP på ett. Vid användning av mycket spets i energicentralen kan COP_{system} därmed försämras på grund av spetsens låga verkningsgrad. På samma sätt kan COP_{system} förbättras med bidrag från exempelvis återvunnen värme eller kyla samt frikyla hämtad från i detta fall berggrund. Detta beror på att mängd tillförd el som krävs för att producera frikyla eller pumpa vidare återvunnen värme eller kyla är liten i förhållande till andelen tillförd el som krävs för att producera samma mängd värme eller kyla i systemets värmepumpar eller i kylmaskinen. Återvunnen kyla kräver exempelvis enbart el för att driva pumparna som förflyttar kylan i systemet. Detta innebär teoretiskt sett att ju större andel frikyla och energiåtervinning i systemet, desto mindre el krävs, vilket i sin tur förbättrar COP_{system} .

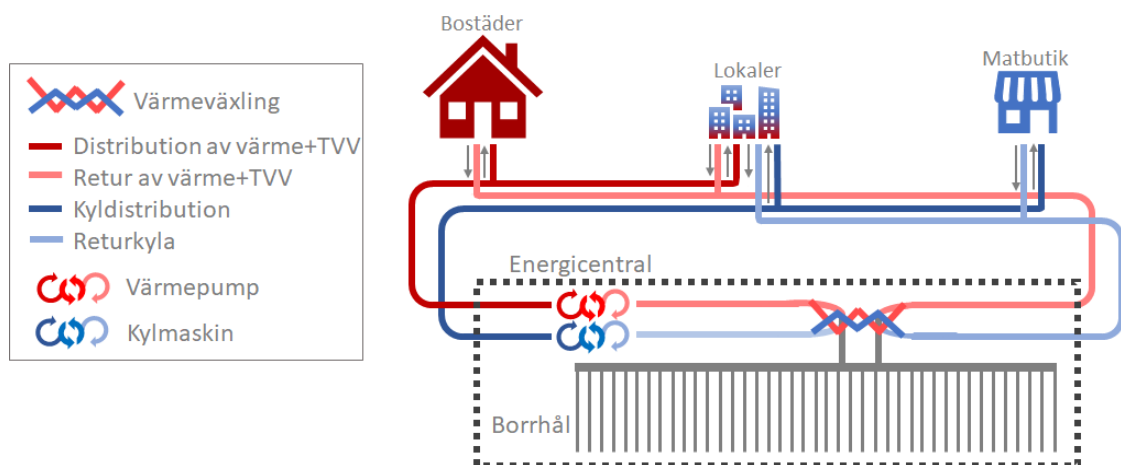
Studiens undersökta bostäder har ett värmebehov med en energiprestanda på 48 kWh/m². Lokalerna i studien har både ett värmebehov och kylbehov med en energiprestanda på 37 kWh/m². Andelen värme i lokalerna motsvarar 18 kWh/m² och andelen kyla motsvarar 19 kWh/m². Studiens matbutik, med ett konstant kylbehov, har en energiprestanda på 105 kWh/m². Det är alltså energin för att tillgodose byggnadsbeståndens värme- och kylbehov, genom sammankoppling i en gemensam energicentral, som studien eftersträvar att sänka. Bilaga A visar specifika värden för de olika fallens byggnader i storlek, energibehov och energiprestanda. Oavsett om byggnaderna i byggnadsbeståndet använder egna energicentraler eller om byggnaderna i byggnadsbeståndet är sammankopplade och använder en gemensam energicentral, har byggnadsbeståndet samma energibehov för uppvärmning, kylning och TVV. Personerna i byggnaderna kommer exempelvis att efterfråga samma inomhustemperatur oavsett val av energicentral.

Däremot skiljer sig det totala energibehovet i de olika fallen, då exempelvis fallens byggnader är olika stora. Genom att koppla samman byggnader i en gemensam energicentral blir det möjligt att nyttja återvunnen energi från värme och kyla mellan

byggnaderna. Att återvinna energi möjliggörs av arbetet mellan värmepumpens kondensor- och förångarsida. När en värmepump används för att möta ett värme- eller kylbehov skapas samtidigt det motsatta som vid rätt förutsättningar kan återvinnas och nyttjas någon annanstans. Exempelvis producerar en matbutik som använder en kylmaskin, vars kylbehov är stort, en stor mängd värme som biprodukt vilken kan nyttjas i exempelvis bostäder med ett stort värmebehov och vice versa. För att uppnå synergi av energibalans krävs att byggnadsbeståndets värme- och kylbehov delvis möts. Ett byggnadsbestånds lastprofil visar det timvisa värme- och kylbehov som finns och genom att studera lastprofiler kan potentiella synergier identifieras mellan värme- och kylbehov.

2.5.3 Energicentralens uppbyggnad

Energicentralen är uppbyggt av ett fyrrörssystem och framledningstemperaturen till byggnaden varierar timvis vilket bestäms direkt av byggnadens värme- och kylbehov. Detta innebär att byggnadsbeståndet förses med efterfrågad temperatur, utan behov av en lokal värmepump eller kylmaskin för att reglera temperaturen till rätt nivå likt exempelvis dagens fjärrvärmesystem och 5GDHC. I figur 3 presenteras en skiss av systemet som beskrivs i fall 3 för att illustrera hur byggnadsbeståndet och energicentralen kopplas.



Figur 3. Studiens uppvärmning- och kylsystems uppbyggnad för fall 3.

Energicentralen är kopplad till ett geoenergilager i form av borrhål, vars uppgift är att balansera utbud och efterfråga i värme- och kylbehov och därmed upprätthålla säsongslagring av energi. Under vintern, då det främst finns ett värmebehov hos byggnader i Sverige, tas värme upp ur borrhålen, och agerar i motsatt funktion under sommaren då det kan tas upp kyla ur borrhålen. När byggnaderna har egna energicentraler kan den biprodukt av värme eller kyla som uppstår när värmepumpar används inte energiåtervinnas till en annan byggnad. Istället transporteras restenergin ner i borrhålen där energin värmer upp eller kyler ner energilagret.

Vid sammankoppling av byggnaderna i en gemensam energicentral kan däremot restenergin från värme- och kylsystemet delas mellan byggnaderna via energiåtervinning i värmeväxling. Borrhållslagret kan även nyttja återladdning av värme och kyla från de olika byggnaderna, i stället för att varje byggnad med en egen energicentral har egna

borrhål. Modellen av energicentralen består av två värmeväxlare (VVX) som syftar till att överföra värme och kyla mellan byggnadernas delsystem. Den ena värmeväxlaren (VVX1) syftar till att höja temperaturen i framledning för värmesystemet (uppvärmning + TVV) genom att överföra värme från returledningen av kylsystemet. Den andra värmeväxlaren (VVX2) syftar till att sänka kylsystemets framledningstemperatur. Efter att respektive returledning passerat en värmeväxlare kopplas värmesystemet och kylsystemets returledningar samman och förs ner i geoenergilagret. På detta sätt kan tillgänglig överskottsenergi från värme- och kylsystemet nyttjas direkt utan att passera borrhålen, och därmed sänka behovet av tillförd energi.

3. Metod

För att analysera energiprestandan hos ett sammankopplat byggnadsbestånd har en modell av en energicentral utvecklats i programvaran IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). Denna modell kan tillämpas för att analysera både byggnadsbestånd med egna energicentraler och sammankopplade byggnader i ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral. I det första avsnittet (3.1) presenteras IDA ICE och dess modul IDA ICE Advanced level only system, som använts vid utvecklingen av energicentralen. En redogörelse för energicentralens uppbyggnad (3.2), hur energicentralen har validerats (3.3) samt hur data hanteras (3.4) presenteras även i detta kapitel. För att förstå skillnaderna vid simulering av energicentralen för sammankopplade eller inte sammankopplade byggnadsbestånd, förtydligas detta i avsnitt 3.5. Eftersom implementering av gemensamma energicentraler är ett nytt område har även tre intervjuer genomförts med sakkunniga projektledare och ingenjörer inom ämnet, vilket avsnitt 3.6 presenterar.

3.1 IDA ICE Advanced level only system

För att skapa en modell av en energicentral som kan simulera energiutbytet mellan sammankopplade byggnader har programvaran IDA ICE version 4.8 använts. Mjukvaran erbjuder verktyg för att skapa modeller av byggnader samt utföra energiberäkningar och klimatberäkningar kopplade till en byggnads unika egenskaper (EQUA, u.å.). Därmed kan parametrar likt inomhusklimat och energiförbrukning analyseras och eventuella förbättringsåtgärder i byggnaden identifieras. I studien har en expertlicens använts för att erhålla åtkomst till samtliga verktyg i IDA ICE, specifikt modulen IDA ICE Advanced level only system.

IDA ICE är uppbyggt av olika moduler, varav IDA ICE Building används som standard. I IDA ICE Building simuleras alltid en byggnad i kombination med en förenklad energicentral. Varje simulering är även direkt kopplad till den granskade byggnadens egenskaper och inställningar, något som i sin tur innebär tidskrävande simuleringar beroende på byggnadens uppbyggnad och komplexitet. Det saknas i dagsläget ett lätthanterligt och tidseffektivt modellverktyg i IDA ICE för att simulera byggnader på områdesnivå, likt studiens energicentral. Denna avsaknad har föranlett intresset av

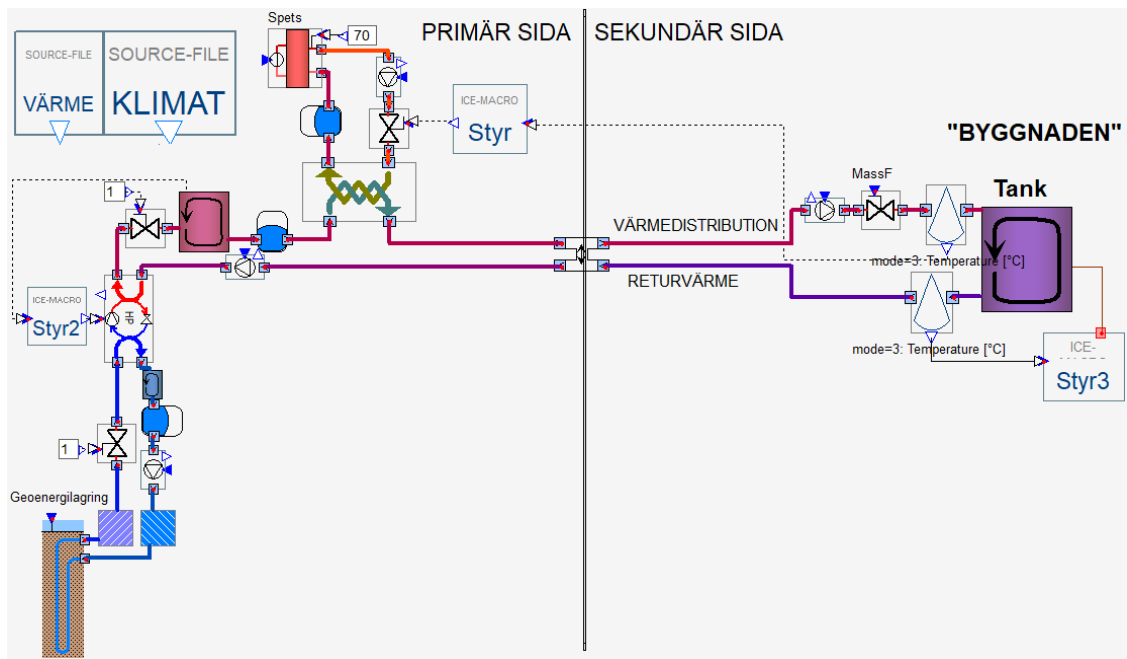
studien och direkt motiverat studiens metodval; att använda modulen IDA ICE Advanced level only system. I IDA ICE Advanced level only system arbetar användaren frikopplat från en byggnad vilket möjliggör kortare simuleringstider. Det saknas idag färdiga modeller för energicentraler, däremot finns komponenter tillgängliga för användaren att själv konstruera modeller av ett liknande system. I IDA ICE Advanced level only system finns därmed verktyg för att skapa skräddarsydda modeller av system från grunden, likt studiens energicentral. Möjligheten till kortare simuleringstider samt att användaren fritt kan utveckla egna modeller är de främsta orsakerna till att studiens modell av en energicentral utvecklats i IDA ICE Advanced level only system.

3.2 Modellbeskrivning

Modellen av studiens energicentral består av tre delsystem: uppvärmning, tappvarmvatten (TVV) och kylning. Energibehovet för delsystemen uppvärmning och kylning innefattar den energin som krävs för att tillgodose värme och kyla samt ventilation. När delsystemen sätts samman har studiens energicentral skapats, där delsystemen sammankopplas i ett energilager bestående av borrhål. I följande avsnitt presenteras både modellens delsystem och studiens energicentral som ligger till grund för att besvara studiens syfte att analysera energiprestandan av sammankopplade byggnadsbestånd. Värmeväxlarnas koppling presenteras även mer utförligt liksom hur dimensioneringen av borrhålen genomförts.

3.2.1 Uppvärmningssystemet

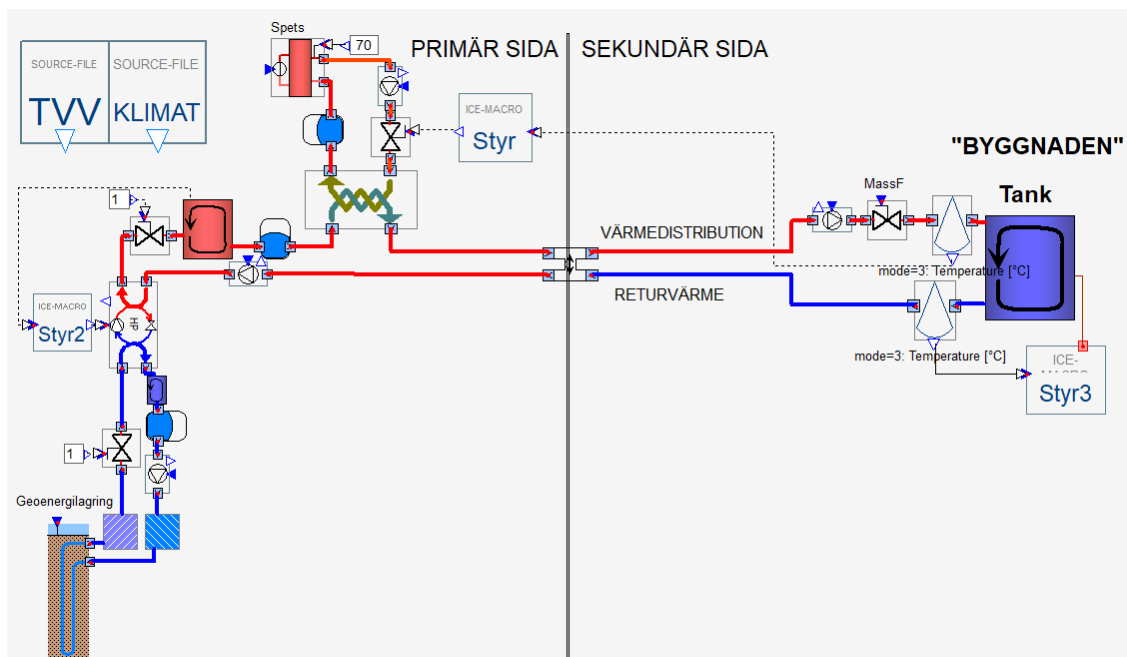
Figur 4 visar delsystemet för uppvärmning och återskapar byggnadens värmeeffektbehov kopplat till uppvärmning och ventilation. Uppvärmning sker primärt genom en värmepump och sekundärt genom en spets i form av en elvärmepanna. Värmepumpen är dimensionerad att klara ungefär 95 procent av byggnadernas årliga värmebehov och spetsen förser resterande timmar med efterfrågad toppeffekt. Spetsen arbetar alltså enbart de timmar värmepumpen inte kan leverera byggnadens efterfrågade temperatur, och överför vid dessa tillfällen värme till distributionsledningar via en värmeväxlare. Elvärmepannan kan ersättas med valfri spets beroende på efterfrågad systemtyp, exempelvis med fjärrvärme. Temperaturen i uppvärmningssystemets framledning är mellan 20 och 60 grader och mellan 15 och 30 grader i returledningen. Temperatur i fram- och returledning bestäms av hur de sekundära systemen i byggnaderna är utformade och varierar timvis, där massflödet också varierar timvis.



Figur 4. Modellens delsystem för uppvärmning.

3.2.2 Tappvarmvattenssystemet

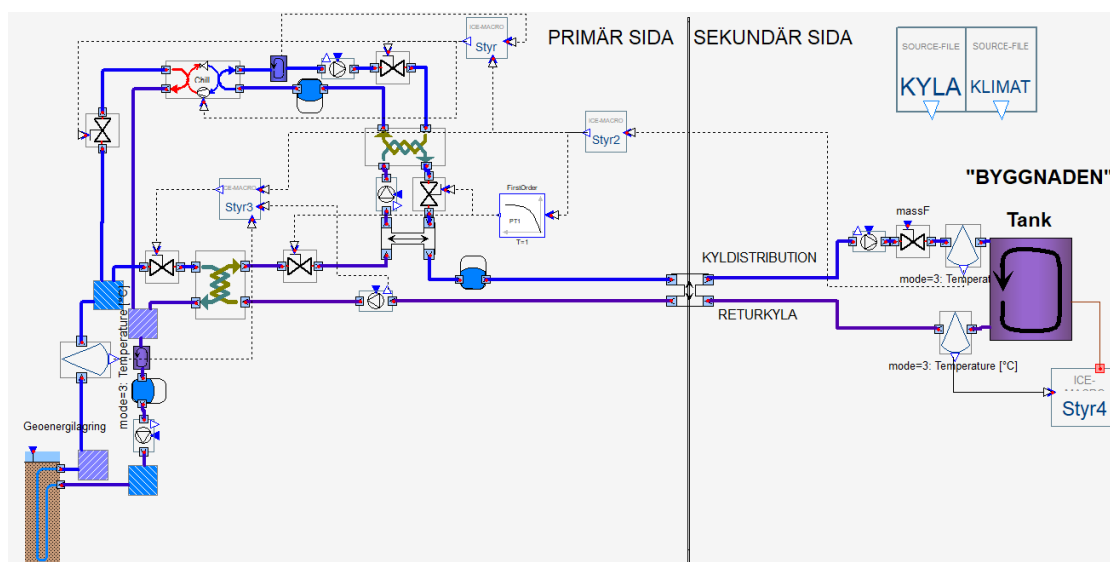
Figur 5 visar delsystemet för TVV och är i grunden uppbyggt likt delsystemet för uppvärmning. Den främsta skillnaden är att byggnadens delsystem för TVV kräver en ackumulatortank med större volym för att lagra det varmt cirkulerande varmvattnet och därigenom sänka användandet av spetsen. Framledningstemperaturen i delsystemet för TVV måste enligt Boverket (2016) vara minst 50 grader för att undvika bakterier i dricksvatten. Framledningstemperaturen är därför satt till 60 grader årets alla timmar för att säkerställa att byggreglerna uppfylls.



Figur 5. Modellens delsystem för tappvarmvatten.

3.2.3 Kylsystemet

Figur 6 visar delsystemet för kylning och återskapar byggnadens kyleffektbehov kopplat till kylning av byggnaden, där kylning primärt sker genom frikyla direkt från borrhål och sekundärt genom spets i form av en kylmaskin. Ledningen från borrhålen delas därför i två. En ledning går till en värmeväxlare som växlar frikyla och återvunnen kyla till systemet och en ledning går till kylmaskinen, som sänker temperaturen ytterligare vid topplaster. För att optimera systemet och utnyttja användning av frikyla maximalt krävs en mer avancerad styrning i kylsystemet än i värmesystemen. Eftersom kylmaskinen används som spets är den dimensionerad att klara det maximala effektbehovet för att säkerställa att byggnadens timvisa kylbehov under året uppnås. Temperaturen i framledningen är alltid 10 grader och i returledningen varierar temperaturen mellan 16 och 20 grader. Temperatur i fram- och returledning bestäms av eftersträvat inomhusklimat och utformning av byggnadernas kylsystem.



Figur 6. Modellens delsystem för kylning

3.2.4 Dimensionering av borrhål

Dimensionering av ett borrhålslager beror på många parametrar, exempelvis borrhålets djup, bredd samt val av köldmedium. Parametrarna i modellens borrhål utgår främst från grundinställningar i IDA ICE men har delvis korrigerats. Korrigeringen har skett i dialog med två av Bengt Dahlgren Stockholm AB:s sakkunniga ingenjörer inom geoenergi, Milan Stokuca, civilingenjör inom geoenergi och José Acuña, geoenergispecialist, där ett fåtal parametervärden justerats för att passa studiens energicentral. Mediet i borrhålen är etanol vilket möjliggör negativa temperaturer i borrhålen. Temperaturen in till borrhål ska inte överstiga 30 grader, då högre temperaturer innebär en risk för att värmeenergin i berggrunden blir obalanserad. För att undvika frostbildning i systemets anslutna värmepumpar ska temperaturen ut från borrhålen inte understiga noll grader.

Det långsiktiga målet med ett borrhålslager är att värmebalans ska råda, vilket innebär att temperatur ner i och upp från borrhålslagret förblir desamma över tid. Antalet borrhål kan förenklat dimensioneras genom

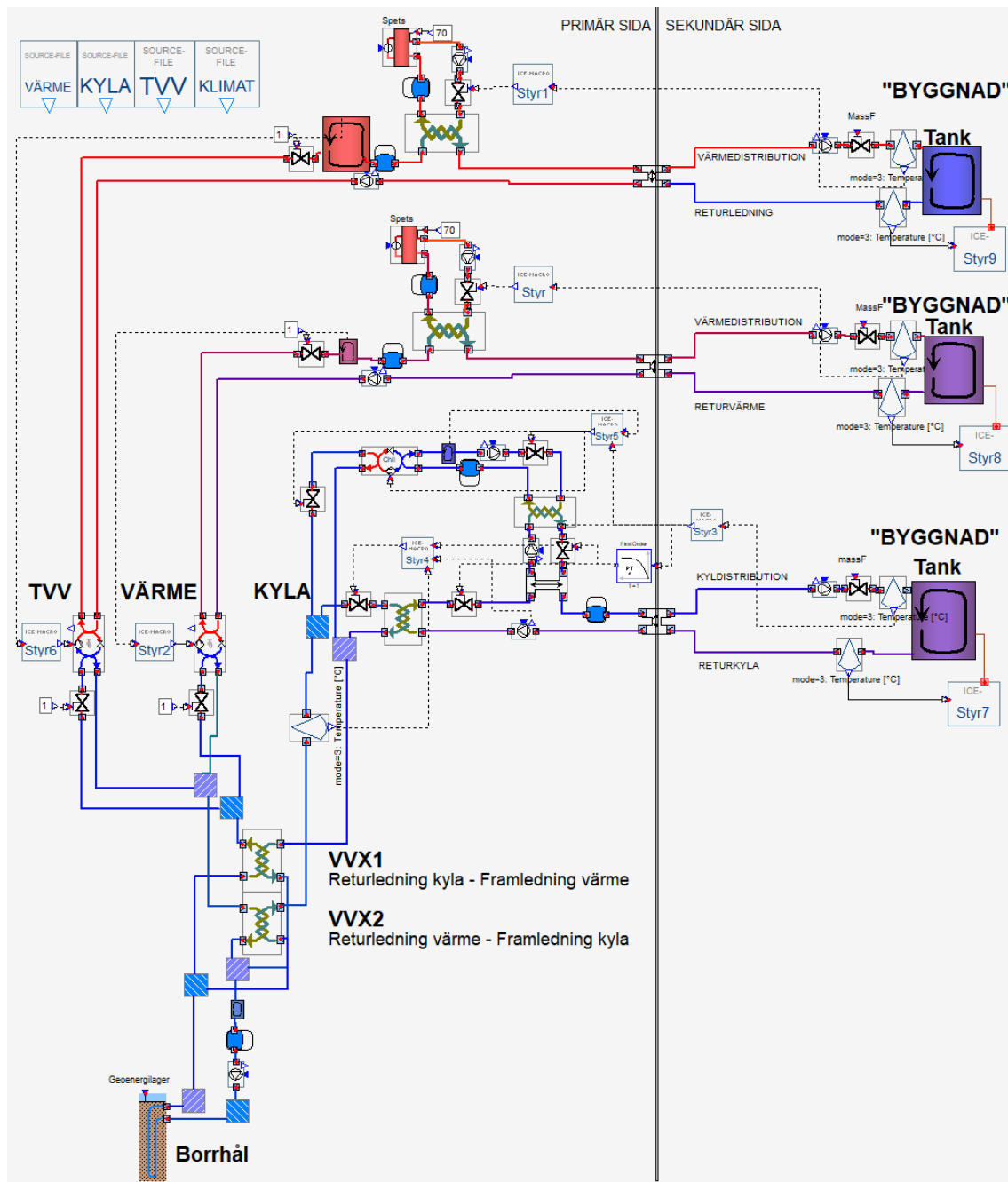
$$B = \frac{P}{c_p * q * \Delta T}, \quad (2)$$

där B står för antal borrhål som systemet ungefär borde använda. För energicentralen används den specifika värmekapaciteten för vatten, c_p , (4,2 kJ/(Kg,K)) och flödet, q , sätts enligt optimalt driftfall utan turbulens i borrhål (0,7 l/s). Förändringen i temperatur, ner i och upp från borrhålen bestäms av ΔT (3°C) och effekten, P , motsvarar installerad effekt i värmesystemen och varierar således för respektive driftfall.

För att säkerställa att antalet borrhål är tillräckligt för att leverera rätt in- och uttemperatur över året har borrhålets temperaturer undersökts vid simulering. Efter vägledning av Stokuca har justeringar i antal borrhål genomförts för att erhålla rätt temperaturer. Med detta avses att temperaturen upp från borrhålen inte ska underskrida noll grader och temperaturen in till borrhålen inte ska överskrida 30 grader, som tidigare nämnts. Detta innebär att det slutliga antal borrhål för respektive fall inte alltid är detsamma som det beräknade antalet enligt ekvation (2). Eftersom dimensionering av antalet borrhål spelar en viktig roll för hur geoenergilagret fungerar över tid har även en känslighetsanalys genomförts. Känslighetsanalysen har syftat till att undersöka möjligheten av att simulera modellen över längre tidsperioder. Simuleringstiden i IDA ICE blir ofta lång redan när användaren genomför simuleringar av byggnader över ett års tid. För att möjliggöra upprepade simuleringar, utvärderingar av energianvändning och undersöka borrhålens dimensionering inom en rimlig tidsram för en byggnads livslängd undersöks modellen över en 20 årsperiod. Det är viktigt att kunna simulera system för en geoenergianläggning över längre tidsperioder för att undersöka så att Bengt Dahlgrens krav på borrhålens in och ut-temperaturer uppfylls på lång sikt. Detta visar på om fallens geoenergilagret är väl dimensionerade.

3.2.5 Energicentralen

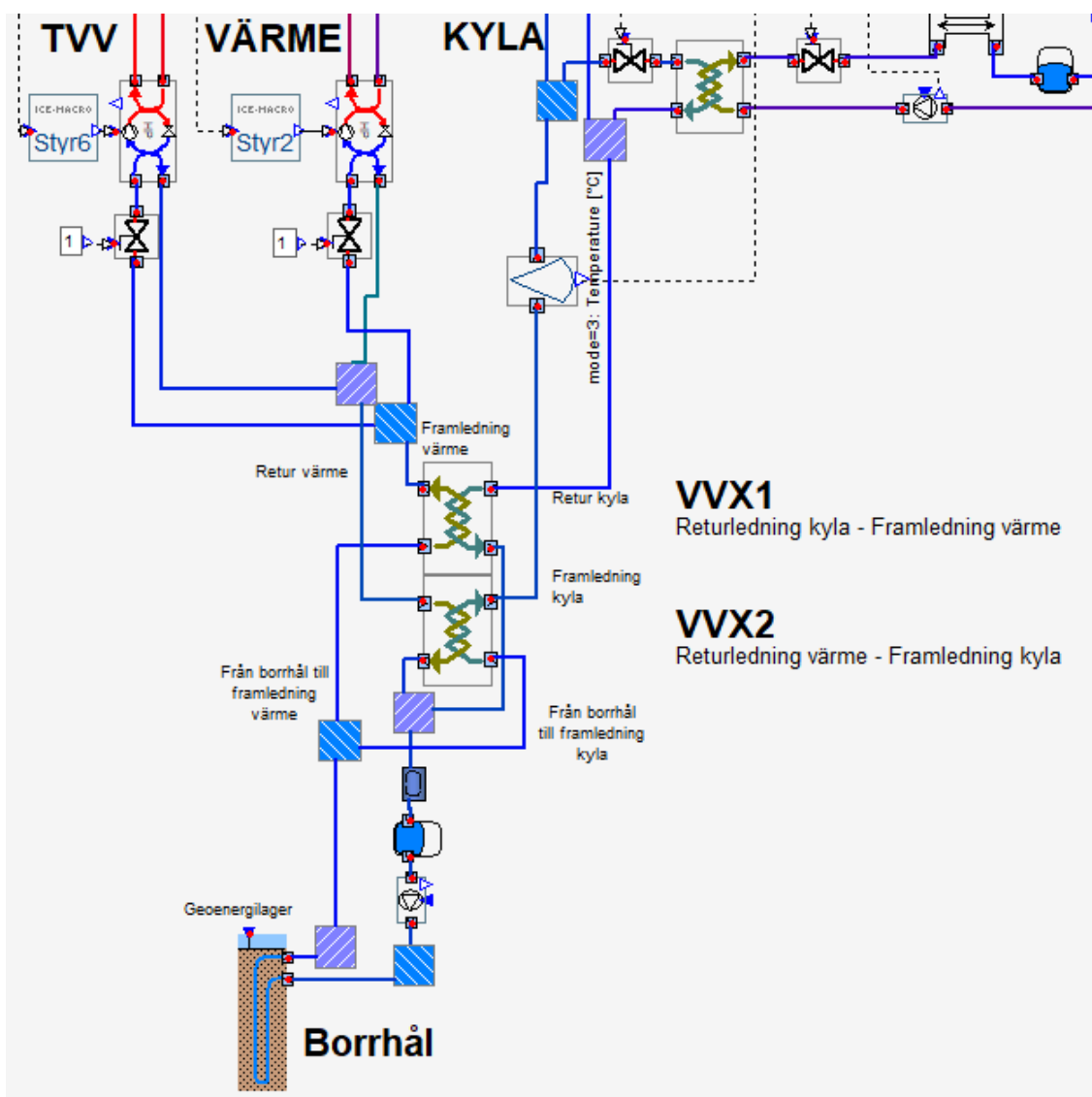
Delsystemen för uppvärmning, TVV och kylning sattes samman och bildar slutligen studiens energicentral, illustrerat i figur 7. Delsystemen för TVV och uppvärmning sammankopplas till gemensamma ledningar som representerar det totala värmesystemet. Värmesystemet och kylsystemet värmväxlar sedan i VVX1 och VVX2 för att återvinna eventuell tillgänglig energi av värme och kyla, för att sedan sammanföras i borrhålen. För respektive delsystem lagras och justeras byggnadernas eller det sammankopplade byggnadsbeståndets effektprofil i en tank i modellen. Tillsammans återskapar dessa tankar byggnadens totala energibehov i uppvärmning, kylning och TVV. Utöver de tre tankar som återskapar delsystemens energibehov, finns fler tankar i energicentralen. Några tankar hanterar utjämning av temperaturer och flöden och i TVV-systemet finns en ackumulatortank, vilken används som energilagret.



Figur 7. Modellen för energicentralen, inklusive ledningarna som kopplar samman delsystem och energilager.

3.2.6 Värmeväxling

Figur 8 visar relationen mellan värme- och kylsystemets fram- och returledningarna och värmeväxlarna, vars ledningar sammankopplas i systemets borrhål. Återvinning av energi mellan värme- och kylsystem sker genom energicentralens två värmeväxlare. Värmeväxlare 1 (V VX1) är den översta värmeväxlaren i figur 8 och syftar till att värma upp värmesystemets framledning (inkommande ledning till värmepumparnas förångare) med hjälp av återvunnen energi från kylsystemets uppvärmda returledning. Värmeväxlare 2 (V VX2) är den nedersta värmeväxlaren i figur 8 och syftar till att återvinna kylan i värmesystemets kalla returledning för att kyla ner kylsystemets framledning. Det sker ingen styrning av värmeväxlarna i studiens energicentral, vilket är en aspekt som diskuteras mer utförligt i studiens senare kapitel.



Figur 8. Värmeväxlarnas koppling mellan borrhål och framledning till respektive delsystem.

3.3 Validering

Delsystemen i modellen har validerats mot data från två anonyma byggnadsprojekt av lokaler och bostäder från Bengt Dahlgren Stockholm AB. Delsystemen för uppvärmning och TVV har validerats mot byggnadernas värmeeffekt och delsystemet för kylning har validerats mot byggnadernas kyleffekt. Värme- och kyleffekt, fram- och returledningstemperatur och massflöde har hämtats på timbasis. Effekt är given i W, temperatur i °C och massflöden i kg/s. För att hantera data har ett verktyg skapats i Microsoft Excel. Verktöget använder makron via Microsoft Excels inbyggda programspråk "Visual Basic for Applications" (VBA) och nyttjas för att omvandla och sortera data till ett dataformat applicerbart för IDA ICE.

Byggnadens effektanvändning beräknas i modellen enligt

$$P = \dot{m} * \rho * c_p * (T_{fram} - T_{retur}), \quad (3)$$

där $\dot{m}$ är massflödet, ρ är densiteten, c_p specifik värmekoefficient samt T_{fram} och T_{retur} är fram- och returledningstemperaturen. Utöver data från byggnaderna (värme- och kyleffekt, massflöde, fram- och returledningstemperatur) beror effektanvändningen även av en varierande densitet och specifik värmekapacitet. Dessa parametrar varierar med temperaturen på distribuerad medie men antas i beräkningen vara konstanta då variationen vid aktuella temperaturförhållanden är liten. Data för massflöde samt fram- och returledningstemperatur för respektive delsystem har applicerats i modellen för att återskapa byggnadens timvisa effektbehov, där effektanvändningen lagras i tankarna (se "byggnaden" i figur 7). Massflöde multiplicerat med byggnadens fram- och returledningstemperatur utgör byggnadens effektbehov, vilket också har påvisats vid validering av delsystemen.

Respektive delsystem har först validerats separat med effektdata från endast lokalerna. För att säkerställa att energicentralen kan hantera en byggnad utan kylbehov, likt bostäderna, har även delsystemen sedan undersökts med effektdata från bostäderna. Energicentralens delsystem återskapar byggnadens samtliga energibehov (uppvärmning-, TVV- och kylbehov). När alla delsystem sammankopplats i studiens energicentral är det inte möjligt att validera modellen, då data för ett sådant system saknas. En kontinuerlig dialog med studiens handledare Robin Jonsson, civilingenjör inom energisystem på Bengt Dahlgren Stockholm AB har förts under uppbyggnaden av både delsystemen och energicentralen. Även IDA ICE support, från EQUA, utvecklare av programmet, har bidragit med kunskap om hur styrning av massflöde och temperaturer i systemet kan utformas. Sakkunniga på Bengt Dahlgren Stockholm AB har också bidragit med kunskap och erfarenhet om byggnaders värme- och kylsystem samt hur borrhålen i studiens energicentral kan dimensioneras. På så vis har också dimensioneringen av energicentralens värmepumpar och kylmaskin lyckats leverera verkningsgrader i linje med kommersiella värmepumpar och kylmaskiner. Energicentralen är en förenkling av verkligheten, likt alla modeller, vilket tagits i åtanke vid analys av resultat framtagna från modellen samt under fastställande av studiens slutsatser.

3.4 Datahantering

Data för bostäderna, lokalerna och matbutiken har skalats i storlek för att passa studiens respektive fall. Utgångspunkten för att skala byggnaderna till rätt storlek har varit att skala massflödet mot eftersträvad antal kvadratmeter. Exempelvis har den projekterade byggnaden för bostäder en ursprunglig area om 2 261 m². Massflödet dividerades med ytan, vilket gav massflöde per kvadratmeter. Därefter skalades massflödet upp till efterfrågad yta i respektive fall, genom att exempelvis multiplicera massflödet per kvadratmeter för bostäderna med 34 000 m² som i fall 1 och fall 3, eller 20 000 m² för fall 2. På så vis har exempelvis bostäderna fått rätt massflöde utefter deras storlek.

3.5 Simulering

Energicentralen kan användas för att simulera byggnader i ett byggnadsbestånd med egna energicentraler eller sammankopplade byggnader i ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral. Skillnaden på att simulera en egen energicentral med en gemensam, är vilken indata som används i energicentralen. Hur indata skiljer sig åt vid simulering av energicentralen med ett sammankopplat byggnadsbestånd respektive vid ett icke sammankopplat byggnadsbestånd presenteras i detta avsnitt.

3.5.1 Egna energicentraler

När energicentralen används för att simulera egna energicentraler simuleras varje byggnad var för sig över en tidsperiod på ett år. Indata i respektive simulering består av massflöde och fram- och returledningstemperatur för uppvärmning, TVV och kylning. I Excelverktyget summeras resultatet från de egna energicentralernas energianvändning för uppvärmning och kylning och TVV för samtliga byggnader i beståndet. Det summerade resultatet används för att avgöra hur stor byggnadsbeståndets totala energiprestanda är när de använder egna energicentraler.

3.5.2 Gemensam energicentral

För att jämföra energiprestandan mellan byggnader i ett byggnadsbestånd med egna energicentraler och sammankopplade byggnader i ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral, har indata som kan representera sammankopplade byggnader i modellen krävts. Indata har tagits fram genom sammansättning och viktning av byggnadsbeståndets olika massflöden samt fram- och returledningstemperaturer. Massflödet i ledningarna för ett sammankopplat system adderas enligt

$$\dot{m}_{\text{sammankopplad}} = \sum_{k=1}^n \dot{m}_k, \quad (4)$$

samtidigt som temperaturerna för fram- och returledningarna bestäms av termisk energibalans, genom

$$T_{fram/retur,sammankopplad} = \sum_{k=1}^n \frac{\dot{m}_k * T_{k,fram/retur}}{\dot{m}_k}, \quad (5)$$

där sammanslagning av temperaturer genomförs separat för fram- och returledning.

3.6 Intervju

För att förbättra förståelsen om vilka praktiska utmaningar och möjligheter studiens system står inför genomfördes tre intervjuer med personer med erfarenhet från ett liknande system för energidelning i linje med studiens energicentral. I Malmö planeras utbyggnaden av byggnadsbeståndet Embassy of Sharing, ett system vars syfte är att dela energi mellan sju byggnader via en geoenergianläggning. Kvarteret kommer att bestå av olika typer av byggnader, bland annat kontor, bostäder, restauranger och startups. Projektet är planerat i drift 2028 och därmed fortfarande under projektering. Eftersom Embassy of Sharing använder en geoenergianläggning och nyttjar restenergi mellan byggnaderna har intervjuerna bidragit med insikter gällande vilka utmaningar och möjligheter ett system för energidelning, likt studiens modell, inneburit hittills i projekteringsfas. Två av intervjuerna skedde digitalt via Teams, och den tredje över telefon. Samtliga intervjuer var av semistrukturerad karaktär med frågor som vägledning där bilaga B, C och D kan användas för vidare läsning om intervjuernas karaktär. Enligt Dilley (2000) är en semistrukturerad intervjumetodik fördelaktig för att hålla samtalen fokuserade till ämnet utan att begränsa respondentens svar. Denna metod ger möjlighet för intervjuaren att ställa följdfrågor om samtalet leder in i en oväntad, intressant riktning (Dilley, 2000). Eftersom Embassy of Sharing är unikt av deras slag och fortfarande i ett tidigt projekteringsskede finns begränsad officiell information om projektet. Av denna anledning avsattes extra tid för att ha tid med eventuella sidospår som kunnat uppstå, detta möjliggjorde att respondenterna kunde bidra med andra relevanta infallsvinklar och perspektiv.

Den första intervjun genomfördes över Teams tillsammans med Antoine Jay från Bengt Dahlgren Syd AB, konsult och ansvarig för energifrågor i projektet Embassy of Sharing. Syftet med denna intervju var främst att förbättra förståelsen för de tekniska aspekterna av att använda en geoenergianläggning för att dela värme och kyla mellan byggnader samt undersöka motiv till de systemval som gjorts i projektet. Den andra intervjun genomfördes över Teams tillsammans med Christer Trumstedt, uppdragsansvarig för VVS, energi och styr på Bengt Dahlgren Syd AB och projektledare för Embassy of Sharing från Bengt Dahlgren. Intervjun syftade främst till att förbättra förståelsen för vilka aktörer som varit delaktiga i projektet och hur samarbetet mellan dessa sett ut. Den sista intervjun skedde över telefon med Rikard Sjöqvist, Energi- miljö- och teknikchef på Midroc Properties AB. Sjöqvist sitter som beställare av projektet Embassy of Sharing och har varit med och tagit fram hur systemet ska vara uppbyggt, där Midroc Properties AB även är ansvarig för att bygga hela byggnadsbeståndet. Syftet med intervjun var att få en större inblick i projektets inblandade aktörer och förstå de möjligheter och utmaningar, ur Midroc Properties ABs synvinkel, i systemet för energidelning.

4. Resultat

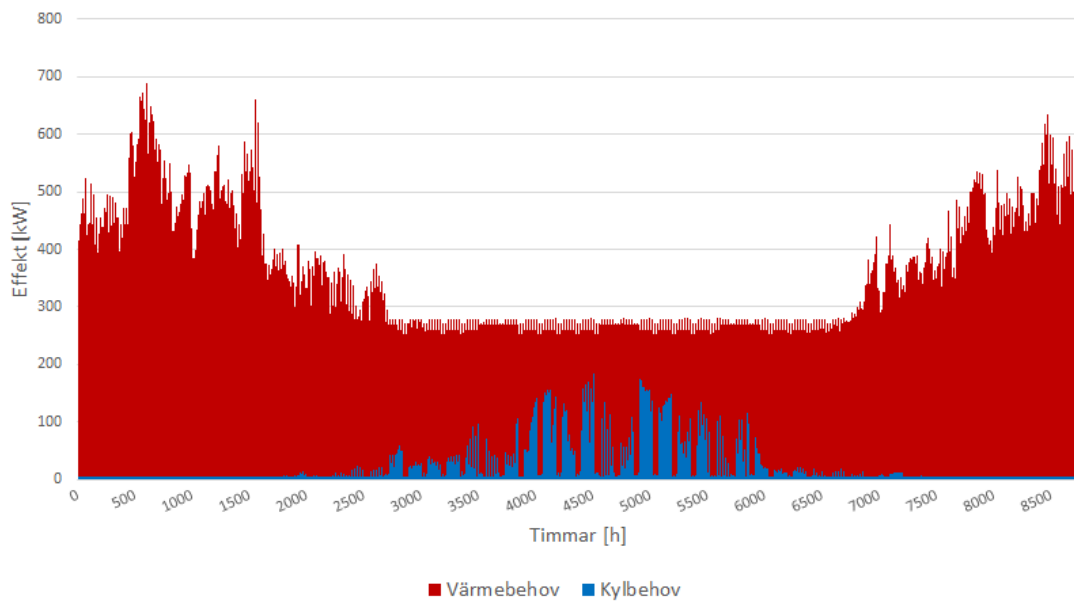
Studien har utvärderat energiutbytet mellan sammankopplade byggnader i ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral. Detta kapitel presenterar arbetets erhållna resultat. I det första avsnittet (4.1) redogörs resultatet från studiens tre olika fall av byggnadsbestånd gällande deras energiprestanda. I avsnitt 4.2 presenteras det resultat som erhållits från studiens intervjuer gällande de utmaningar och möjligheter ett liknande system för energidelning står inför vid realisering. Avslutningsvis presenteras resultatet från studiens känslighetsanalys i avsnitt 4.3 där simuleringar över längre tidsperioder undersöks. Även dimensionering av borrhålen står i fokus gällande hur fallens dimensionerade geoenergilagrar påverkas av att simuleras över en längre tidsperiod.

4.1 Energiprestanda

För att avgöra om energianvändningen förbättras vid sammankoppling av byggnader i ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral studerades energiprestandan för respektive fall. Energiprestandan studerades genom att analysera följande värden: värmepumparnas och kylmaskinens värme- och kylproduktion, värmepumparnas och kylmaskinens elanvändning, värmeproduktion från spets, värmeväxling av energiåtervinning och elanvändning för cirkulation av frikyla. Utöver detta analyseras också temperaturerna och effekten över värmeväxlarna samt borrhålens temperaturer för att undersöka modellens riktighet. Elanvändningen för energicentralens mindre pumpar tas ej i beaktande och antas vara lika stor i respektive fall oberoende om byggnadsbeståndet är sammankopplat eller inte. Elanvändningen för frikyla är skattad enligt ett schablonvärde om fem procent av mängden frikyla. Även de olika fallens COP_{system} analyseras för att analysera respektive falls energianvändning. Fallens lastprofiler studeras även för att undersöka hur byggnadsbeståndets värme- och kylbehov möter varandra.

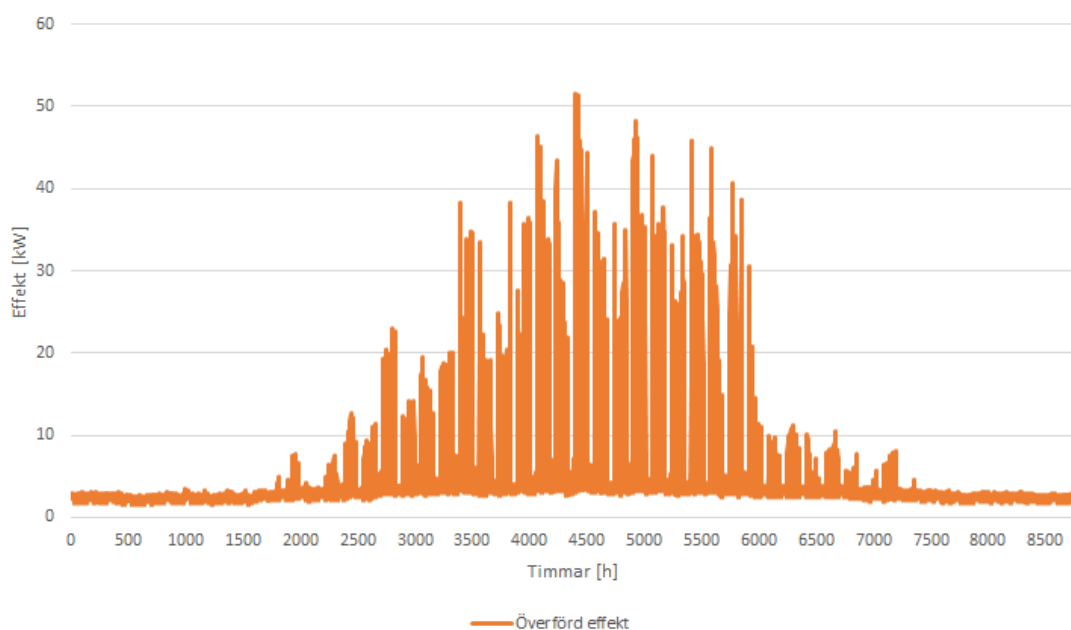
4.1.1 Fall 1

I ett byggnadsbestånd där andelen bostäder är fler än andelen lokaler, vilket ofta är fallet i dagens samhälle, finns ett överskott av värmebehov under årets alla timmar. Figur 9 visar hur byggnadernas lastprofiler är fördelade över året och hur värme- och kylbehovet möter varandra. Energibehovet för uppvärmning är högst under vinterhalvåret och under sommarhalvåret kräver byggnaderna i princip ingen energi för uppvärmning. Energibehovet för TVV är konstant under hela året, där det hackiga mönstret för TVV beror på antagna variationer i TVV användning. Det finns främst ett kylbehov under sommaren, men även ett litet kylbehov under årets alla dagar.



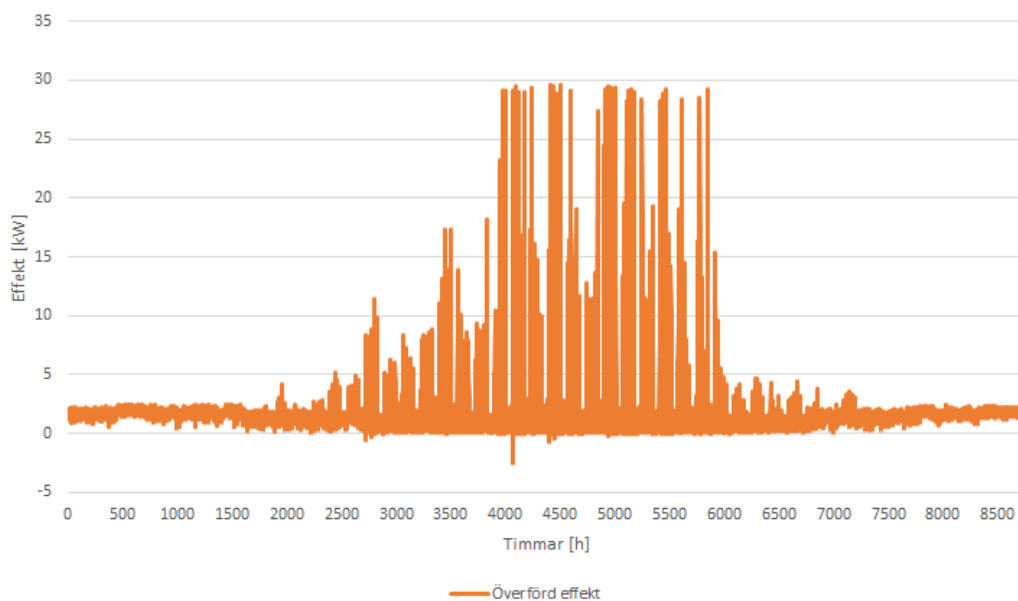
Figur 9. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 1.

Figur 10 visar överföringen av effekt genom VVX1, vars syfte är att återvinna värme från kylsystemets returledning till värmesystemets framledning. Överföring av effekt sker främst under sommarhalvåret vilket är ett förväntat resultat eftersom byggnaderna främst har ett mötande kyl- och värmebehov för energiåtervinning under sommaren. Resultatet visar att det finns ett mötande behov under sommarhalvåret som motsvarar en överförd effekt om ungefär 50 kW under ett fåtal timmar.



Figur 10. Effektöverföring i VVX1, för fall 1, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.

Figur 11 visar överföringen av effekt genom VVX2, vars syfte är att återvinna kyla från värmesystemets returledning till kylsystemets framledning. Överföring av effekt sker likt VVX1 främst under sommarhalvåret, eftersom byggnaderna har ett större mötande kyl- och värmebehov för energiåtervinning under sommaren jämfört med vintern. Resultatet visar att det finns ett mötande behov motsvarande en överförd effekt på ungefär 30 kW under en period av sommarhalvåret. Däremot visar de negativa värdena i figur 11 att det finns en liten motsatt effektöverföring under sommarhalvåret. När det finns en motsatt effektöverföring, vilket i detta fall sker under 29 av årets 8760 timmar, är temperaturen in i värmeväxlaren från borrhålen lägre än vad temperaturen ut till kylsystemet är. Detta innebär att VVX2 inte fungerar korrekt, då syftet är att temperaturen i framledningen till kylsystemet ska få en lägre temperatur efter värmeväxlingen. Temperaturen är således högre i värmesystemets returledning dessa timmar på året, jämfört med temperaturen in i värmeväxlaren från borrhålet, vilket resulterar i att framledningen till kylsystemet höjs istället för sänks i VVX2. Om temperaturen i värmesystemets retur inte är tillräckligt låg för att sänka kylsystemets framlednings temperatur, bör ledningen kopplas förbi värmeväxlaren. En sådan styrning skulle begränsa värmeväxlaren från att överföra effekt i motsatt riktning.



Figur 11. Effektöverföring i VVX2, för fall 1, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.

Tabell 1 visar energiprestandan för byggnadsbeståndet med egna energicentraler samt energiprestandan för byggnadsbeståndet med en gemensam energicentral. När byggnaderna har egna energicentraler och simuleras separat har lokalerna ett högre COP_{system} än bostäderna. Detta är ett förväntat utfall och beror på att lokalerna både har ett värme- och kylbehov, till skillnad från bostäderna med endast ett värmebehov, vilket gör att lokalerna kan nyttja energiåtervinning i värmeväxling samt frikyla från borrhålen. När alla byggnader med egna energicentraler studeras som ett gemensamt byggnadsbestånd, viktas de olika byggnadernas egenskaper mot deras respektive antal kvadratmeter. Eftersom bostäderna utgör en betydligt större area än lokalernas viktas

därmed energianvändning, energiprestanda och COP_{system} mer mot bostädernas egenskaper. I fall 1 med ett byggnadsbestånd med egna energicentraler, resulterar detta i ett COP_{system} på 3,2.

Tabell 1. Energiprestanda (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 1, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiprestanda för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).

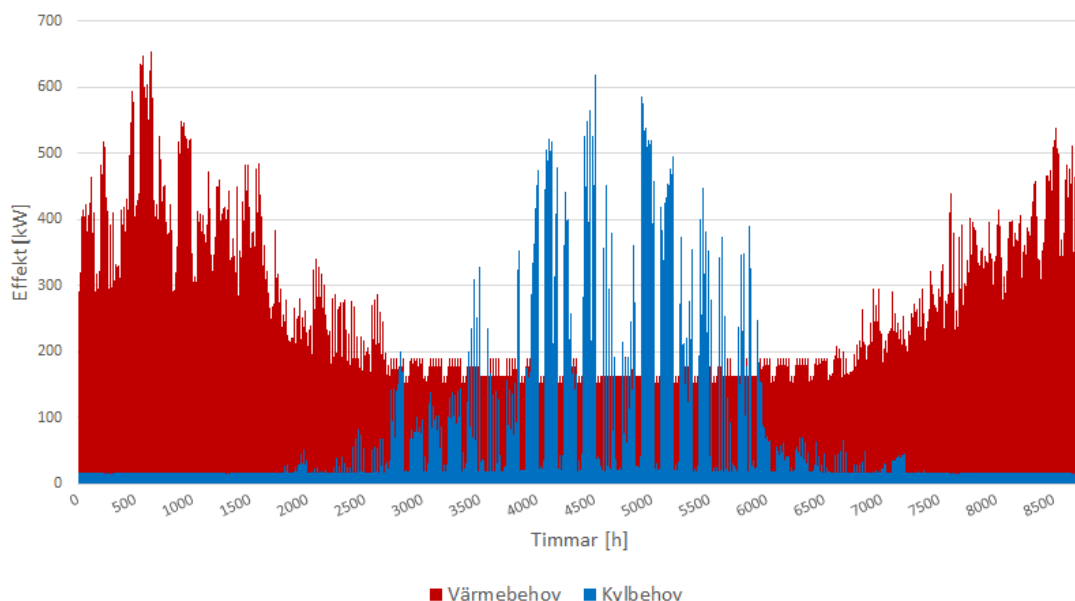
EC	Byggnadstyp	Uppvärmning kWh/m ²	Kyla kWh/m ²	TVV kWh/m ²	Total EP kWh/m ²	COP_{system}
Egna	Bostäder 34 000 m ²	5,0	0,0	10,6	15,6	3,1
	Lokaler 6 000 m ²	3,8	2,8	2,1	8,7	4,3
	Alla byggnader 40 000 m ²	4,8	0,4	9,3	14,6	3,2
Gemensam 40 000 m ²		4,9	0,2	9,3	14,4	3,2
Differens		0,1	0,3	0,0	0,1	

Den totala energibesparingen i att sammankoppla byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral jämfört med att byggnadsbeståndets byggnader har egna energicentraler blir ungefär **en procent**. Det sker även en liten förbättring i COP_{system} , där den gemensamma energicentralen ökar från 3,18 till 3,21. Ett förväntat resultat är att samtliga delsystem ska gynnas av den energiåtervinning som sker i värmeväxlarna, vilket inte är fallet. I byggnadsbeståndet sker en försämring i energiprestanda för värmesystemet (TVV + uppvärmning). Detta antas bero på att det finns en inställning i modellens värmepumpar vilken gör att temperaturökningen i värmesystemets framledning, som skett från energiåtervinning och effektöverföring i VVX1, inte gynnar värmepumparna som förväntat. Då värmebehovet främst utgörs av TVV under sommarhalvåret, och effektöverföringen från VVX1 mest visat energiåtervinning under sommarhalvåret, borde detta ha påverkat energiprestandan av TVV till det bättre. Däremot gynnas kylsystemet av sammankopplingen i en gemensam energicentral. Detta beror sannolikt på möjligheten för kylsystemet att kunna nyttja energiåtervinning i VVX2 och frikyla från borrhålen under årets alla dagar, men främst under sommarhalvåret.

4.1.2 Fall 2

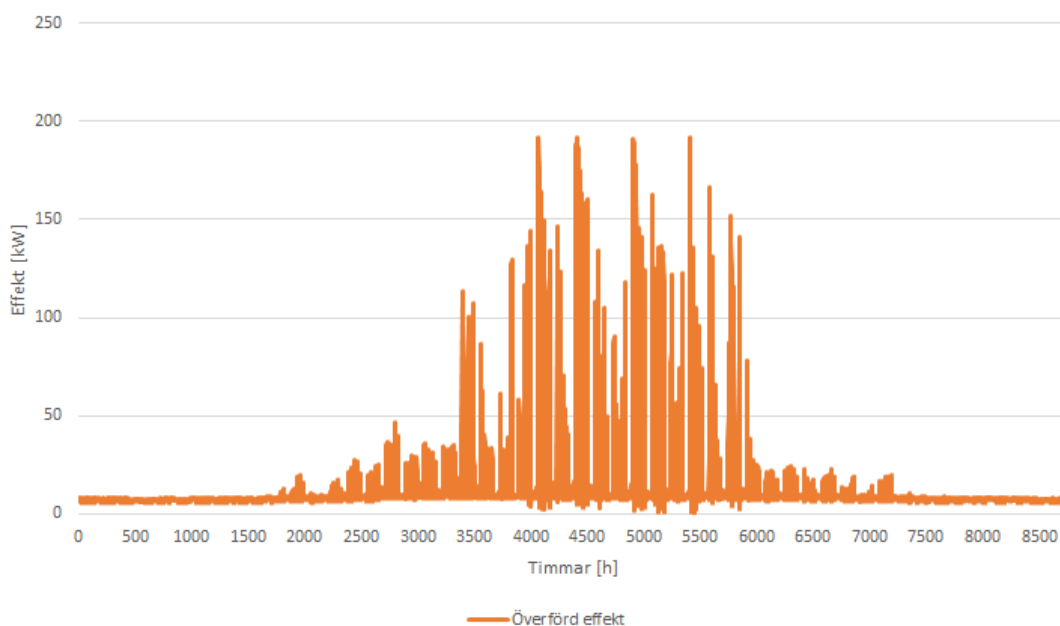
I ett byggnadsbestånd där andelen lokaler och bostäder utgör lika stor yta måste energicentralen hantera en topp effekt för både värmebehovet under vinterhalvåret och kylbehovet under sommarhalvåret. Figur 12 visar lastprofilen för fall 2 där energibehovet för TVV, likt fall 1, är konstant under hela året. Det hackiga mönstret för TVV beror på antagna variationer i TVV användning. Det finns ett större kylbehov under sommaren jämfört med fall 1, vilket delvis kan mötas av värmebehovet från TVV. Under

vinterhalvåret finns knappt något mötande energibehov från kylsystemet för att balansera byggnadsbeståndets värmebehov.



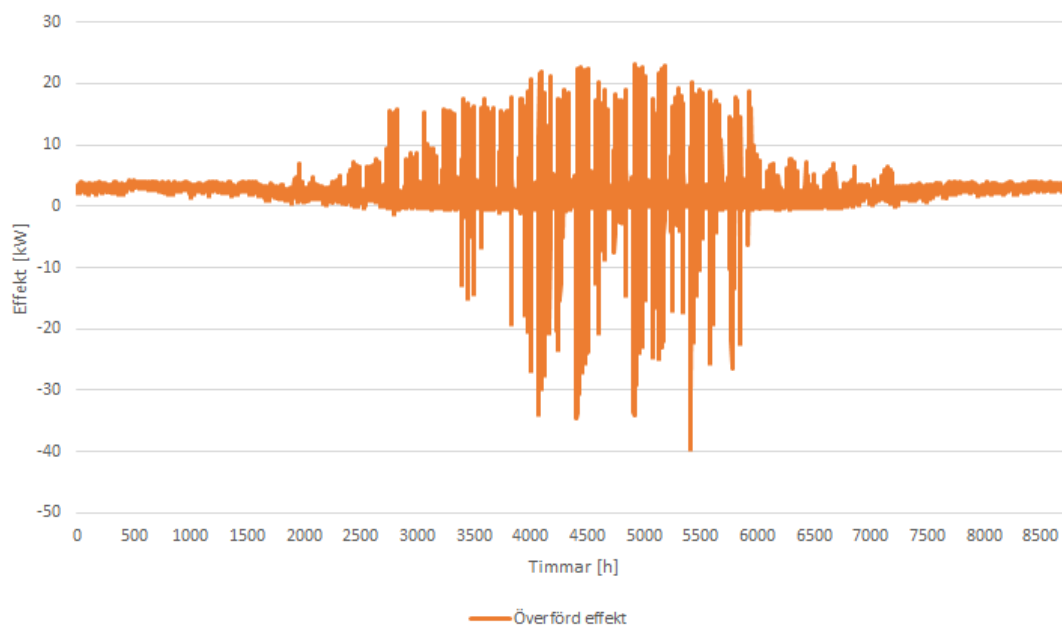
Figur 12. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 2.

Figur 13 visar överföringen av effekt genom VVX1, med syfte att återvinna värme från kylsystemets returledning till värmesystemets framledning. Överföring av effekt sker främst under sommarhalvåret vilket är ett förväntat resultat eftersom byggnaderna främst har ett mötande kyl- och värmebehov för energiåtervinning under sommaren. Resultatet visar att det finns ett mötande behov på sommarhalvåret som motsvarar en överförd effekt på ungefär 190 kW under några enstaka timmar.



Figur 13. Effektöverföring i VVX1, för fall 2, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.

Figur 14 visar överföringen av effekt genom VVX2, vars syfte är att återvinna kyla från värmesystemets returledning till kylsystemets framledning. Överföring av effekt sker även i fall 2 främst under sommarhalvåret vilket är ett förväntat resultat eftersom byggnaderna främst har ett mötande kyl- och värmebehov för energiåtervinning under sommaren. Resultatet visar att det finns ett mötande behov motsvarande ungefär 20 kW under några enskilda timmar. Däremot visar de negativa värdena i figur 14 på att det finns en tydlig motsatt effektöverföring under 540 av årets 8760 timmar. Detta innebär att VVX2 även här inte fungerar korrekt och att värmeväxlaren kräver förbättringsåtgärder. En styrning som begränsar värmeväxlaren från att överföra effekt i motsatt riktning kan införas genom att koppla returledningen förbi värmeväxlaren vid perioder då temperaturen i värmesystemets returledning är högre än temperaturen från borrhålets ledning in i värmeväxlaren.



Figur 14. Effektöverföring i VVX2, för fall 2, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.

Tabell 2 visar energiprestandan för ett system där byggnadsbeståndet använder egna energicentraler och ett system med en gemensam energicentral. I detta fall viktas det sammanlagda COP_{system} för byggnadsbeståndet med egna energicentraler för samma area för bostäder och lokaler. Detta gör att lokalernas höga COP_{system} , från energiåtervinning och frikyla, påverkar det totala COP_{system} för byggnadsbeståndet med egna energicentraler mer än i fall 1, och ger ett COP_{system} på 3,5 för fall 2.

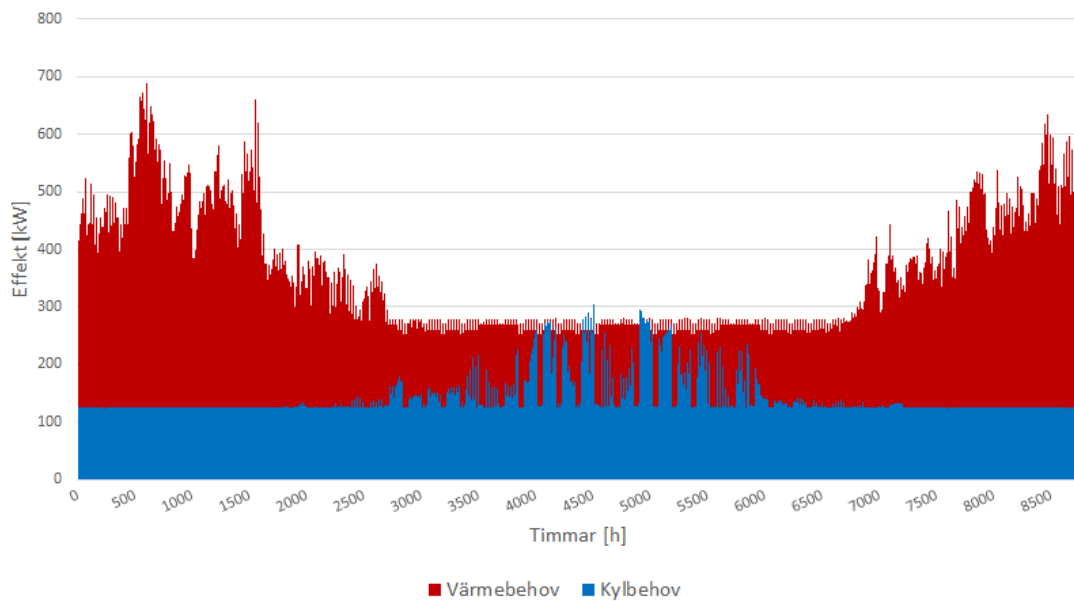
Tabell 2. Energiprestanda (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 2, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiprestanda för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).

EC	Byggnadstyp	Uppvärmning kWh/m ²	Kyla kWh/m ²	TVV kWh/m ²	Total EP kWh/m ²	COP _{system}
Egna	Bostäder 20 000 m ²	5,0	0,0	11,2	16,3	3,0
	Lokaler 20 000 m ²	3,3	2,6	2,1	8,0	4,6
	Alla byggnader 40 000 m ²	4,2	1,3	6,7	12,2	3,5
Gemensam 40 000 m ²		4,3	1,0	6,4	11,7	3,7
Differens		0,1	0,3	0,3	0,5	

Den totala energibesparingen i att sammankoppla byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral jämfört med att byggnadsbeståndets byggnader har egna energicentraler blir ungefär **fyra procent**. Att inkludera fler lokaler i ett sammankopplat system visar därmed på en förbättring i energiprestanda. Det sker även en förbättring i COP_{system}, där den gemensamma energicentralen ökar verkningsgraden från 3,5 till 3,7 i fall 2. I detta fall sker en förbättring i energiprestanda för både TVV och kyla. Förbättring av energiprestandan i TVV beror på det ökade kylbehovet från lokalerna under sommarhalvåret, då värmebehovet av TVV och kylbehovet av lokalerna möts enligt lastprofilen. Detta kan även ses från den höga andelen energiåtervinning i VVX1. Energiprestandan för uppvärmning ger fortsatt en sämre energiprestanda, likt fall 1. Detta antas återigen vara ett resultat av att det är en inställning i modellens värmepumpar som gör att värmepumparna inte gynnas som förväntat av den temperaturökning som sker i värmesystemets framledning.

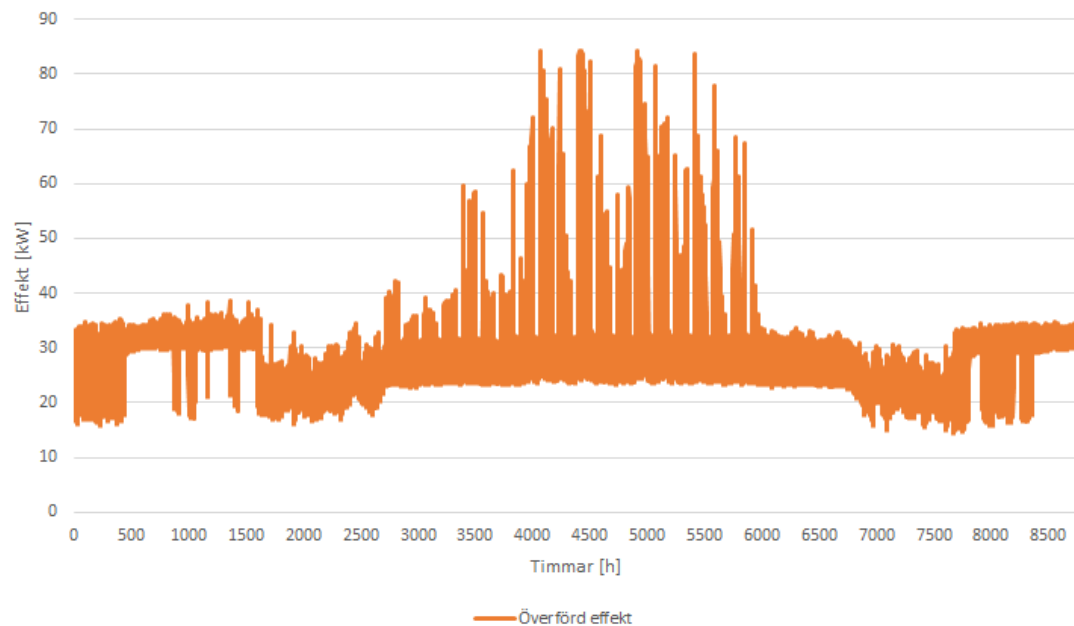
4.1.3 Fall 3

I fall 3, där ett byggnadsbestånd med färre andel lokaler än bostäder har kompletterats med en matbutik, balanserar den konstanta kyllasten byggnadernas värmebehov under årets alla timmar som förväntat. Detta illustreras i figur 15, som visar lastprofilen för fall 3. Det hackiga mönstret för TVV beror på antagna variationer i TVV användning. Byggnadsbeståndets värmebehov möts delvis av kylbehovet under sommarhalvåret, medan det finns ett fortsatt underskott av kylbehov under vinterhalvåret för att möta byggnadernas värmebehov.



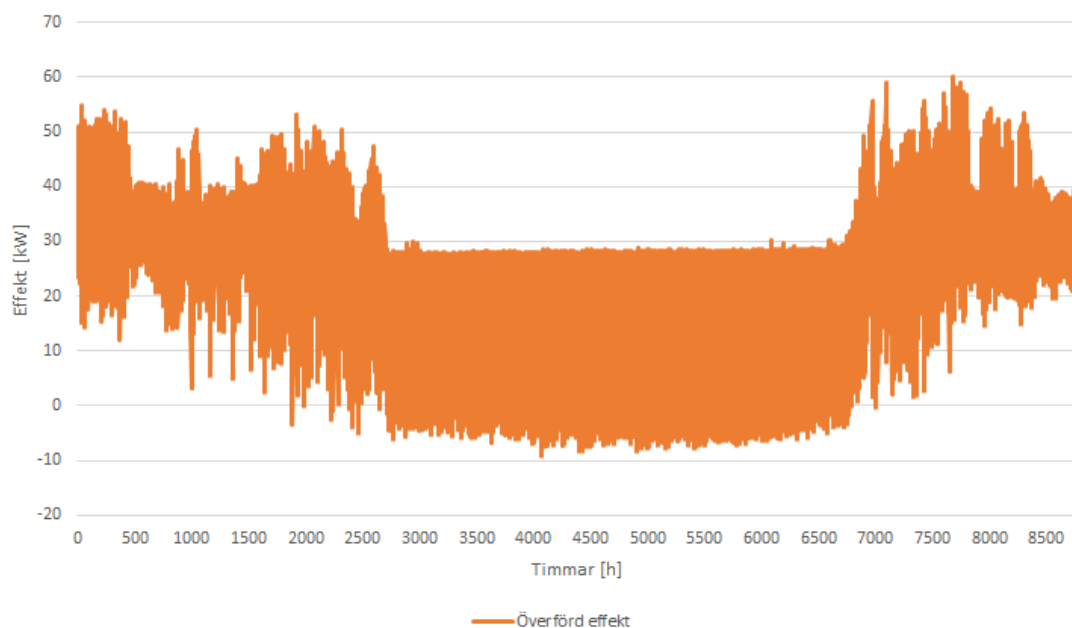
Figur 15. Lastprofil för byggnadernas värme- och kylbehov i fall 3.

Figur 16 visar överföringen av effekt genom VVX1, med syfte att återvinna värme från kylsystemets returledning till värmesystemets framledning. Den konstanta kyllasten resulterar i att energiåtervinning kan ske under årets alla timmar vilket möjliggör energiåtervinning i en större utsträckning än i fall 1 och 2, vilket ses i figur 16. VVX1 nyttjar även toppeffekten av kyla under sommarhalvåret för att värma värmesystemets framledning, främst för att förse värmebehovet för TVV-systemet. Detta är likt fall 1 och 2 ett förväntat resultat. Resultatet visar att det finns ett mötande behov motsvarande strax över 80 kW under en period av sommarhalvåret.



Figur 16. Effektöverföring i VVX1, för fall 3, mellan returledning från kylsystemet och framledning till värmesystemet.

Figur 17 visar överföringen av effekt genom VVX2, med syfte att återvinna kyla från värmesystemets returledning till kylsystemets framledning. Resultatet visar att det finns ett mötande behov motsvarande uppemot ungefär 60 kW under en period. Eftersom den konstanta kyllasten möjliggör effektöverföring under årets alla timmar kan VVX2 återvinna energi från uppvärmning och TVV till kylsystemet under vintern och från TVV till kylsystemet under sommaren. Däremot visar de negativa värdena i figur 17 på att det finns en tydlig motsatt effektöverföring under 935 av årets 8760 timmar. Detta innebär att VVX2 även här inte fungerar korrekt och att värmeväxlaren kräver en förbättrad styrning. En sådan styrning kan införas för att begränsa värmeväxlaren att överföra effekt i motsatt riktning genom att koppla returledningen förbi värmeväxlaren när den erhåller temperaturer som inte är fördelaktiga för systemet.



Figur 17. Effektöverföring i VVX2, för fall 3, mellan returledning från värmesystemet och framledning till kylsystemet.

Tabell 3 visar energiprestandan för ett system där byggnadsbeståndet använder egna energicentraler och en gemensam energicentral. När matbutiken simuleras separat med en egen energicentral erhålls ett COP_{system} på 9,6. Den höga verkningsgraden beror på hur matbutiken kan nyttja frikyla från borrhålen vilket kräver mindre el för kylning. Detta är dock inte ett helt realistiskt fall, då borrhålen antas värmas upp på grund av bristen på återladdning av kyla då matbutiken endast har ett kylbehov. Det höga COP_{system} för matbutiken påverkar verkningsgraden när byggnadsbeståndet använder egna energicentraler, vilket resulterar i ett COP_{system} värde på 4,2 för fall 3.

Tabell 3. Energiförbrukning (EP) för byggnadsbeståndets delsystem i fall 3, där grön färg indikerar en förbättring och där röd färg indikerar en försämring av energiförbrukning för byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral (EC).

EC	Byggnadstyp	Uppvärmning kWh/m ²	Kyla kWh/m ²	TVV kWh/m ²	Total EP kWh/m ²	COP _{system}
Egna	Bostäder 34 000 m ²	5,0	0,0	10,6	15,6	3,1
	Lokaler 6 000 m ²	3,8	2,8	2,1	8,7	4,3
	Matbutik 10 000 m ²	0,0	10,9	0,0	10,9	9,6
	Alla byggnader 50 000 m ²	3,8	2,5	7,5	13,8	4,2
Gemensam 50 000 m ²		3,9	1,8	7,3	12,9	4,5
Differens		0,1	0,8	0,2	0,9	

Den totala energibesparingen i att sammankoppla byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral är ungefär **sju procent**. Resultatet visar att den totala energiförbrukningen är förbättrad i fall 3 jämfört med fall 1, där den gemensamma energicentralen ger en större sänkning i differens av energiförbrukning jämfört med enskilda energicentraler. Att inkludera en matbutik är därmed fördelaktigt för sammansättningen av byggnadsbeståndet. Byggnadsbeståndets COP_{system} förbättras även vid sammankopplingen i en gemensam energicentral i fall 3 från 4,2 till 4,5. Att inkludera en matbutik i byggnadsbeståndet visar en markant förbättrad energiförbrukning för kylning, vilket visar att delsystemet för kyla tydligt gynnas av att använda en gemensam energicentral. Detta beror främst på den större tillgången av energiåtervinning under årets alla timmar jämfört med fall 1 och 2. Energianvändningen för uppvärmning visar fortsatt en försämrad energiförbrukning vid sammankoppling i en gemensam energicentral vilket antas vara ett resultat av en inställning i värmepumparna. Värmepumparna gynnas således inte som förväntat av den temperaturökning som sker i värmesystemets framledning, som resultat av energiåtervinningen i VVX1.

4.2 Teknikens utmaningar och möjligheter

För att bilda en uppfattning om de utmaningar och möjligheter studiens system för energidelning står inför i praktiken har tre sakkunniga personer inom arbetets ämnesområde intervjuats. Respondenterna har erfarenheter från det pågående projektet Embassy of Sharing, vars energicentral är lik studiens modell. Intervjuerna har möjliggjort en tekniskt bredare förståelse över uppbyggnaden av en gemensam energicentral med geoenergi samt var teknikens roll i framtidens energisystem står. Samtalen bidrog även med kunskap och insikter om hur ett byggnadsbestånd likt Embassy of Sharing bygger på mer än just den tekniska utvecklingen. Resultatet från intervjuerna

ämna besvara studiens sista och tredje frågeställning kopplat till ett bredare perspektiv om hur ny teknik, likt studiens energicentral, kan samverka i samhället.

4.2.1 Förutsättningar för ett nytt system för energidelning

Hela idén med projektet Embassy of Sharing säger Sjöqvist (2021), projektledare och teknisk chef för Embassy of sharing från Midroc Properties AB, bygger på en cirkulär ekonomi. Med detta menar Sjöqvist (2021) att så många resurser som möjligt ska återanvändas eller återvinnas och delas mellan de anslutna aktörerna i kvarteret. Byggnadsbeståndet ska dela allt från gemensamma ytor till att införa en egen lokal valuta inom området. Sjöqvist (2021) säger att det därför blev en självklarhet att Embassy of Sharing även ska dela energi. Kylan som uppstår som biprodukt från dagens traditionella bostäder, och värmen som uppstår som biprodukt från lokalerna, släpps vanligtvis ut i luften. Denna restenergi delas i stället mellan byggnaderna i Embassy of Sharing säger Sjöqvist (2021). Energidelning möjliggörs via en geoenergianläggning för ett byggnadsbestånd om cirka 55 000 kvadratmeter. En traditionell geoenergianläggning brukar enligt Sjöqvist (2021) ha en verkningsgrad (COP) runt fyra, för Embassy of Sharing fanns en ambition på tio men där systemet troligtvis kommer landa på cirka åtta, vilket fortfarande ses vara av hög energieffektivitet.

Trumstedt (2021), projektledare från Bengt Dahlgren Syd AB, säger att potentialen för ett lokalt energisystem likt Embassy of Sharing är stor och att tekniken hos ett system för energidelning som använder en geoenergianläggning för att dela värme och kyla mellan byggnader idag marknadsförs starkt för nya kunder. Han säger också att ett sådant system för energidelning riktar sig framför allt mot fastighetsägare med ett långsiktigt livscykelkostnadsperspektiv snarare än aktörer vars mål är snabb försäljning och kortsiktig avkastning (Trumstedt, 2021). Den främsta fördelen med tekniken är möjligheten att kunna lagra energi lokalt i systemet och använda energin där den behövs, vid rätt tillfälle. Enligt Jay (2021), energiingenjör i projektet från Bengt Dahlgren Syd AB, kommer liknande system att växa i framtidens energisystem för att möjliggöra mer miljövänliga och energieffektiva alternativ för uppvärmning och kylning.

4.2.2 Utmaningar för ett nytt system för energidelning

Enligt Trumstedt (2021) och Sjöqvist (2021) krävs lösningar för att analysera liknande system vid drift, eftersom det i dagsläget finns få verkliga system för energidelning att dra lärdom från. Trumstedt (2021) förklarar att Embassy of Sharing består av många styrparametrar vilket formar ett komplext tekniskt system. Dessa styrparametrar kräver stora insatser för att justera och optimera, något Trumstedt (2021) säger kommer att bli en utmaning att korrigera när projektet är i drift. Sjöqvist (2021) säger även att en utmaning i ett projekt likt Embassy of Sharing är att planera för hur driften i byggnadsbeståndet påverkas om en fastighetsägare i framtiden inte längre vill vara en del av systemet.

Jay (2021) förklarar att framtidens uppvärmnings- och kylsystem likt 4GDH och 5GDHC fortfarande är i uppstarten inom ett nytt energiområde och att Embassy of Sharing är en del av utvecklingen framåt. Det saknas därför, enligt Jay (2021), en standardiserad mall för hur ett system enligt 4GDH och 5GDHC ska vara uppbyggt, och att Embassy of Sharing är ett alternativ för hur framtidens uppvärmnings- och kylsystem kan se ut. Sjöqvist (2021) beskriver att det är viktigt att företag inom bygg- och fastighetsbranschen samarbetar för att kunna utveckla den mest effektiva lösningen för framtidens uppvärmnings- och kylsystem. Eftersom det fortfarande är osäkert gällande hur uppbyggnaden av systemet ska utformas, exempelvis om det sker via ett tvårörs-, trerörs- eller fyrrörssystem, blir data om hur olika system fungerar viktig information att vara transparent med i branschen. Detta gäller framför allt för företag med projekt som är i drift säger Sjöqvist (2021), eftersom det är från dessa driftfall det verkligen går att utvärdera lönsamheten i exempelvis verkningsgrad från olika val av teknik. Sjöqvist (2021) säger att det inte var självklart att Embassy of Sharing skulle använda sig av ett fyrrörssystem. Om information från företag med projekt i drift hade varit tillgänglig hade det varit möjligt att Embassy of Sharing i stället valt ett annat typ av rörsystem. Förhoppningarna med Embassy of Sharing säger Sjöqvist (2021) är att ge inspiration till andra aktörer i branschen att utveckla liknande system och att därmed skapa samhällsnytta. Han säger också att han hoppas på att Embassy of Sharing leder till att *“någon annan gör en liknande, bättre och smartare lösning på hur vi kan göra systemet ännu mer effektivt, vi hoppas att fler följer efter helt enkelt”* (Sjöqvist, 2021).

Jay (2021) beskriver att utvecklingen av nya affärsmodeller för framtidens uppvärmning- och kylsystem likt Embassy of Sharing går att jämföra med att *“skaffa ett nytt ramverk för ett helt nytt fjärrvärmesystem”*. Sjöqvist (2021) menar att den största utmaningen är de juridiska aspekterna mellan fastighetsägarna. Likaså blir samarbetet med kommunen viktig gällande anspråk på mark och att exempelvis få tillstånd att dra nya ledningar (Sjöqvist, 2021). Komplexa projekt likt Embassy of Sharing är beroende av olika samhällsaktörer, exempelvis bostadsägare, fastighetsägare, arkitekter, entreprenörer, byggherrar, kommunrepresentanter och ingenjörer (Trumstedt, 2021). Sjöqvist (2021) säger att en stor roll som projektledare i Embassy of Sharing har varit att förstå och möta alla de olika perspektiven och önskemål samt att sätta sig in i frågor ur ett helhetsperspektiv.

Då Embassy of Sharing ska bestå av sju olika byggnader är varje byggnad ett delprojekt i sig. Trumstedt (2021) beskriver att det därmed har varit en utmaning att samordna projekten parallellt med varandra för att få hela systemet att utvecklas gemensamt. Han berättar att omställningen mot att använda ny teknik likt det system för energidelning Embassy of Sharing ska använda, fortfarande är ett nytt tankesätt att bekanta sig med inom värme- och kylmarknaden. Exempelvis hade bostadsprojektet i Embassy of Sharing automatiskt utgått från att byggnaden skulle använda fjärrvärme som uppvärmningssystem (Trumstedt, 2021). Sjöqvist (2021) säger att han tror på att antalet system för energidelning med geoenergianläggningar kommer att öka i framtiden, vilket till följd även innebär att elanvändningen kommer att öka. Att frånga fjärrvärme och

fjärrkyla i Embassy of Sharing menar Sjöqvist (2021) blir försvarbart då systemet bygger på en teknik med dubbelt så hög verkningsgrad som ett system med vanliga värmepumpar och kylmaskiner. Om systemet hade visat samma effektivitet som dagens traditionella verkningsgrad hade byggnadsbeståndet anslutit sig till fjärrvärmenätet, då Sjöqvist (2021) menar att det då inte längre blir försvarbart att ansluta en sådan stor anläggning till elnätet.

Sjöqvist (2021) säger att det är mer fördelaktigt för framtidens energisystem att bestå av många små energiproducerande enheter än få stora. I Malmös fjärrvärmenät förses värme av ett fåtal stora verk, vilket han beskriver beror på att det historiskt sett varit billigare att bygga energisystem på detta sätt. Problemet beskrivs vara hur dagens fjärrvärmenät behöver transportera höga temperaturer över långa sträckor med högt tryck, vilket skapar stora distributionsförluster. Genom att i stället ha många små utplacerade system kan temperatur och tryck i ledningarna sänkas, vilket i sin tur sänker distributionsförluster och skapar möjlighet till att använda restenergi mer fördelaktigt. Ett alternativ för dagens fjärrvärmeföretag är att börja använda returtemperaturen som framledning, vilket skulle förbättra systemets verkningsgrad, men detta bygger på att fjärrvärmebolagen vore intresserade av att skapa nya system. Framtidens energisystem, tror Sjöqvist (2021), kommer bestå av flera små lösningar och beskriver att framtidens energisystem borde vara uppbyggt i en nätstruktur likt hur internet fungerar idag. Internet byggdes ursprungligen av militären för att säkerställa att information inte kunde förstöras eller försvinna och består av ett maskat nät som går kors och tvärs, *“klipper du av en ledning kan flödet fortsätta en annan väg, framtidens energisystem borde vara uppbyggt på samma sätt med många små system”*, säger Sjöqvist (2021).

Byggnadsbeståndet Embassy of Sharing har totalt sett ett mindre kylbehov än värmebehov och det har därför förts diskussioner om att expandera systemet med ett närliggande köpcentrum med en stor andel kylbehov. Trumstedt (2021) beskriver att en sådan expansion skulle skapa en bättre balans mellan kyla och värme men menar samtidigt att det skulle innebära en juridisk resa för hela projektet. Jay (2021) förklarar att en utmaning i att få igenom en sådan systemförändring är att få nya aktörer att förstå potentialen av att ingå i ett system likt Embassy of Sharing. En aktiv kommunikation med både nya och tidigare inblandade aktörer blir en nyckelfråga i ett projekt likt detta. Osäkerheter och svårigheter gällande nya juridiska avtal borde inte vara en tröskel och hämma investeringar i framtidens nya kvarter likt Embassy of Sharing, säger Jay (2021). Trumstedt (2021) beskriver att det finns visioner om att skapa samarbeten mellan byggnadsbestånd, vilket skulle möjliggöra en mer storskalig energilösning, något som tyvärr inte är planerat för projektet Embassy of Sharing idag.

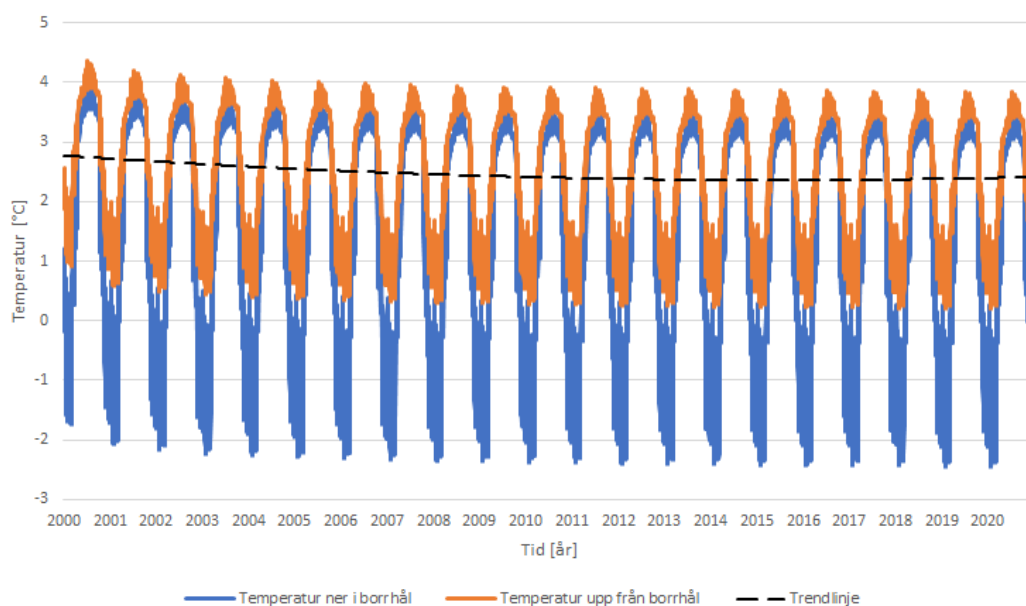
4.3. Känslighetsanalys

Känslighetsanalysen undersöker modellens möjlighet och känslighet för simuleringar över en längre tidsperiod. Det är viktigt att kunna simulera modellen över långa tidsperioder för att kunna utvärdera system för energidelning med geoenergi från en

geoenergianläggning under en längre period av en byggnads livstid. In- och ut-temperaturerna från borrhålen undersöks därför under 20 år för att undersöka så att de krav som ställs på borrhålen uppfylls. På detta sätt ges en indikation om temperaturerna ner i, och upp från borrhålen blir kallare eller varmare över tid, vilket därmed skulle innebära att borrhålen kyls ner respektive värms upp. Utgångspunkten är att temperaturen ner i borrhål inte ska överstiga 30 grader, eller att temperaturen upp från borrhålen inte ska understiga noll grader. Om geoenergilagret på sikt blir nedkyllt eller uppvärmt resulterar detta i en sänkt effektivitet för geoenergilagret att agera som ett säsongslager. Det kan ta flera år innan det blir tydligt hur borrhålen påverkas av det specifika byggnadsbeståndet. I följande avsnitt studeras därför studiens tre fall gällande deras sammankopplade byggnadsbestånd med en gemensam energicentral under en 20 årsperiod.

4.3.1 Fall 1

I fall 1, då det är en större andel bostäder än lokaler, dimensioneras värmeeffekten i värmepumparna till 455 kW för uppvärmning och TVV. Värmeeffekten har itererats fram med målsättning att ungefär 95 procent av det årliga uppvärmningsbehovet ska täckas av värmepumpen, också kallat energitäckningsgrad. För TVV täcks ungefär 90 procent av energibehovet. Detta ger genom ekvation (2) att det sammankopplade byggnadsbeståndet med en gemensam energicentral behöver ungefär 52 borrhål. Vid simulering med 52 borrhål möts inte kravet att temperaturen upp från borrhålen inte får understiga noll grader. Enligt den vägledning som erhållits av geoenergispecialist Stokuca, ökas antal borrhål för fall 1 till 65. Vid dimensionering av antalet borrhål undersöks kravens uppfyllnad enbart för ett års simulering. Figur 18 presenterar temperaturerna ner i och upp från borrhålen under tidsperioden 2000 till 2020.

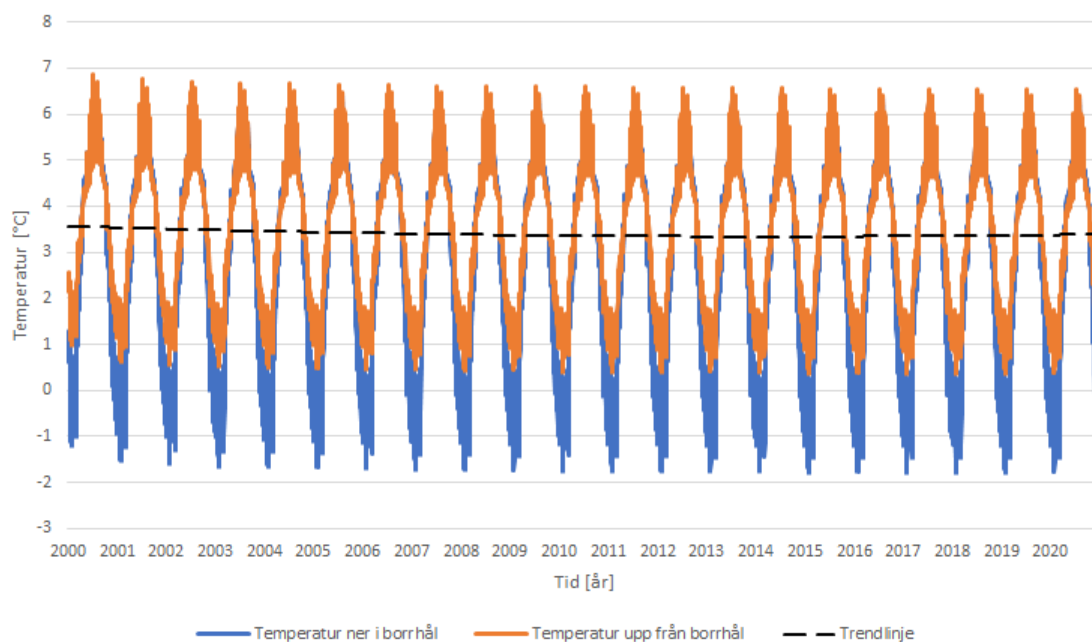


Figur 18. Temperatur ner i och upp från borrhålen i fall 1 under tidsperiod 2000-2020.

Den införda trendlinjen visar hur medeltemperaturen upp från borrhålen sjunker. Det är främst under de första åren som temperaturen ner i och upp från borrhålen sjunker och en stabilisering kan antydast över tid. Att temperaturen i borrhålen sjunker innebär att det är mer värme som hämtas från borrhålen än vad som återladdas. Detta inträffar när det temperaturmässigt finns ett överskott på värmebehov i systemet. En för stor värmeproduktion ger avkylning och en för stor kylproduktion ger för mycket återladdning. Temperaturen ner i borrhålen är vintertid under noll grader, men upp från borrhålen erhålls fortfarande temperaturer över noll grader, årens alla dagar. Då kraven på temperaturerna ner i och upp från borrhålen uppfylls visar detta från tidsperspektivet 20 år på att ett geoenergilagrar dimensionerat likt fall 1 är lämpligt att använda.

4.3.2 Fall 2

I fall 2, när det är lika stor andel bostäder som lokaler, används värmeeffekt om 360 kW till värmepumparna för uppvärmning och TVV. Beräkningar genom ekvation (2) resulterar i att det sammankopplade byggnadsbeståndet med en gemensam energicentral på ett ungefär behöver använda 41 borrhål. Av samma anledning som i fall 1 behövs antalet borrhål ökas för att undvika temperaturer under noll grader upp från borrhålen. Antalet borrhål bestämdes således till 47. Figur 19 presenterar temperaturerna ner i och upp från borrhålen under tidsperioden 2000 till 2020.

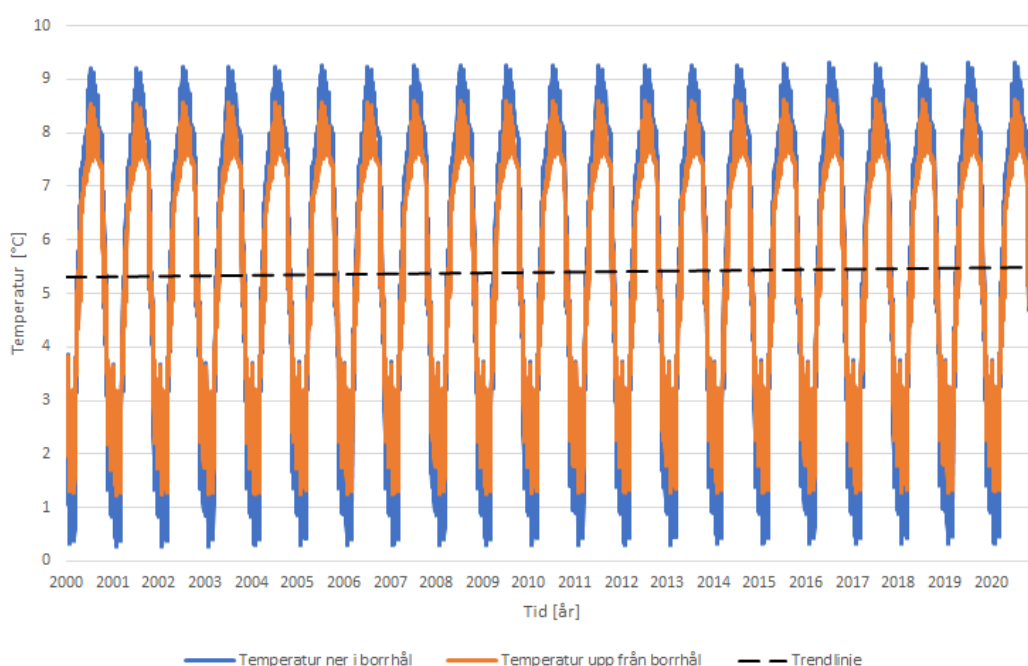


Figur 19. Temperatur ner och upp från borrhålen i fall 2 under tidsperiod 2000-2020.

Den införda trendlinjen visar, jämfört med fall 1, en mindre tydlig sänkning av medeltemperatur upp från borrhålen. Temperaturen ner i borrhålen är vintertid fortfarande under noll grader, men upp från borrhålen erhålls fortfarande temperaturer över noll grader, årens alla dagar. Då kraven på temperaturerna ner i och upp från borrhålen uppfylls visar även på att utförd dimensionering i fall 2 är lämplig ur ett 20 års perspektiv.

4.3.3 Fall 3

Fall 3 är identiskt med fall 1 förutom ett tillägg av en konstant kyllast. Eftersom värmeeffekten styrs av energitäckningsgraden har den bestämts till 435 kW i fall 3. Trots att byggnadsbeståndet innehåller lika stort värmebehov kan effekten på värmesystemens värmepumpar sänkas jämfört med fall 1, på grund av synergier och energiåtervinning i systemet. Enligt beräkning genom ekvation (2) behöver det sammankopplade byggnadsbeståndet med en gemensam energicentral ungefär 50 borrhål. Jämfört med tidigare fall kan antalet borrhål sänkas i fall 3 och fortfarande möta kraven på temperaturerna ner i och upp från borrhålen under ett års simulering. 30 borrhål används därför i fall 3. Figur 20 presenterar temperaturerna ner i och upp ur borrhålen under tidsperioden 2000 till 2020.



Figur 20. Temperatur ner i och upp från borrhålen i fall 3 under tidsperiod 2000-2020.

Den införda trendlinjen visar, jämfört med tidigare fall, i stället en liten ökning av medeltemperatur upp från borrhålen. Figuren presenterar också att trendlinjen inte fortsätter öka med tiden, utan stabiliserar sig. Temperaturen upp från borrhålen är alltid över noll grader årens alla dagar vilket påvisar att geoenergilagret på lång sikt inte kommer urladdas. Trots en markant sänkning av antal borrhål, jämfört med det beräknade antalet, uppvisar dimensioneringen av borrhålen i fall 3 en god stabilitet. Då kraven på temperaturer ner i och upp från borrhålen uppfylls över 20 års tidsperiod visar detta på lämpligheten att använda ett geoenergilager dimensionerat likt det i studien för fall 2.

5. Diskussion

I detta kapitel förs en diskussion om studiens erhållna resultat i ett bredare syfte. I det första avsnittet (5.1) diskuteras resultaten kopplat till energiprestandan i studiens tre fall. Då modellen av energicentralen som skapats i studien är en komplex sammansättning av komponenter finns potential för förbättring vilket diskuteras i avsnitt 5.2. Avslutningsvis, i avsnitt 5.3, diskuteras tekniken och marknaden för energidelning genom en energicentral lik studiens framtagna modell.

5.1 Energiprestanda

Trots att samtliga fall inte uppnår en förbättrad energiprestanda i varje delsystem när byggnaderna sammankopplas i en gemensam energicentral blir den totala energiprestandan i samtliga fall bättre. COP_{system} förbättras även i respektive fall vid sammankoppling i en gemensam energicentral. Detta indikerar att byggnaderna kan förbättra sin energianvändning vid sammankoppling i en gemensam energicentral genom att dela och återvinna energi mellan byggnaderna.

I fall 2, där andelen lokaler ökar i byggnadsbeståndet, blir resultatet ökade toppeffekter för kyla på framförallt sommarhalvåret. Ett ökande kylbehov möts endast av ett värmebehov från TVV, som är betydligt lägre i storlek, vilket innebär att en större andel spets krävs för att tillgodose kylbehovet under sommarens varmaste dagar. För att öka andelen lokaler i ett byggnadsbestånd med mycket bostäder, likt fall 2, bör ett projekt således vara medveten om att det kommer krävas mer el för att tillgodose toppeffekter för kyla, om inte ett mötande värmebehov i byggnadsbeståndet även inkluderas. Hur värme- och kylbehov möts i lastprofiler blir således en viktig parameter att ta hänsyn till för att få en effektiv energiåtervinning och därmed bättre energiprestanda vid sammankoppling i en gemensam energicentral. För att förbättra energidelningen ytterligare bör byggnader med mer mötande lastprofiler i värme- och kylbehov under årets alla timmar sammankopplas. Detta resonemang stärks även av resultatet från när en matbutik inkluderas i byggnadsbeståndet med en gemensam energicentral, där energiprestandan förbättrades från 14,43 kWh/m² i fall 1 till 12,93 kWh/m² i fall 3. Då möts det relativt konstanta värmebehovet från TVV av ett konstant kylbehov under hela året, vilket möjliggör synergier mellan delsystemen under årets samtliga timmar.

Ett viktigt resultat som erhöles från modellen är hur den återvunna energin i VVX1 skapar möjlighet till förbättrad energiprestanda för kylsystemet. Exempelvis visade energiåtervinningen i VVX1 för fall 2 en överföring om 190 kW under enstaka timmar av sommarhalvåret. I kombination med frikyla från geoenergilagret blev det tydligt att kylsystemet var det delsystem som i energiprestanda förbättras mest i samtliga fall. Eftersom alla fall hade ett totalt sett större värmebehov än kylbehov fanns tillgänglig återvunnen energi för kylsystemet under fler timmar av året, vilket kan ha möjliggjort att återvinningen kunde gynnas bättre i kylsystemet. Det konstanta energibehovet för TVV under sommarhalvåret, när kylbehovet är som störst, spelar en viktig roll i detta resultat

då det är främst under sommaren effektöverföring varit möjlig i värmeväxlarna. Detta blev även tydligt i fall 2 där värmebehovet av TVV på sommaren spelade en stor roll för att möta det ökade kylbehovet från lokalerna, vilket möjliggjorde överföring på 190 kW i VVX1.

Dimensionering av borrhål är ett exempel på en känslig parameter som kan påverka värme- och kylsystemets temperaturer långsiktigt. Därför undersöktes hur dimensionering av antal borrhål påverkar systemet ur ett längre perspektiv på 20 år i stället för ett år. Resultatet visade att samtliga fall var korrekt dimensionerade för att klara av eftersträvarde temperaturer ner i och upp från borrhålen, vilket därmed visar att antalet borrhål inte har påverkat resultatet av energiprestandan på ett felaktigt sätt i studien. Under studiens gång har det varit tydligt hur uppbyggandet av studiens modell krävt samarbeten mellan kunskapsområden, exempelvis geoenergi, energi, miljö och VVS. Detta tyder på att ett gränsöverskridande samarbete mellan kunskapsområden krävs för att realisera ett energisystem likt studiens energicentral.

Känslighetsanalysen ämnade framförallt att undersöka hur känslig modellen är för simulering över flera år. När geoenergilagrar används i ett system för energidelning är det viktigt att kunna simulera över längre tidsperioder på grund av att borrhål i en geoenergianläggning är en komplex typ av förnyelsebar energi. För att försäkra sig om att ett byggnadsbestånd har väl dimensionerade och ett stabilt energilagrar krävs simuleringar över 10 till 20 år. Utöver resultatet att studiens borrhål visas vara väl dimensionerade, visar det även att studiens modell klarar av att genomföra simuleringar över en sådan tidsperiod. Modellen klarar simuleringar om minst 20 år, där tiden för en sådan simulering är mycket kort i jämförelse om samma studie skulle genomföras i IDA ICE Building. Detta påvisar fördelen med att arbeta i modulen IDA ICE Advanced level only system med dess möjlighet till kortare simuleringstider. Att simulera ett liknande komplext system för dessa byggnadsbestånd i IDA ICE Building under en tidsperiod om 20 år skulle resultera i ohanterligt långa simuleringstider. Med hjälp av studiens modell blir det möjligt för konsulter inom branschen att undersöka olika metodval i ett system för energidelning. Exempelvis hur inställningar i borrhålen kan förbättra energicentralen eller hur sammansättningen av ett byggnadsbestånd påverkar geoenergilagrets stabilitet.

Från känslighetsanalysen är det även tydligt att det finns andra fördelar än en förbättrad energiprestanda mellan respektive falls sammansättning av byggnadsbestånd. Dimensionering av antal borrhål för respektive fall korregerades jämfört med den teoretiskt beräknade för att upprätthålla energibalans i marken. Detta visar på komplexiteten av att dimensionera borrhål. För det sista fallet, med en större kyllast i energisystemet, blir det också möjligt att sänka antalet borrhål i den gemensamma energicentralen och ändå upprätthålla ett stabilt borrhållager. Detta resulterar i omfattande investeringsbesparingar för byggnadsbeståndets fastighetsägare. Investeringar som krävs för att bygga ett system för energidelning med geoenergi från en geoenergianläggning är stora och resultatet visar därmed att vissa typer av sammansättningar av byggnader kan sänka investeringarna. Detta resulterar i att det

utöver energimässiga incitament också finns stora ekonomiska incitament till att undersöka hur byggnadsbestånden borde sammansättas. Detta kan bidra till att fler fastighetsägare ser potentialen i ett system för energidelning med en gemensam energicentral från en geoenergianläggning.

5.2 Modellens potential

Den främsta fördelen att simulera energicentralen i den modell som tagits fram är dess korta simuleringstider. Att använda modulen IDA ICE Advanced level only system tar bort stora delar av den komplexitet som byggnader innehåller och besparar således användaren tid. Detta resulterar i att många fler simuleringar kan genomföras för respektive byggnadsbestånd. Utöver fördelen i tidsbesparing kan modellen även simulera systemet frikopplat från byggnaderna, vilket innebär att det går att enkelt ändra beståndets uppsättning utan att behöva inkludera faktiska byggnader. Detta gör det möjligt att lägga till byggnader i etapper, vilket är en vanlig metod vid uppbyggnad av ett byggnadsbestånd med en gemensam energicentral. Ytterligare en fördel med studiens modell är hur det blir möjligt att utvärdera tekniska komponenter mer specifikt, exempelvis värmepumparnas inställningar eller pumparnas funktion. En sådan fördel kan nyttjas för att jämföra olika val av tekniska komponenter för framtidens uppvärmning- och kylsystem för att således lyckas ta fram det bästa alternativet för ett planerat byggnadsprojekt.

I och med att modellen är ett första utkast på hur en gemensam energicentral kan utvecklas i IDA ICE Advanced only system, finns potential i att uppdatera modellen till en förbättrad version. I samtliga fall visar resultatet av att sammankoppla byggnaderna i en gemensam energicentral på en försämrad energiprestanda för uppvärmningssystemet. Detta antas bero på en inställning i modellens värmepumpar som gör att värmepumparna för uppvärmning och TVV inte gynnas som förväntat av en temperaturökning i värmesystemets framledning. Temperaturökningen har som beskrivet skett genom energiåtervinning och effektöverföring i VVX1. För att förstå potentialen i att erhålla högre temperatur i ledningen in till värmepumparna i modellen, och förbättra uppvärmningssystemet energiprestanda, behöver en tydligare utvärdering av värmepumparnas funktion kopplat till driftförhållanden genomföras. En högre temperatur i ledningen in till värmepumparna förväntas sänka elanvändningen, då eftersträvad temperatur ut från värmepumpen ska uppnås med mindre arbete från värmepumparna. Detta borde i sin tur också förbättrat energiprestandan för värmesystemet.

Då värmebehovet främst utgörs av TVV under sommarhalvåret, då effektöverföring från VVX1 är som störst, borde en förbättrad energiprestanda i TVV-systemet för byggnadsbestånd med gemensam energicentral också ske i samtliga fall jämfört med att använda egna energicentraler. Det sker en liten förbättring av energiprestandan av TVV när andelen kylbehov ökar, 0,3 kWh/m² och 0,2 kWh/m² i fall 2 respektive fall 3, vilket påvisar att energiåtervinning genom VVX1 har en något förbättrande effekt på värmepumpen kopplad till TVV-systemet. Energiåtervinning från en konstant kyllast, likt i fall 3, sker genom VVX1 enligt förväntat under årets alla timmar. Energiprestanda i

både uppvärmning- och TVV-systemet borde således kunna förbättras av att sammankoppla byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral. Att detta inte är fallet kan bero på att TVV-systemets ledningar kan ha prioriterats av värmen från energiåtervinning framför uppvärmningssystemets ledningar. Detta kan bero på komplexiteten i hur IDA ICE Advanced level only system hanterar flöden mellan värmepumpar och kylmaskiner, vilket studiens modell inte har en implementerad styrning för. Exempelvis krävdes en mer komplex styrning av kylsystemets kylmaskin för att flöden från frikyla skulle prioriteras framför kylproduktion i kylmaskinen. Oavsett om detta är grundorsaken eller inte, borde en hantering av flöden till delsystemen kontrolleras i modellen. En sådan styrning skulle kunna korrigera detta fel så att hela värmesystemet gynnas av energiåtervinning om det finns ett simultant mötande energibehov från kylsystemet. Från detta resultat och denna insikt kan även diskussioner föras gällande huruvida det är fördelaktigt att prioritera återvunnen energi till TVV-systemet eller uppvärmningssystemet för att förbättra den totala energiprestandan maximalt.

Bristen på styrning är främst påtaglig i energicentralens VVX2, vars funktion är att kyla ner kylsystemets framledning genom energiåtervinning från värmesystemets returledning. I studiens samtliga fall ses att värmeväxlaren överför effekt i motsatt riktning under flera timmar av året. Under dessa timmar ökar således temperaturen till kylsystemets framledning i stället för att sänkas. Detta beror på att returledningen från värmesystemet värmer upp kylsystemets framledning vilket beror på att temperaturen i värmesystemets returledning är högre än temperaturen från borrhålen in i värmeväxlaren. Under dessa perioder, där temperaturen i värmesystemets returledning är högre än temperaturen upp från borrhålen, bör returledningen från värmesystemet kopplas förbi värmeväxlaren. En sådan styrning skulle begränsa värmeväxlaren från att överföra effekt i motsatt riktning i studiens modell. Problematik med styrning i modellens olika delar har varit genomgående vid framställandet av modellen. Men resultaten från värmeväxlarnas funktion påvisar också hur viktigt det är att få till en fungerande styrning över VVX1 och VVX2. När sådana styrningar inte införs erhålls ett sämre resultat än nödvändigt och förväntat där den verkliga potentialen i att använda energidelning med en geoenergianläggning kan bli förbisedd.

En observation från studiens erhållna resultat är att COP_{system} är lägre i samtliga fall jämfört med det planerade COP-värdet för Embassy of Sharing. Hur Embassy of Sharing beräknat sitt COP för hela systemet är inte helt tydligt men det ger ändå studien en fingervisning på vad ett förväntat resultat från ett liknande system för energidelning med geoenergi ska kunna uppnå. Studiens lägre COP_{system} kan förklaras av en avsaknad från förnyelsebar teknik i form av solceller som Embassy of Sharing använder sig av, men också genom redan nämnda brister i styrningen av värmeväxlarna. För att förbättra potentialen i studiens energicentral och göra energicentralen till ett försvarbart alternativ till kommersiella uppvärmning- och kylsystem krävs en högre verkningsgrad för systemet. Eftersom energicentralen använder el som främsta energikälla, där elnätet redan är belastat, vore det en god idé att följa Embassy of Sharings linje och installera andra förnyelsebara energikällor som kan sänka andelen köpt el till energicentralen. Exempelvis

skulle det vara en god idé att installera en solcellsanläggning i byggnadsbeståndet. På så vis kan andelen köpt el i hela uppvärmning- och kylsystemet sänkas och verkningsgraden hos systemet förbättras. Solceller kan således bidra till att delvis möta energicentralens elförbrukning. Det vore även intressant att undersöka möjligheterna till att implementera solfångare i energicentralen. Solfångare kan exempelvis förvärma framledningen till värmesystemet och därigenom sänka elförbrukningen i värmepumparna. En ytterligare förbättring som skulle kunna sänka elanvändningen i energicentralen vore genom att implementera flera ackumulatortankar som lager. Exempelvis kan både lagring i byggnaderna och energicentralen vara aktuell för att sänka topplasterna i systemet. Om topplasterna delvis kan mötas av ett energilager sjunker behovet av spetsproduktion och därigenom förbättras systemets COP_{system} .

5.3 Teknikens utmaningar och möjligheter

En påtaglig utmaning för energidelning är hur den nya tekniken saknar verkliga projekt i drift att dra lärdom från. Det blir svårt att avgöra vilken uppbyggnad av rörsystem som är mest fördelaktig att applicera för att nå en hög verkningsgrad i olika projekt, när det saknas projekt att jämföra med. Detta ställer krav på företag inom branschen att samarbeta för att påskynda teknikutvecklingen inom framtidens uppvärmning- och kylsystem. Det blir en fråga för företagen att antingen ta patent på egen framtagen teknik eller att vara transparent och dela med sig av sin kunskap för att främja innovationsutveckling och stötta ett accelererande tekniksprång inom branschen. Det är således fördelaktigt att utveckla en samlingsplats i form av en kunskapshubb via exempelvis en intresseorganisation som samordnar branschens aktörer, stora som små, för att möjliggöra och förenkla kunskapsutbyten. Utifrån studiens litteraturstudie skulle exempel på aktörer i organisationen kunna vara representanter från E.ON, med kunskap om tvårörssystemet Ectogrid och vilka utmaningar, möjligheter samt lärdomar som går att dra nytta av från deras teknik som idag är i drift. Representanter från Midroc Properties AB och Bengt Dahlgren AB med kunskap om systemet för energidelning med en geoenergianläggning i Embassy of Sharing, skulle likväl vara viktiga aktörer i en sådan intresseorganisation. De innehar viktig erfarenhet om hur ett fyrrörssystem i projekteringsfas för ett system av energidelning fungerar. Företag verksamma inom samhällsbyggnad och energibranschen, intresserade av framtidens uppvärmnings-, och kylsystem, skulle gynnas av ett kunskapsutbyte mellan varandra. Samlingsplatsen möjliggör även en plattform för att skapa ett gemensamt påverkansarbete gällande de nödvändiga juridiska förändringar och incitament som krävs för att stötta teknikens framväxt på uppvärmnings- och kylmarknaden.

Ett nytt system för energidelning ställer krav på att samarbeten mellan discipliner och samhällsaktörer fungerar, både under projektets planering, utförande och när projektet är i drift. Implementering av ny teknik kräver att samtliga aktörer i projektet, exempelvis arkitekter, installatörer och samordnare, har en tydlig kommunikationsplan mellan varandra. Det är väsentligt att alla blir medvetna om de förändringar en ny teknik innebär i arbetsgången jämfört med hur processen sett ut tidigare i mer traditionella projekt. Det

blir intressant att se om nya typer av närmare relationer kan utvecklas när energianvändningen hos en aktör indirekt påverkar en annan ansluten aktör när de agerar likt en prosument. Fastighetsägare behöver exempelvis förhålla sig till hur energianvändningen mellan byggnaderna delas i stället för att enbart ansvara för sin egen byggnads energianvändning, vilket kan ge upphov till en ökad dialog och kunskapsutbyte mellan aktörer som vanligtvis inte möts. På samma sätt kan införandet av lokala valutor i dessa kvarter med system för energidelning, likt Embassy of Sharing, leda till närmare relationer och en större samhörighetskänsla mellan privatpersoner och företag. En cirkulär lösning likt ett system för energidelning, där resurser används effektivt och i en delningsekonomi, kan skapa en ökad medvetenhet gällande den individuella energianvändningen för anslutna företag och privatpersoner. En ökad medvetenhet om sin energiförbrukning kan därefter leda till ett förändrat beteende i energianvändning vilket kan resultera i ett totalt sett sänkt energibehov.

Samtidigt som en delningsekonomi öppnar upp möjligheter för nya samarbeten ökar beroendet mellan aktörerna, vilket leder till ett system som är känsligt mot förändringar. Trots att respektive byggnad i ett system för energidelning ofta är planerad för att kunna agera självförsörjande energimässigt, påverkas systemets energianvändning vid en förändring av en lastprofil. För att skapa ett mer tillförlitligt system kan en sammankoppling av flera byggnadsbestånd vara en lösning. Detta går i linje med hur aktörer inom branschen tror att framtidens energisystem kommer baseras på fler små energiproducenter som samverkar i ett mer maskat energinät, likt internets struktur idag. Energisystemet behöver i så fall frångå dagens uppbyggnad av energiproduktion, som främst sker genom stora centrala energiproducenter. Detta skulle kunna minska fjärrvärmens naturliga monopol, då fler aktörer får möjlighet att expandera och konkurrensutsätta marknaden.

Genom att sammankoppla fler små energiproducenter kan ett tillfälligt avbrott i energiförsörjning kompenseras från produktion av en annan lokal aktör, där det maskade energinätet upprätthåller och säkerställer ett flöde av tillgänglig energi. En utmaning med denna typ av sammankoppling mellan byggnadsbestånd är hur de sammankopplade byggnadsbeståndens lastprofiler kräver en viss typ av balans i energibehov. Systemet för energidelning bygger på ett mötande värme- och kylbehov mellan byggnadsbeståndet, vilket vid sammankoppling av flera byggnadsbestånd resulterar i ett mer komplext nätverk att kontrollera och upprätthålla. Därmed kan det inom vissa områden uppstå en brist på en viss typ av energibehov, exempelvis brist på kapacitet av kylbehov, vilket skapar utmaningar i att finna en passande aktör för att balansera områdets lastprofil. Ett alternativ är att i stället koppla systemets spets till fjärrvärmenätet och nyttja fjärrvärmens resurser för att säkerställa topp effekter och bortfall av energiproduktion i systemet. Detta är ett populärt sätt för fastighetsägare och aktörer i branschen, men inte lika uppskattat av fjärrvärmeleverantörer då de måste bygga ut näten enbart för att tillgodose spetslasten några enstaka timmar per år.

Införandet av en gemensam energicentral påverkar dagens uppvärmnings- och kylmarknad i form av att denna teknik kräver mer el i förhållande till dagens fjärrvärme- och fjärrkylasystem. Att öka användningen av el till uppvärmning och kylning av byggnader är inte ett önskvärt resultat för dagens redan belastade elnät. Aktörer inom branschen argumenterar ändå för att tekniken är ett alternativ för uppvärmning- och kylning i byggnader, då lösningen har en mycket hög verkningsgrad. Tekniken kan nyttja direkta restenergier i en lokal lösning med korta distributionssträckor och tillgodose byggnaden med rätt inomhuskomfort. Systemet för energidelning kan även integrera förnyelsebara energikällor likt geoenergilagring och solceller. Mer centrala uppvärmning- och kylsystem, likt fjärrvärme- och fjärrkylasystem, kräver högre cirkulerande temperaturer på grund av längre distributionssträckor för att säkerställa byggnadens efterfrågade inomhuskomfort. Samtidigt ställer framtidens uppvärmning- och kylsystem krav på att branschen utvecklar nya mer hållbara affärsmodeller i linje med ett energisystem baserat på förnybara källor. Huruvida framtidens energisystem består av flera små lokala energiproducerande aktörer likt studiens system för energidelning, ett fåtal stora centrala energiproducerande aktörer likt dagens uppvärmning- och kylsystem, eller en blandning av dessa, återstår att se.

6. Slutsatser

Från studiens resultat och efterföljande diskussion går det att konstatera att samtliga undersökta byggnadsbestånd får en bättre energiprestanda vid sammankoppling i en gemensam energicentral. Energiprestandan förbättras med en, fyra, respektive sju procent för fall 1, 2 respektive 3. Verkningsgraden för systemet (COP_{system}) ökar vid sammankoppling av byggnadsbestånd i en gemensam energicentral i samtliga fall, vilket visar på effektivare energianvändning. COP_{system} förbättras marginellt i fall 1, i fall 2 förbättras COP_{system} med 0,2 och i fall 3 med 0,3. När det gäller studiens första frågeställning, gällande hur energiprestandan påverkas i ett byggnadsbestånd vid sammankoppling i en gemensam energicentral, är svaret att energiprestandan i ett byggnadsbestånd kan förbättras vid sammankoppling i en gemensam energicentral under förutsättningar att det finns ett mötande värme- och kylbehov.

Simuleringar med modellen visar på att när byggnadsbeståndet inkluderar en ökad kyllast i fall 2 och 3 förbättras energiprestandan i den gemensamma energicentralen. Utifrån studiens tre olika fall spelar således den ökande andelen kylbehov i fall 1 och 2 en viktig roll för att förbättra energiprestandan. Det blir främst tydligt vid jämförelse av fall 1 och fall 3. Tillägget av en matbutik resulterar i att den procentuella förbättringen av att sammankoppla byggnadsbeståndet i en gemensam energicentral går från en procent i fall 1 till sju procent i fall 3. När det gäller den andra frågeställningen, hur energiprestandan påverkas vid en förändring av ett byggnadsbestånds sammansättning, är svaret att energiprestandan påverkas vid en förändring av byggnadsbeståndets sammansättning. I studiens fall är det tydligt att ett ökat kylbehov i sammansättningen av byggnaderna ger möjlighet till energiåtervinning mellan värme- och kylsystemet samt möjlighet att nyttja frikyla från borrhål. Om ett bostadskvarter ska sammankopplas i en gemensam energicentral är det således lämpligt att undersöka potentialen och möjligheterna i att inkludera ett ökat kylbehov för att möta ett överskott av värmebehov, som är störst under vinterhalvåret från våra bostäder.

När det gäller den tredje frågeställningen, om vilka utmaningar och möjligheter som kan identifieras vid realisering av ett system för energidelning likt studiens energicentral, är svaret mer komplext. Det är tydligt att ett nytt system för energidelning står inför stora tekniska utmaningar i hur uppbyggandet av tekniken ska se ut för att förbättra verkningsgraden av systemet till kommersiell drift. I fallet Embassy of Sharing är det exempelvis fortsatt osäkert vilken verkningsgrad (COP) projektet kommer att landa i, då det är svårt att förutse hur energisystemet kommer att fungera i drift. Genom att utveckla en intresseorganisation med representanter från verksamma aktörer inom uppvärmnings- och kylmarknaden kan kunskapsgapet om hur den nya tekniken fungerar minska, speciellt bristen av kunskap om hur tekniken fungerar i drift. En sådan plattform skulle öppna upp möjligheten till kunskapsutbyte och innovation om hur tekniken kan förbättras, vilket kan påskynda utvecklingen för tekniken och stärka dess marknadsposition på uppvärmnings- och kylmarknaden. Hur övergången från en centraliserad produktionsstruktur kan gå mot ett mer decentraliserat system med fler små aktörer kräver även ett förändrat tankesätt

kring hur dagens traditionella energilösningar för uppvärmning och kylning i byggnader kan komma att förändras. En viktig aspekt och utmaning blir således att branschen som helhet behöver vara öppen för ny teknik och att samtliga aktörer, stora som små, samverkar med varandra för att synergier ska uppstå mellan varandra och skapa energieffektiva lösningar i ett smart energisystem.

Studiens modell är ett första steg i att utveckla en tidseffektiv lösning i IDA ICE Advanced level only system som kan analysera energiprestandan för ett sammankopplat byggnadsbestånd i en gemensam energicentral. Det finns rum för förbättringsåtgärder, framför allt gällande hur energiåtervinningen i värmeväxlarna styrs och värmepumparnas egenskaper. Trots att resultaten inte visar revolutionerande förbättringar i energiprestanda, visar ändå studiens modell på att byggnadsbestånd kan spara energi genom att sammankoppla byggnader i en gemensam energicentral. Om styrningen av modellens värmeväxlare samt hur energiåtervinning fördelas mellan delsystemen utvecklas vidare kan energiprestandan för respektive fall troligtvis förbättras i den gemensamma energicentralen. Modellen ger användaren tillgång till att enkelt justera energicentralens tekniska komponenter och anpassa energicentralen efter olika driftfall, exempelvis inställningar i systemets värmepumpar, utan att behöva hantera långa simuleringstider. Studiens modell är ett efterfrågat verktyg inom branschen och kan vara ett första steg mot ett tillförlitligt verktyg för att utvärdera potentialen i framtidens uppvärmning- och kylsystem.

7. Rekommendationer till framtida studier

Förhoppningen med studiens framtagna modell är att utveckla ett verktyg som kan analysera energivinster från att sammankoppla byggnader i en gemensam energicentral. Förhoppningen är även att modellen ska kunna utvecklas vidare och ligga till grund för att öka kunskapen om energidelning mellan byggnader. Det vore intressant att optimera modellens värmeväxlare och studera resultatet av hur energiåtervinningen förändras, och hur en förbättrad styrning i värmeväxlingen påverkar energiprestandan. Det vore också intressant att integrera tillgång till förnyelsebara energikällor likt solceller och solfångare i modellen för att undersöka deras potential i ett system med energidelning.

Studiens energicentral bygger på ett fyrarörssystem och liknar det projekterade projektet Embassy of Sharing. En modell med ett annat typ av rörssystem, exempelvis tvårörssystem, vore intressant att jämföra med studiens modell och därmed studera vilken energiprestanda energicentralen erhåller vid andra val av systemuppbyggnad. Detta skulle kunna bidra med kunskap till branschen om vilken typ av uppbyggnad som kan ge högst verkningsgrad för systemet och bäst energiprestanda.

Under studien har en beta-version av IDA ICE publicerats, IDA ICE 5. I denna finns bland annat inställningar för att en byggnad ska kunna agera som prosument, men också flera nya verktyg för att hantera intermittent kraft. Det har också nämnts under en webbföreläsning med EQUA under 2021 att dubbelriktade flöden ska vara möjliga att implementera i modellerna vilket helt går i linje med tekniken presenterad gällande 5GDHC. Det är således intressant att undersöka de nya implementeringarna som tagits fram i den nya versionen av IDA ICE kopplat till studiens modell. Då kan potentiella verktyg, applicerbara till studiens energicentral, undersökas för att se om modellen kan förbättras eller förenklas.

Det blev tydligt hur balansen mellan värme- och kylbehov i byggnadsbeståndens lastprofiler påverkar energiprestandan och möjligheten till energiåtervinning. Att undersöka ytterligare fall av olika sammansättningar av lastprofiler i byggnadsbestånd skulle öka kunskapen om vilka byggnader som har bäst förutsättningar att förbättra sin energiprestanda genom att sammankopplas i en gemensam energicentral. Detta skulle även kunna påvisa hur vissa sammansättningar av byggnadsbestånd kräver andra typer av lösningar. Det vore således intressant att undersöka hur ett system för energidelning påverkas av olika typer av bostäder: hyresrätter, bostadsrätter och studentlägenheter, eller olika typer av lokaler: gym, hotell, skolor, simhallar, ishallar och lagerlokaler. Att undersöka vilken sammansättning av byggnader som är optimal i olika miljöer och vore därför intressant att studera.

Referenser

Artiklar & rapporter

- Biggar, D. & Glachant, M. & Söderberg, M. (2018), Monopoly regulation when customers need to make sunk investments: evidence from the Swedish district heating sector. *Journal of Regulatory Economics*. Volym 54. Sidor: 14-40.
- Boesten, S. & Ivens, W. & Dekker, SC. & Eijdemset, H. (2019), 5th generation district heating and cooling systems as a solution for renewable urban thermal energy supply. *Advances in Geosciences*. Volym 49. Sidor: 129-136.
- Boverket. (2016), Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd. Tillgänglig för Nedladdning: <<https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>> [Hämtad: 2021-04-06].
- Buffa, S. & Cozzini, M. & D'Antoni, M & Baratieri, M. & Fedrizzi, R. (2019), 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing cases in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volym 104. Sidor: 504-522.
- Bünning, F. & Wetter, M. & Fuchs, M. & Müller, D. (2018), Bidirectional low temperature district energy systems with agent-based control - Performance comparison and operation optimization. *Applied Energy*. Volym 209. Sidor: 502-515.
- Dilley, P. (2000), Conducting Successful Interviews: Tips for Intrepid Research. *Theory Into Practice*. Volym 39 (3). Sidor: 131-137.
- Energimyndigheten. (2020b), Energiläget 2020. ET 2020:1. Arkitektkopia, Bromma, Sverige.
- Erlström, M. & Mellqvist, C. & Schwarz, G. & Gustafsson, M. & Dahlqvist, P. (2016), Geologisk information för geoenergianläggningar - en översikt, Uppsala: SGU - Sveriges Geologiska Undersökning.
- EU. (2011), 2020-2030-2050, common vision for the renewable heating and cooling sector in Europe - European technology platform on renewable heating and cooling. Tillgänglig för nedladdning: <<https://op.europa.eu/s/oUaP>> [Hämtad: 2020-04-07].
- Europaparlamentets och rådets direktiv. 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda (omarbetning).
- Europaparlamentets och rådets direktiv. 2012/27/EU av den 25 oktober 2012 om energieffektivitet, om ändring av direktiven 2009/125/EG och 2010/30/EU och om upphävande av direktiven 2004/8/EG och 2006/32/EG.
- GlobalABC & IEA & UNEP. (2019), 2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.

- IEA ECES. (2020), "Quality Management in Design, Construction and Operation of Borehole Systems", [Reuss m.fl., ZAE Bayern], IEA Technology Collaboration Programme on Energy Conservation through Energy Storage.
- Jangsten, M. & Filipsson, P. & Lindholm, T. & Dalenbäck, J-O. (2020), High Temperature District Cooling - Challenges and Possibilities Based on an Existing District Cooling System and its Connected Buildings. *Energy*. Volym 199, 117407.
- Lund H. & Werner, S. & Wiltshire, R. & Svendsen, S. & Thorsen, JE. & Hvelplund, F. & Vad Mathiesenet, B. (2014), 4th Generation District Heating (4GDH) - Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. Volym 68. Sidor: 1-11.
- Rohde, D. & Andresen, T. & Nord, N. (2018), Analysis of an integrated heating and cooling system for a building complex with focus on long-term thermal storage. *Applied Thermal Engineering*. Volym 145. Sidor: 791-803.
- UN. A/RES/70/1. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.
- Werner, S. (2017a), District heating and cooling in Sweden. *Energy*. Volym 126. Sidor: 419-429.
- Werner, S. (2017b), International review of district heating and cooling. *Energy*. Volym 137. Sidor: 617-631.

Böcker

- Karlsen, RW, & Pettyfer, MA. (2011), *Monopolies: Theory, Effectiveness and Regulation: Theory, Effectiveness and Regulation*, Nova Science Publishers, Incorporated, Hauppauge.
- UNEP. (2015), *District energy in cities - Unlocking the Potential of Energy Efficiency and Renewable Energy*. [E-bok] Tillgänglig för nedladdning: <<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9317>> [Hämtad: 2021-04-07].
- Warfvinge, C. & Dahlblom, M. (2010), *Projektering av VVS-installationer*. Upplaga 1:3. Studentlitteratur AB, Lund.

Internet

- Boverket. (2021), Beräkning av byggnadens energiprestanda. Tillgänglig på: <<https://www.boverket.se/sv/energideklaration/for-energiexperter/berakning-av-byggnadens-energianvandning/>> [Hämtad 2021-04-29].
- Ectogrid. (u.å.), The ectogrid technology. Tillgänglig på: <<http://ectogrid.com/business-customer/>> [Hämtad: 2021-03-08].

- Energimyndigheten. (2020a), Nära-nollenergibyggnader. Tillgänglig på:
<<https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/program-och-uppdrag/nara-nollenergibyggnader/>> [Hämtad: 2021-05-04].
- E.ON. (2021) Det är dags att börja dela energi – för en hållbar stad. Tillgänglig på:
<<https://www.eon.se/om-e-on/innovation/ectogrid>> [Hämtad: 2021-05-10].
- EQUA. (u.å), IDA Indoor Climate and Energy. Tillgänglig på:
<<https://www.equa.se/en/ida-ice>> [Hämtad: 2021-03-22].
- Midroc. (u.å.), En hållbar helhet. Tillgänglig på:
<<https://www.midroc.se/properties/stadsdelsutveckling/embassy-of-sharing/fastigheterna>> [Hämtad: 2021-03-08].

Statistik

- Energimyndigheten. (2020c), Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler.
[Excel] Tillgänglig för nedladdning:
<<https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-smahus-flerbostadshus-och-lokaler/>>
[Hämtad: 2021-04-07].
- SCB. (2021), Bygglov för nybyggnad efter region, hustyp, tabellinnehåll och kvartal.
[Excel] Tillgänglig för nedladdning:
<<https://www.statistikdatabasen.scb.se/sq/107107>> [Hämtad: 2021-04-21].

Intervjuer

- Jay, A. (2021), Energi- och miljökonsult på Bengt Dahlgren Syd AB.
- Sjöqvist, R. (2021), Teknisk chef på Midroc Properties AB.
- Trumstedt, C. (2021), Projektledare på Bengt Dahlgren Syd AB.

Bilagor

Bilaga A – Byggnadernas egenskaper

Tabell 4. Specifikationer om fallens byggnader, deras yta, energibehov och energiprestanda.

Fall	Byggnad	A _{temp} [m ²]	Energibehov [MWh]	Energiprestanda [kWh/m ²]
Fall 1	Bostäder	34 000	1 632	48
	Lokaler	6 000	222	37
Fall 2	Bostäder	20 000	960	48
	Lokaler	20 000	740	37
Fall 3	Bostäder	34 000	1 632	48
	Lokaler	6 000	222	37
	Matbutik	10 000	1 049	105

Bilaga B - Intervjufrågor - Antoine Jay

Respondent: Antoine Jay - Energi- och Miljökonsult på Bengt Dahlgren Syd AB

Plats; datum; tid: Via Teams; 2021-03-03; 13:30-14:30 (1h)

Syfte: Öka förståelsen för nuvarande projekt inom energidelning mellan byggnader och framförallt för de tekniska aspekterna i projektet Embassy of Sharing.

Info och inledning:

Tack för att vi får låna din tid, Vi heter Ida Adolfsson och Kristin Boman. Vi skriver vårt examensarbete på Bengt Dahlgren Stockholm AB - Energiavdelningen.

- Kontrollera tidslängden på intervjun.
- Kontrollera tillåtelse att använda insamlat material från intervjun i rapporten.
- Kontrollera vilket övrigt material vi tillhandahållit, eller kan erhålla som får användas i rapporten, utan sekretess.

Kan du berätta lite mer om dig själv?

Om oss

- IDA ICE - tar fram en modell som effektivt analyserar hur energi delas mellan byggnader
 - Utnyttja värme/kyla i returflödet likt GEDS
- IDA ICE Advanced level only system
 - Arbetar frikopplat från byggnaden pga mindre tidskrävande simuleringar
- Jämförelse med GEDS och de flödesscheman vi sett:
 - Vi studerar snarare flödena mellan byggnader än inuti byggnaden
 - Inkluderar geotermisk energilagring i form av borrhål
 - Vi diskuterar potentiella energivinster med gemensamma energicentraler.

Bakgrund

- Du var ansvarig för energifrågor i GEDS, vad har det inneburit i praktiken?
- Vid vilken fas kom ni in i projektet?
 - Ex. när lastprofilerna skulle projekteras?
 - Ex. Hur bestämdes vilka verksamheter som skulle balansera systemet?
 - Ex. Vilka möjligheter hade ni att påverka planerna?

System

Vi har läst mycket om framtidens uppvärmning- och kylsystem som decentraliserade lösningar.

- 4GDHC - Lägre framledningstemperaturer & 5GDHC - Dubbelriktat flödessystem.
- Är du bekant med dessa?
 - Vad var er vision med systemet?
 - Ex. Anledningen till fyrarörssystem mellan byggnaderna.
 - Ex. Val av framledningstemp
 - Ex. Val av energibrunnar i form av energilagring
- Hur har ni resonerat gällande decentraliserade vs centraliserade system?
 - Varför valdes GEDS framför Fjärrvärme/fjärrkyla?
 - Vad ser du är fördelarna med en mer lokal lösning likt detta projekt?
 - Hade ni diskussioner gällande 5GDHC eller Ectogrid under projektets gång?
 - Fördelar/nackdelar?
- Hur har de olika lastprofilerna planerats i systemet?

- Har effektbehovsberäkningar genomförts?
- Är systemet känsligt för förändring?
 - Ex. Om en byggnad med stor andel kylbehov försvinner - Hur påverkas balansen i systemet?
 - Hur arbetar ni med risker likt dessa?
- Hur påverkas området runt Embassy of sharing, av denna typ av systemlösning?
 - Ex. Finns det möjlighet för omkringliggande verksamheter att koppla upp sig på systemet på något sätt och nyttja ert system?

Metod - IDA ICE

- Ni använde inte IDA ICE, vad använde ni för program?
 - Varför använde ni inte IDA ICE?
 - Har ni övervägt detta?
 - Saknar ni något i programmet?

Avslutning

- Om du skulle få sammanfatta vad som varit/är den/de största utmaningen/utmaningarna som du haft i detta projekt, vilken/vilka skulle det vara?
- Hur ser liknande systemlösningar för uppvärmning/kylning ut på marknaden?
 - Ex. Ser du de växa/minska i framtiden?
- Känner du att du vill tillägga något gällande det vi samtalat om?
- Uppföljande mail vid frågor?

Tack så mycket för att du tog dig tid att prata med oss!

Bilaga C - Intervjufrågor – Christer Trumstedt

Respondent: Christer Trumstedt, Projektledare för Embassy of Sharing, Bengt Dahlgren Syd AB

Plats; datum; tid: Via Teams; 2021-03-23; 13:00-13:30 (0,5h)

Syfte: Öka förståelsen för nuvarande projekt inom energidelning mellan byggnader, utmaningar i projekt likt Embassy of Sharing, samt dess förutsättningar att utvecklas i dagens samhälle.

Info och inledning

Tack för att vi får låna din tid, Vi heter Ida Adolfsson och Kristin Boman. Vi skriver vårt examensarbete på Bengt Dahlgren Stockholm AB - Energiavdelningen.

- Kontrollera tidslängden på intervjun.
- Kontrollera tillåtelse att använda insamlat material från intervjun i rapporten.

Om oss

- IDA ICE - tar fram en modell som effektivt analyserar hur energi delas mellan byggnader
 - Utnyttja värme/kyla i returflödet likt GEDS
- IDA ICE Advanced level only system
 - Arbetar frikopplat från byggnaden pga mindre tidskrävande simuleringar

Bakgrund

- Vi vet att du är projektledare för projektet GEDS i Embassy of Sharing, vill du berätta lite mer om dig själv och vad din roll i projektet innebär?

Erfarenheter och aktörer

Från tidigare intervju fick vi höra mer om de tekniska aspekterna, men också om kommunikation och samarbeten mellan aktörer.

- Hur sker kommunikation mellan aktörer och hur fungerar nya samarbeten mellan olika aktörer och discipliner i ett system som GEDS?
- Kan du beskriva hur ett samarbete mellan olika aktörer fungerar för att realisera ett sådant här projekt?
 - Som projektledare, vilka aktörer har du arbetat nära med?
 - Ex. Jurister? Ingenjörer? Arkitekter?
 - Ex. Vilka andra aktörer, har haft delaktighet i projektet?
 - Finns det nya samarbeten, för dig, mellan aktörer i detta projekt?
 - För dig som projektledare, vad har varit eller är utmaningarna gällande att skapa en samverkan mellan aktörer och discipliner?
 - Ex. Har det funnits något extra utmanande samarbete?
 - Ex: tidskrävande, kommunikation, ekonomiska begränsningar?
 - Hur har de tekniska utmaningarna varit i projektet?

Lagar och regler

- Hur påverkas inblandade aktörer av dagens lagstiftning?
 - Ex. Har detta inneburit hinder för projektet?
 - Ex. Hur gör fastighetsägare gällande fakturering av energi mellan varandra?
 - Ex. Har du stött på problem gällande hur BBR-krav inte sammanfallit med systemets uppbyggnad?
- Vi har läst att system lik GEDS, framtidens uppvärmnings- och kylsystem, bygger på att fastighetsägaren både producerar och konsumerar energi - en så kallad prosument

- Hur reflekterar du kring detta resonemang?
- Hur påverkas inblandade aktörer av rollen som prosument?
 - Ex. Blir aktörer mer delaktiga i energifrågor?
 - Ex. Blir aktörer mer medvetna om sin energiförbrukning?
 - Ex. Förändras fastighetsägares vanor?
- Hur många fastighetsägare kommer finnas i systemet?

System

- Hur kan framtidens energisystem påverkas av mindre systemlösningar?
 - Ex. Jämförelsevis med fjärrvärme (centraliserat)
- Hur har ni resonerat gällande decentraliserade vs centraliserade system?
 - Vilka fördelar och nackdelar ser du med en mer lokal lösning likt detta projekt?
 - Vad tänker du kring decentralisering rent generellt i samhället?
 - Vad tror du samhället gynnas av?
 - Vad gynnas en fastighetsägare av?
 - Varför valdes denna typ av systemlösning framför Fjärrvärme/fjärrkyla?
- Finns det en plan att skapa fler kvarter likt Embassy of Sharing, i närområdet för att kunna koppla samman dessa delsystem och därmed expandera systemet, mer storskaligt?
 - Vilka incitament finns för att göra en sådan systemlösning?
 - Ekonomiskt lönsamt?
- Vad behövs för att Embassy of Sharing ska bli ett mer “ normalt område ”?
 - Vilka utmaningar ser du i systemet?
- Ser du att det finns ett ökat intresse för liknande systemlösningar i på marknaden?
- Hur påverkas området runt Embassy of sharing, av denna typ av systemlösning?
 - Ex: Finns det möjlighet för omkringliggande verksamheter att koppla upp sig på systemet på något sätt och nyttja GEDS?

Avslutning

- Om du skulle få sammanfatta vad som varit/är den/de största utmaningen/utmaningarna som du haft i detta projekt, vilken/vilka skulle det vara?
- Känner du att du vill tillägga något gällande det vi samtalat om?
- Uppföljande mail vid frågor?

Tack så mycket för att du tog dig tid att prata med oss!

Bilaga D - Intervjufrågor – Rikard Sjöqvist

Respondent: Rikard Sjöqvist, Energi- miljö- och teknikchef på Midroc Properties AB i projektet Embassy of Sharing.

Plats; datum; tid: Via telefon; 2021-04-20; 9:00-9:45 (0,75h).

Syfte: Få en större inblick i projektets inblandade aktörer, förstå systemets utmaningar från Midroc sida samt GEDS förutsättningar att utvecklas i dagens samhälle.

Info och inledning

Tack för att vi får låna din tid, Vi heter Ida Adolfsson och Kristin Boman. Vi skriver vårt examensarbete på Bengt Dahlgren Stockholm AB - Energiavdelningen.

- Kontrollera tidslängden på intervjun.
- Kontrollera tillåtelse att använda insamlat material från intervjun i rapporten.

Om oss

Anledningen till att vi är intresserade av ert projekt tillsammans med Bengt Dahlgren, Embassy of Sharing, är för att vårt examensarbete behandlar ett väldigt likt energisystem. Vi arbetar i programmet IDA ICE - Utvecklar en modell som ska kunna analysera och utvärdera hur vi kan dela energi mellan byggnader

- Principen går ut på att nyttja värme och kyla från andra byggnader och även använda sig av geoenergi som säsongslagring - mycket likt ert system.

Bakgrund

- Vad skulle du säga är syftet, för er, med att skapa ett kvarter likt Embassy of Sharing?

Erfarenheter och aktörer

- Som teknisk chef för Midroc i detta projekt, vilka typer av aktörer samarbetar du tillsammans med?
 - Ex. Jurister, ingenjörer, kommun, byggherrar, arkitekter? BDAB?
 - Ex. Utöver de som du haft direkt kontakt med, vilka andra viktiga aktörer har varit delaktiga i projektet?
- Har du erfarenhet helt nya samarbeten mellan aktörer genom Embassy of Sharing?
 - Hur har kommunikationen då fungerat?
 - Vad anser du är utmanande gällande att skapa samverkan mellan olika aktörer i den roll du innehar?
 - Ex. Finns det något specifikt samarbete som varit extra utmanande?
- Vad är de största tekniska utmaningarna i projektet enligt dig?

Lagstiftning

Vi har förstått att det delvis krävs nya lagstiftningar och kontrakt för denna typ av lösning av energidelnings och hur fastighetsägare fakturerar energi mellan varandra.

- Har du märkt av detta?
 - Ex. att BBR-kraven inte är till denna typ av systems fördel
 - Ex. Har problem med lagstiftningen påverkat utvecklingen av EoS?
- Ser du några möjligheter eller hinder i hur inblandade aktörer löser fakturering av delad energi?

Vi har läst att liknande system, där energi delas mellan byggnader, bygger på att du som fastighetsägare av en byggnad både producerar, och samtidigt konsumerar energi - en så kallad prosumant

- Ser du att detta speglar sig något i Embassy of Sharing?

System

- Hur tror du samhället påverkas av mindre systemlösningar likt Embassy of Sharing och GEDS? - Jämförelsevis med fjärrvärme, mer storskaligt
 - Vad tänker du kring decentralisering i samhället?
 - Varför valdes denna typ av system framför ex. Fjärrvärme/fjärrkyla?
- Förutom att det erbjuds låga energikostnader i systemet, vilka mer incitament finns som visar på att detta är en del av framtidens uppvärmning- och kylsystem?
 - Ex. Ekonomiskt lönsamt? Miljövänligt?
- Hur ser du på intresset för liknande systemlösningar på marknaden?

Avslutning

- Om du skulle få sammanfatta vad som varit/är den/de största utmaningen/utmaningarna som du haft i detta projekt, vilken/vilka skulle det vara?
- Känner du att du vill tillägga något gällande det vi samtalat om?
- Uppföljande mail vid frågor?

Tack så mycket för att du tog dig tid att prata med oss!