

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Samverkan om framtida värme	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Heating interactions	
Universitet/högskola/företag Chalmers tekniska högskola	Avdelning/institution Energiteknik/Rymd- geo- och miljövetenskap
Adress Hörsalsv 7, 4 tr, 412 96 Göteborg	
Namn på projektledare Erik Ahlgren	
Namn på ev övriga projektdeltagare Karl Vilén, Hyunkyo Yu, Kushagra Gupta, Sujeetha Selvakkumaran	
Nyckelord: 5-7 st Värme, policy, fjärrvärme, individuella lösningar, system, modell, framtid	

Förord

Här ska stå vilka som har finansierat projekten samt andra som bidragit till ett lyckat projekt t ex referensgrupp.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten (4088 kSEK) och Avdelningen för energiteknik, Institutionen för rymd-, geo- och miljövetenskap, Chalmers tekniska högskola (454 kSEK).

Under projektets gång har värdefulla synpunkter inhämtats från olika källor och olika personer.

Innehållsförteckning

Nedan ligger en kod för innehållsförteckning. Förutsatt att du använder formatmallarna för rubriker så kommer rubrikerna automatiskt med i innehållsförteckningen när du klickar på förteckningen och trycker på F9.

Sammanfattning	2
Summary	Error! Bookmark not defined.
Inledning/Bakgrund	3
Genomförande	5
Resultat	6
Diskussion.....	9
Publikationslista.....	11
Referenser, källor.....	Error! Bookmark not defined.
Bilagor	11

Sammanfattning

Utgångspunkten för projektet var dels den planerade massiva utbyggnaden av bostäder i större och mellanstora städer i Sverige; städer där det idag redan finns fjärrvärmesystem, och värmens, värmesystemens och värmevalens roll för att vi ska kunna klara att uppnå de nationella klimatmålen så effektivt som möjligt. Projektet har haft sin grund i systemanalys och betraktat byggnaders energiprestanda och uppvärmning som en del av hela energisystemet. Projektet har vidare byggt på systemanalytiska, kvantitativa datormodeller som används för att studera kostnadseffektiva lösningar och konsekvenser av olika val givet hur omvärlden utvecklas.

För att nå målen för att minska klimatförändringarna måste användningen av fossila bränslen minskas och så småningom fasas ut inom alla sektorer. Eftersom värmesektorn har en central plats i energisystemen, särskilt i de nordiska länderna, interagerar (påverkas av och påverkar) den med andra energisektorer. Efterfrågan på rumsuppvärmning och varmvatten har traditionellt sett täckts av: fjärrvärmesystem, där byggnader är anslutna till kraftverk via ett nät; och installation av individuell värmeteknik i varje byggnad. Eftersom det finns flera uppvärmningslösningar att tillgå beror det sätt på vilket värmesystem kommer att utvecklas i framtiden när fossila bränslen fasas ut på flera faktorer som i dagsläget är osäkra.

Eftersom många komponenter i värmesystem har lång livslängd kommer de investeringar som görs inom en snar framtid att få långsiktiga effekter på utvecklingen av värmesystem. Det blir viktigt att förstå hur kostnadseffektiva investeringar på systemnivå beror på utfasning av fossila bränslen och andra faktorer. Därför har hur de olika delarna av värmesystem utvecklas i olika scenarier undersökts.

För att undersöka värmesystemsutveckling när både utbuds- och efterfrågesidan utvecklas samtidigt, har ett dynamiskt systemsynsätt använts för att undersöka den kostnadseffektiva utvecklingen av värmesystem i ett expanderade bostadsområde med blandade bostäder under flera decennier in i framtiden samt dess konsekvenser.

TIMES-modelleringsramverket har använts för beräkningarna och Göteborgs värmesystem använts som modellfall. Efterfrågesidan har behandlats heterogent genom att undersöka flera typer av nya bostäder, vilket gör att den sökta kostnadseffektiva lösningen kan bli olika för olika typer av boende (det finns knappast några sådana tidigare studier). Som en konsekvens av detta bedöms investeringskostnaden för nya fjärrvärme-nätanslutningar för varje bostadstyp individuellt.

Modelleringsresultaten visar att huvudeffekten av lokala klimatstyrmedel är minskade investeringar i nya naturgasvärmepannor på fjärrvärme-

försörjningssidan. Nya naturgasvärmepannor konkurrerar med nya storskaliga värmepumpar, men har ingen effekt på nya kraftvärmeverk. Investeringar görs i storskaliga värmepumpar vid såväl stigande som sjunkande elpriser, medan inga investeringar görs i biomassakraftvärmeverk om det framtida elpriset sjunker.

Hyreshus använder uteslutande fjärrvärme medan småhus med låga värmebehov inte alls ansluts till fjärrvärmesystemet. Uppvärmningslösningen för småhus med höga värmebehov dikteras av både framtida elpriser och om lokala klimatstyrmedel införs. En värmebehovsbelastning med en högre relativ användning vintertid avskräcker användningen av individuella värmepumpar.

Resultaten visar att både fjärrvärmeförsörjningssidan och uppvärmningslösningen för vissa typer av nya bostäder skulle påverkas av lokala klimatstyrmedel, framtida elpriser och värmebelastningsprofilen av nya bostäder.

Resultaten visare vidare hur säsonglager av värme kan bli en viktig komponent i fjärrvärmesystem, samt hur viktigt det är att ta hänsyn till den lokala skalan i modellering av värmesystem.

Inledning/Bakgrund

En massiv utbyggnad av bostäder i Sverige planeras och de flesta av dessa bostäder kommer att byggas i eller i direkt anslutning till städer. Dessa bostäders energieffektivitet och uppvärmningsform är av stor betydelse för hur de svenska klimatmålen ska kunna nås. Om samtliga bostäder byggs som passivhus är uppvärmningsbehovet litet, men med en sämre energieffektivitet kommer det finnas ett uppvärmningsbehov. Antingen kan uppvärmningen primärt ske med hjälp av de fjärrvärmesystem som redan finns etablerade i svenska städer eller genom lokala biovärmesystem i kombination med värmepumpar, eller genom elektrifiering av värmesektorn med hjälp av värmepumpar. Idag är det en hård konkurrens mellan värmepumpar och fjärrvärme inte bara i fjärrvärmens randområden, men också (i vissa fall) i de centrala delarna av fjärrvärmesystemen.

Energieffektivitet i den byggda miljön är inte nödvändigtvis detsamma som energieffektivitet av en enstaka byggnad, inte heller behöver investeringar för att reducera klimatemissioner ur ett byggnadsperspektiv nödvändigtvis vara den bästa strategin för kostnadseffektiv CO₂-begränsning i ett bredare samhälls-/systemperspektiv. Utgångspunkten har vidare varit att det är de långsiktiga globala växthusgasemissionerna som bör beaktas, och att det kan leda till allvarliga suboptimeringar om man anlägger ett alltför snävt perspektiv både i fråga om geografi, verksamhet och tid. Ur ett bebyggelseperspektiv betyder detta att varje åtgärd behöver bedömas i ett brett perspektiv där man betraktar den totala miljöbelastningen och kostnaden för åtgärderna i ett systemperspektiv. Vid design

av hållbara stadsdelar finns en tendens att betrakta endast stadsdelens hållbarhet trots att den kommer att ingå i ett långt större system. Risken för suboptimering och inlåsnings effekter är därför stor.

För att nå ett Sverige utan klimatutsläpp krävs radikala insatser, och att resurserna används där de gör bäst nytta. Ett systembetraktande av bostadssektorn är väsentligt både på grund av sektorns betydelse som energikonsument, men också för att den största delen av slutenergianvändningen är värme av låg temperatur, och denna kan genereras på flera olika sätt, och för att byggnaders roll i energisystemet mycket väl kan gå från att vara en passiv konsument till en integrerad del av ett optimerat system.

Med hjälp av optimerande modeller och antaganden om framtida utvecklingar inom ett antal viktiga områden kan man räkna ut den optimala framtida värmemixen. Styrmedel kan då skapas och anpassas för att styra mot dessa mål. Det är dock inte säkert att det som ser ut att vara optimalt från ett samhällsperspektiv också är optimalt utifrån de enskilda aktörernas perspektiv. Detta måste beaktas i utformandet av strategier för normer och planering av det framtida byggnadsbeståndet. Vidare måste staten vid tillämpning av styrmedel beakta att det mellan olika samhällssektorer finns en stark, och ökande, integration och interaktion, vilka både påverkar möjligheterna för att kunna styra med vissa typer av styrmedel, men framför allt ställer ökande krav på att styrmedel inte får leda till önskade effekter inom en sektor men oönskade effekter, eller suboptimeringar, i en annan.

Målet om ett klimatneutralt Sverige ställer därför mycket stora krav på en ökande samverkan mellan sektorer och att styrmedel beaktar effekterna av denna samverkan på en överordnad systemnivå.

Utgångspunkten för projektet var slutligen att det trots en viss ökning av forskning om framtida värme och värmesystem, till stor del saknas studier som kopplar överordnade systemperspektiv på värmesektorn, som ser värmesektorn som en integrerad del av hela energisystemet, och som samlat behandlar tillförsel och efterfrågan av värme i både korta och långa tidsperspektiv.

Under projektets gång fick vi anledning att ifrågasätta det vanliga tillvägagångssättet med att använda linjärprogrammeringsmodeller för studier av värmesystem. Det finns specifikt anledning att fundera över detta när det gäller värmesystem och studier av individuella värmelösningar på grund av systemens lokala karaktär. För att kunna fastställa om de tidigare projektresultaten var pålitliga lades därför en mindre studie till projektet. Syftet med denna var att undersöka hur olika programmeringsmetoder påverkar den resulterande systemlösningen, det vill säga kostnadsoptimala värmeval.

Genomförande

Projektet har haft sin grund i systemanalys och betraktat byggnaders energiprestanda och uppvärmning som en del av hela energisystemet. Projektet har vidare byggt på systemanalytiska, kvantitativa datormodeller som används för att studera konsekvenser av olika val givet hur omvärlden utvecklas.

Den systemanalytiska grunden för projektet har inneburit ett antal viktiga val för projektet: byggnadens energiprestanda betraktades som en del av hela energisystemet; värmesektorn behandlades som en integrerad del av hela energisystemet; korta och långa tidsperspektiv integrerades; samt att tillförsel- och efterfrågedynamik behandlades integrerat. Detta sista är centralt då det inte gjorts annat än i ett fåtal tidigare studier.

Kostnaden för att ansluta nya bostadstyper till ett befintligt fjärrvärmenät är inkluderad i den kostnadsoptimerande modellen liksom kostnaderna för andra uppvärmningstekniker. Inkluderingen av fjärrvärmeanslutningskostnaden är nödvändig eftersom olika värmelösningar för de olika bostadstyperna behöver kunna sättas i relation till varandra för att den mest kostnadseffektiva lösningen för systemet som helhet ska kunna identifieras. För att kunna jämföra olika uppvärmningslösningar är det därför av stor vikt att bedöma kostnaden för att använda och investera i nya uppvärmningsalternativ, både för individen och för fjärrvärmesystemet, eftersom det mest kostnadseffektiva uppvärmningsalternativet förmodligen är olika för olika bostadstyper. Eftersom tillförsel- och efterfrågesidorna av värmesystemet betraktas samtidigt under flera decennier in i framtiden blir problemet komplicerat och därmed mycket dataintensivt.

Kostnadsoptimerande modeller används ofta som stöd för strategisk långsiktig energiplanering. I detta projekt utvecklades en modell av en typ specifikt för de frågeställningar som skulle studeras. Modellen bygger på det så kallade TIMES-ramverket som är kapabelt att göra optimerande beräkningar av de ovan beskrivna komplexa problemen. Modellen fungerade väl för de frågor som skulle analyseras och har också kommit till användning i flera andra studier.

Projektet har utgått ifrån analys av tre huvudkategorier av nya byggnader: flerfamiljshus, större enfamiljshus och mindre enfamiljshus. De två senare kategorierna ska ses som skilda åt av inte bara olika husstorlek, men också olika värmedensitet på områdesnivå.

Eftersom vi i projektet också var intresserade av att försöka modellera samverkan mellan olika aktörer och dessas drivkrafter och preferenser, konstruerades en systemdynamisk modell. Denna modell avsågs att användas som komplement till den kostnadsoptimerande modellen där den senare simulerar olika vägar att nå klimatmålet och den förra också inkluderar kunskap om aktörerna och dessas samverkan i dessa vägar. Vi har i forskargruppen under de senaste åren allt mer

börjat använda systemdynamiska modeller. I projektet utvecklades en sådan systemdynamisk modell för ett värmesystem på kommunal nivå, men vi lyckades i projektet inte koppla och integrera de två modelltyperna på det sätt som avsågs.

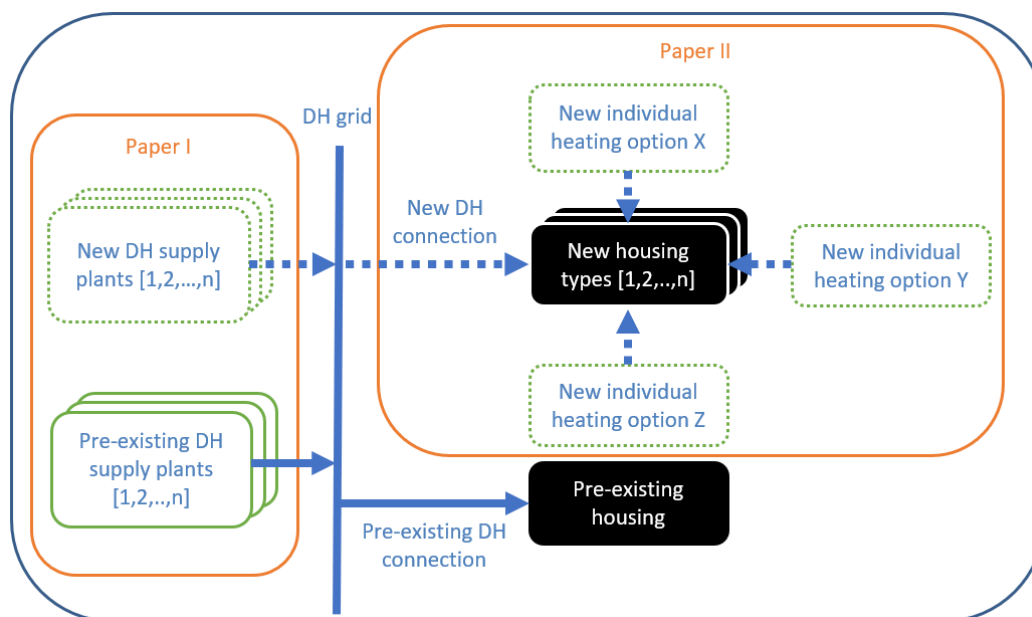
Projektets framtidsstudier har byggt på scenarioanalys. Scenarierna har använts för den kostnadsoptimerande modelleringen. Scenarioanalysen har blivit mer omfattande än vad som från början avsetts. Detta beror både på omvärldsförändringar under projektets gång och på att initiala modellresultat har resulterat i en önskan att testa resultaten under ytterligare förutsättningar för att därigenom bättre kunna utvärdera resultatens robusthet.

I projektplanen angavs att projektet skulle genomföras i ett antal steg. Dessa steg har i stora drag följts även om en del mindre ändringar varit nödvändiga.

Projektet har huvudsakligen genomförts som ett doktorandprojekt. En doktorand rekryteras genom ett öppet rekryteringsförfarande. I projektet senare del har också två andra doktorander deltagit, dels med den systemdynamiska modelleringen, dels med att starkare koppla värmesektorns utveckling till utvecklingen av det överordnade urbana systemet och olika hållbarhetsmål.

Resultat

Ett viktigt metodbidrag från projektet är utvecklingen och tillämpningen av en metod där både tillförsels- och efterfrågesidan betraktas samlat under en period av flera decennier. Denna metod refereras till som en dynamisk systemansats. Detta innebär en långsiktig optimering där utbuds- och efterfrågesidan av värmesystemet är sammankopplade ("system") och därför utvecklas ("dynamiskt") tillsammans i framtiden eftersom de är ömsesidigt beroende av varandra. Detta är centralt både för representationen av dynamiken mellan tillförsel- och efterfrågesidor i lokala sammankopplade system, och för att representera olika tekniker och aktörsperspektiv. En översikt över tillvägagångssättet visas i figur 1. Med detta tillvägagångssätt kan de olika komponenternas framtida utveckling undersökas på ett integrerat sätt, som två sidor (tillförsel respektive användning/efterfrågan) av ett sammanlänkat system (värmesystemet).



Figur 1. Schematisk presentation av hur värmesystemet modellerats i de två färdigskrivna vetenskapliga artiklarna.

Modellanalyserna av kostnadseffektiv värmeval visar tydligt, för mer eller mindre samtliga känslighetsfall, att fjärrvärme är det kostnadseffektiva bästa valet för flerbostadshus och att individuella lösningar, primärt värmepumpar, är det kostnadseffektiva bästa valet för de små, glesa enfamiljshusen (med lågt värmebehov). Därför kom den fortsatta analysen att handla om mellankategorin, större enfamiljshus/tätare enfamiljshusbebyggelse. Anledningen till att fokusera så starkt på kostnadseffektivitet trots att klimateffekterna var i fokus för projektet, var att om värmelösning inte alls är kostnadseffektiv för den specifika bostadstypen finns det inte mycket utrymme för att diskutera miljöbästa lösningar, men för de bostadssegment där det uppenbart finns värmelösningar som konkurrerar med varandra ur ett kostnadsperspektiv är det av högsta vikt att söka stödja miljöbästa lösningar.

Resultaten indikerar att de mest kostnadseffektiva värmesystemen är: DH för flerbostadshus; och individuella uppvärmningsmöjligheter för småhus med låga värmebehov. För stora småhus med höga värmebehov beror den kostnadseffektiva lösningen på värmebehovsprofilen. Högre värmeanvändning under vintern gynnar DH och enskilda biomassapannor, men minskar den ekonomiska genomförbarheten för individuella värmepumpar.

För denna typ av bostäder där det verkligen finns ett val mellan allmän (fjärrvärme) och individuell (värmepump och/eller biovärme) värmelösning dominerar värmepumparna (antingen storskaliga i fjärrvärmesystemen eller individuella i enskilda bostäder) i många av resultaten de framtida värmesystemen. Detta innebär

i bägge fallen (allmän eller enskild/individuell värmelösning) att elektricitet används för att generera värme med god verkningsgrad i bägge fallen (även om verkningsgraden kan skilja något). De direkta miljökonsekvenserna av olika värmeval blir därför små eller högst måttliga. Däremot blir de indirekta konsekvenserna sannolikt stora, och de kommer också sannolikt starkt öka i betydelse med den senaste tidens elmarknadsutveckling.

Projektet har, som ovan nämnts, varit baserat på en omfattande scenarioanalys för att testa robustheten av resultaten och hur resultaten utvecklas under den studerade tidshorizonten och beror av olika scenariovariationer, samt olika förutsättningar med avseende på värmefterfrågan, elprisvariationer, tillgång på restvärme och lokala klimatstyrmedel för detta mellansegment av bostäder. Här presenteras de viktigaste resultaten och många fler resultatgrafer återfinns i de två vetenskapliga publikationer som färdigställts (bilaga 1 och 3), i licentiatavhandlingen som projektet bidragit till (bilaga 2), samt i de tre nästan färdiga, ännu inte publicerade, vetenskapliga artiklarna (bilaga 4-6).

Effekten av införandet av två olika typer av lokala klimatpolitiska styrmedel, en CO₂-skatt och ett fossilbränsleförbud, på den framtida utvecklingen av ett stadsvärmsystem undersöktes. Den primära frågan var om det har någon betydelse hur ett sådant lokalt styrmedel utformas på kostnadseffektiva lösningar och på hur snabbt CO₂-emissioner fasas ut ur systemet. Resultaten visar att utformningen är av betydelse och att de två typerna av undersökt klimatpolitik verkligen har en inverkan på den kostnadseffektiva produktionen av värme i ett framtida värmsystem. Vilken typ av policy som införs påverkar utvecklingen av uppvärmningssystemet, men resultaten visar inte på några betydande förändringar i relationen mellan fjärrvärme och individuell värme. Utan lokalt klimatpolitiskt styrmedel investerar dock värmsystemet i ny naturgasbaserad värme (inte kraftvärme) för att täcka vinterns efterfrågetoppar (studien genomförd 2019-2020 med då rådande marknadspriser). Detta indikerar att användningen av fossila bränslen fortfarande är ekonomiskt fördelaktigt för systemet, men systemkostnadsökningen för att fasa ut fossila bränslen genom införandet av en lokal klimatpolitik befinner sig vara relativt låg. Detta är oberoende av de testade elpriserna, men det bör observeras att denna del av studien genomfördes innan de senaste årens kraftiga naturgasprisökningar.

Införandet av ett fossilbränsleförbud påverkar bara värmsystemet från det faktiska året då det introduceras, medan en ökande koldioxidskatt fasar ut fossil bränsleanvändning tidigare än målåret. Detta resultat håller för både höga och låga framtida elpriser. Oavsett höga eller låga framtida elpriser kan införandet av lokala klimatpolitiska styrmedel öka investeringar och användning av storskaliga värmepumpar medan resultaten indikerar att investeringar i andra tekniker är opåverkade.

Resultaten av projektets initiala studie gav anledning till fördjupad känslighetsanalys avseende ett antal av de studerade parametrarna på såväl tillförsel- som på efterfrågesidan. Detta implementerades sedan i projektets följande delstudier.

Resultaten av analysen av effekterna av storskalig säsongslagring av värme visar att sådan lagring är ekonomiskt konkurrenskraftig för alla framtida elprisfall om investeringskostnaderna för att bygga lagren är låga, och för de flesta elfall för medelhöga och höga investeringskostnader. Modellresultaten visar att säsongslager får systemeffekter som leder till minskade investeringar i och användning av elpannor eller biogasvärmepannor och istället ett ökat utnyttjande av värmepumpar. Konkurrenskraften för fjärrvärme ökar med utbyggnad av säsongslager.

Resultaten av den tillagda undersökningen om hur modelleringstillvägagångssätt påverkar valda värmelösningar, visar tydligt att den metod som används för modelleringen har betydelse för det studerade systemet. Resultaten indikerar att värmelösningen är känslig för om LP (linear programming) eller MILP (mixed integer linear programming) används, eftersom LP-implementeringen uppmuntrar blandningar av teknologier jämfört med MILP-implementeringen (MILP-implementeringen möjliggör en bättre representation av skalfördelar och minimikostnader för olika tekniker). Detta är av betydelse eftersom kombination av tekniker inom samma byggnad är ovanligt eftersom det kan finnas anledningar till att kombinationer inte är genomförbara på grund av tekniska aspekter. Dessutom, om det finns en startkostnad vid installation av ny individuell teknik i nya bostäder, verkar detta vara tillräckligt för att motverka teknikkombinationer enbart på grund av ekonomiska skäl. Detta metodresultat är väsentligt framför allt för lokala system, som till exempel värmesystem, och i synnerhet när en central värmelösning jämförs med en individuell.

Diskussion

Sedan projektansökan skrevs och projektet inleddes har det skett några markanta ändringar på energimarknaderna. De flesta av dessa ändringar tycks ha begränsad koppling till svensk värmesektor, men ett sådant resonemang visar bara på tillämpningen av ett alltför snävt systemperspektiv. Värmesektorn har under de senaste två decennierna blivit alltmer integrerad med elsektorn genom ökad utbyggnad av biokraftvärme, och framöver kommer biokraftvärme säkerligen fortsatt att vara viktigt och kanske öka i betydelse, men kopplingen mellan el- och värmesektorerna bli allt starkare på fler områden.

Som ovan presenterats är de direkta klimatkonsekvensskillnaderna mellan olika värmeval små eller åtminstone måttliga, eftersom eldrivna värmepumpar kommer

stå för en stor del av värmeproduktionen oavsett om värmen produceras centralt (i fjärrvärmesystem) eller lokalt genom individuell uppvärmning i enskilda hus. Däremot är de indirekta klimatkonsekvenserna sannolikt mycket stora, vilket diskuteras nedan. Med en ökande efterfrågan och med en ökande volatilitet på elmarknaderna blir dessa skillnader av de indirekta klimatkonsekvenserna ännu viktigare. Med de indirekta effekterna avses här hur olika värmeval kan påverka resten av energisystemet och på så vis resultera i påverkan på hur nationella klimatmål kan nås på ett effektivt sätt.

Sedan projektet inleddes har det skett flera stora ändringar på elmarknaderna; prognoserna för framtida utveckling av efterfrågan har kraftigt skrivits upp med förverkligandet av planerna för grönt stål, i tillägg till de redan prognosticerade ökningarna av efterfrågan som resulterar från elektrifiering av transporter och annan industri. Till detta kommer effekterna av ett kraftigt ökande och varierande elpris under det senaste året, och en växande roll för svenska elexport för att också bidra till minskning av fossilbränsleimport och CO₂-emissioner i Kontinentaleuropa. Det är av alltså av största vikt att elen används där den gör störst nytta både ur ett klimat- och ekonomiskt perspektiv. Ett starkt ökande behov av effektiv balansering av elsystemet är därför mycket sannolikt. Med dessa elmarknadsutvecklingar finns ett behov av en ytterligare ökning av integrationen mellan el- och värmesystemen och värmesystemets bidrag till balansering och avlastning av elsystemet ökar därmed sannolikt kraftigt i betydelse. Att kostnaden för kortvarig värmelagring (dag-vecka) under överskådlig tid är oerhört mycket lägre än kostnaden för ellagring ökar betydelsen av värmelager generellt och värmelager som är direkt integrerade med elmarknaden i synnerhet. Detta pekar tydligt på en ökande roll för fjärrvärmesystemen för att kunna nå nationella (och internationella) klimatmål på ett effektivt sätt.

Dessa markanta energi- och framför allt elmarknadsändringar som skett under projektets gång har naturligtvis påverkat projektet. Att ställa frågan vad som är mest miljösamt i lokalt perspektiv blir allt mindre relevant, istället måste blicken lyftas och värmens roll för att klara de överordnade klimatmålen hamna i fokus. Som en ytterligare konsekvens av den starkt ökande efterfrågan på el och därmed följande osäkerheter, blir det svårare att avgöra vilken direkt klimateffekt olika värmeval får. Även om elen i de olika jämförda fallen produceras i förnybara lokala system, kommer en ökad efterfrågan inom överskådlig tid få konsekvenser i ett systemperspektiv. Under förutsättning att el kommer att vara en efterfrågad vara, vilket resonemanget ovan starkt indikerar, kommer el som används för att producera värme annars ha använts för att substituera fossil- eller biobränslen inom andra sektorer eller exporterats till länder som har elsystem där fossilberoendet idag är större än det svenska. Detta visar åter vikten av att anlägga breda systemperspektiv på energisektorstudier, -resonemang och -beslut.

Publikationslista

Vilén K, Selvakkumaran S, Ahlgren EO. The Impact of Local Climate Policy on District Heating Development in a Nordic city – a Dynamic Approach. *Int J Sustain Energy Plan Manag* 2021. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.6324>.

Vilén K, Selvakkumaran S, Ahlgren EO. Communal or Individual – Exploring Cost-Efficient Heating of New City-Level Housing in a Systems Perspective. Submitted to *Smart Energy*.

Vilén, K (2022). Combined Assessment of Future Heat Supply and Demand - A Dynamic Systems Approach. Licentiatavhandling. Division of Energy Technology, Department of Space, Earth and Environment, Chalmers University of Technology. Presenterad 30 maj 2022.

Projektet kommer att resultera i ytterligare tre artiklar. En av dessa är färdig och på väg att skickas för granskning och publicering, medan de andra två ännu inte är helt färdigskrivna.

Bilagor

Administrativ bilaga

Bilaga 1 – Publicerad artikel_Vilén et al (2021).

Bilaga 2 – Licentiatavhandling_Vilén (2022).

Bilaga 3 – EJ SPRIDNING_Communal or individual heating_Draft final

Bilaga 4 – EJ SPRIDNING_Heating modell formulation_draft.

Bilaga 5 – EJ SPRIDNING_Seasonal heat storage_DRAFT

Bilaga 6 – EJ SPRIDNING_Integrated urban heating_draft

Bilaga 7 – Systemdynamisk modell värmesystem, causal loop diagram_Yu (2022).