

Energimyndighetens titel på projektet – svenska <b>Digitaliserad nätövervakning och scenariobaserad nätdimensionering med hjälp av AI och ML</b>	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska <b>Digitized heat grid monitoring and scenario-based design using AI and ML</b>	
Universitet/högskola/företag <b>Utilifeed AB Lunds Tekniska Högskola</b>	Avdelning/institution <b>Avdelningen för byggnadsfysik</b>
Adress <b>Stora Badhusgatan 18-20, 411 21, Göteborg</b>	
Namn på projektledare <b>Johan Kensby (inledningsvis Linnea Johansson)</b>	
Namn på ev övriga projektdeltagare <b>Filippa Sandgren, Linnea Johansson, Victor Bjurhall, Tobias Bergentz, Mario Iniguez Ordonez, Agnes Ramle, Samuel Jansson, Vahid Nik, Mohammad Hosseini</b>	
Nyckelord: 5-7 st <b>Fjärrvärme, Dimensionering, Scenarioanalys, Övervakning, Artificiell intelligens, Maskininlärning</b>	

## Förord

Detta projekt har finansierats av Energimyndighetens forskningsprogram: Termo – värme och kyla för framtidens energisystem. Projektet har utförts av Utilifeed AB och Lunds tekniska högskola under perioden 2020-12-01 till 2022-03-31.

Ett antal energibolag har bidragit till projektet genom deltagande i referensgrupp, deltagande på workshops och/eller testning och utvärdering av lösningarna som tagits fram. Ett stort tack för dessa bidrag från: Norrenergi, Borås Energi och Miljö, Uddevalla Energi, Jönköping Energi, Trollhättan Energi, Mölndal Energi, Fortum Oslo Varme, Fortum Espoo, Sampool och, Eskilstuna Energi och Miljö.

## Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	4
Inledning/Bakgrund	5
Genomförande	5
1. BEHOVSANALYS	5
2. DATAINSAMLING	6
3. TERMISK MODELL FÖR DISTRIBUTIONSNET	7
4. FRAMTIDSSCENARION FÖR VÄDER	10
5. FRAMTIDSSCENARION FÖR VÄRMELAST	11
6. ANPASSNING AV ENERGY PREDICT	12
7. TESTNING OCH UTVÄRDERING AV ANALYSMODELLER	12
8. FRAMTIDENS DIMENSIONERANDE LAST	13
9. ANVÄNDARGRÄNSSNITT	14
Framtidens dimensionerande last	14
Analys av obalanser i distributionsnätet	16
10. AFFÄRSUTVECKLING	19
11. SYSTEMUTVECKLING	20
12. RESULTATANALYS	20
Resultat	22
Analys av obalanser i distributionsnätet	22
Framtidens dimensionerande last	23
Exempel	24
Diskussion	26
Publikationslista	26
Referenser, källor	28
Bilagor	28

## Sammanfattning

Fjärrvärmeföretags infrastruktur står inför stora reinvesteringsbehov och det finns mycket stora besparingspotentialer i att optimera dessa investeringar. Resultaten från detta projekt ger energibolag verktygen att realisera denna potential, som är i storleksordningen flera hundra miljoner kronor per år.

Potentialen kommer från att nuvarande metoder för att beräkna dimensionerande effektbehov har stora felmarginaler vilket ofta leder till onödig överdimensionering. I detta projekt utvecklas en digital tjänst som använder AI och ML för dimensionering av produktions- och distributionskapacitet i fjärrvärmesystem och bland annat tar hänsyn till pågående klimatförändring. Genom att kombinera både produktions och konsumtionsdata i analysen förbättras inte bara precisionen, det blir även möjligt att övervaka nätet för att snabbt identifiera problem, beräkna möjligheten till nätlagring och utföra bättre lastprognoser. Tjänsten som utvecklats har integrerats i Utilifeeds plattform för smart fjärrvärme vilket medför att den är redo att skalas upp till många nät.

## Summary

District heating infrastructure is facing major reinvestment needs and there is a very large saving potential in optimizing these investments. The results from this project give energy companies the tools to realize this potential, which is in the order of several hundred million SEK per year in Sweden only.

The saving potential stems from that the current methods for calculating design power have large error margins, which often leads to unnecessary oversizing. In this project, a digital service has been developed that uses AI and ML for designing production and distribution capacity in district heating systems which, among other things, takes ongoing climate change into account. By combining both production and consumption data in the analysis it also becomes possible to monitor the network to quickly identify problems, calculate the possibility of network storage and perform better demand forecasts. The service that has been developed is integrated into the Utilifeed platform, enabling rapid scaleup and rollout at many energy companies.

## Inledning/Bakgrund

Större delen av värmen i Svenska fjärrvärmenät kommer från värmekällor med goda ekonomiska förutsättningar och, ur ett systemperspektiv, låg miljöpåverkan. Exempel på sådana värmekällor är kraftvärme med biomassa eller olika restprodukter som bränsle. En mycket mindre andel av värmen genereras i spetslastpannor med hög driftskostnad och stor miljöpåverkan. Även om spetslastpannor står för en liten del av värmeenergin så utgör de ofta en stor andel av den tillgängliga effekten. I väldigt många fjärrvärmenät är denna andel onödigt stor i förhållande till nätets verkliga effektbehov, vilket innebär en ineffektiv resursanvändning genom onödigt underhåll, onödig drift och onödiga re-/ny-investeringar i värmepannor och distributionsnät. Detta medför att fjärrvärmebolagen kan hålla mindre konkurrenskraftiga priser på den lokala marknaden.

Anledningen till att spetslastpannor utgör en onödigt stor andel av den tillgängliga effekten i fjärrvärmenät är att beräkningar av effektbehovet utförs med förlegad metodik och med begränsade indata vilket resulterar i stora felmarginaler som behöver kompenseras med motsvarande säkerhetsmarginaler.

I detta projekt utnyttjar vi state of the art gällande metodik och indata för att beräkna dimensionerande effektbehov i fjärrvärmesystem och utvecklar en digital tjänst som effektivt kan utföra denna analys på ett stort antal fjärrvärmenät. Analysen delas även upp mellan dimensionerande effektbehov i samtliga anslutna fastigheter och värmeförluster i distributionsnätet, vilket med dagens metodik klumpas ihop eftersom man enbart baserar analysen på produktionsdata. Detta medför (förutom en träffsäkrare beräkning av dimensionerande effektbehov) även möjligheten att utföra nätövervakning som identifierar mätfel, läckage eller andra oväntade obalanser i distributionsnät; beräkna möjligheten till nätlagring; och utföra bättre lastprognoser. Dessa komponenter kommer även ingå i den digitala tjänst som utvecklas.

## Genomförande

### 1. BEHOVSANALYS

Analysen har genomförts genom att vi har intervjuat samtliga elva fjärrvärmebolag som vi idag har ett samarbete med. Vi har även ställt denna fråga i "discovery-samtal" med nya potentiella kunder. Detta har även varit ett ämne som tagits upp på workshop 2021-03-18 med deltagare från Norrenergi, Borås Energi och Miljö, Uddevalla Energi, Jönköping Energi, Trollhättan Energi, Mölndal Energi, Fortum Oslo Varme och Fortum Espoo.

Responserna från energibolagen ger en relativt enhetlig bild, där samtliga utgår från samma grundprinciper men vissa bolag tillämpar mer eller mindre avancerade varianter av dessa principer. Branschstandard idag för att beräkna behov av produktions- och distributionskapacitet kan kort sammanfattas som att nyttja energisignatur (en tillämpning av linjärregression) och extrapolera denna till för orten gällande DVUT (dimensionerande vinter utomhustemperatur) från SMHI.

Dessa beräkningar baseras som regel på historik produktionsdata (ej aggregerad lastdata från fastigheterna). För att ta hänsyn till framtida förändring av dimensionerande last görs antaganden om hur effektbehov kommer förändras i befintlig byggnadsstock och ofta görs antagandet att nya byggnader har samma förhållande mellan energibehov och effektbehov som existerande byggnader. Hur väl underbyggda dessa antaganden är varierar med resurserna som varje bolag har till förfogande och det finns ingen riktig standard för metodiken. Hänsyn till klimatförändringarnas påverkan på dimensionerande last tas oftast inte, även om många bolag har börjat ta hänsyn till denna faktor för att prognostisera framtida energibehov.

## 2. DATAINSAMLING

För att genomföra analys och modellutveckling i de olika delarna av projektet så har nödvändiga data samlats in och bearbetas.

### Byggnads metadata:

Från energibolagen har vi fått in en sammanställning av energideklarationerna tillhörande byggnaderna kopplade till deras nätverk. Nödvändiga data extraheras från energideklarationen via ett program som jämför adressen för byggnaden i energideklarationen med adresser vi har för undercentraler i nätverket. När en matchning hittas så tilldelas den matchade undercentralen nya metadata och pushas till plattformen. Nödvändiga data som extraheras för deltagande energibolag:

Tagg	Beskrivning
typkod	
byggnadskategori	
energiprestanda	
Atemp_exkl_Avarmgarage	Mätt värde Atemp, m2 - den golvarea som byggnadens primärenergital ska beräknas efter
antal_bostadslägenheter	antalet bostadslägenheter i byggnaden
nybyggnadsar	Året byggnaden kunde tas till bruk – oftast året då byggnaden färdigställdes
primary_heatsource	Huvudsakliga uppvärmningskälla
secondary_heatsource	Sekundära uppvärmningskälla
ventilation_types	Typer av ventilation som kan förekomma i byggnaden. F, FT, FTX, Självdrag eller F med återvinning

### Produktionsdata & lastdata från energibolagen:

Från deltagande energibolag har data för produktionsanläggningar och samtliga värmeväxlare i anslutna fastigheter samlats in. Denna data är timvisa mätvärden givet i svensk tid. Den tillgängliga datan är

- **Värmeenergi:** total producerad värmen från fjärrvärmesystemet från den aktuella tidsstämpeln till början av nästa tidsstämpel. Värdena anges i enheten kWh/h
- **Volymflöde:** total flöde från fjärrvärmesystemet från den aktuella tidsstämpeln till början av nästa tidsstämpel. Värdena anges i enheten m<sup>3</sup>/h
- **Framledningstemperatur:** momentana mätvärden på fjärrvärmesystemets framledningstemperaturen. Värdena anges i °C
- **Returtemperatur:** momentana mätvärden på fjärrvärmesystemets returtemperaturen. Värdena anges i °C

Om framledningstemperatur och returtemperatur har angetts för varje enskild energiproducerande enhet så har fjärrvärmesystemets temperaturer beräknats genom att flödesvikta dem individuella enheternas temperaturer. Data omvandlas till UTC+0 och formateras som yyyy-mm-ddTHH:MM:SS . Utöver mätdata så har även totala volymen vatten i distributionsnätets retur- och framledningsrör fåtts.

### 3. TERMISK MODELL FÖR DISTRIBUTIONSNÄT

För att hantera nätlagring, beräkningen av markförluster samt nätövervakning av mätfel, läckage eller andra obalanser i distribution nätet så har en termisk modell för distributionsnätet utvecklats. Modellen har utvecklats med målet att kunna beskriva distributionsnätet av ett energinät på ett fysikalisk lättfattligt sätt samtidigt som den fångar upp tillräckligt mycket för att kunna beskriva verkligheten. Modellen bygger på följande antaganden:

- Medeltemperaturen för vatten som tillförs värmeväxlare i byggnader längst en ledning antas vara samma som medeltemperaturen i ledningen (bygger på resonemang att byggnaderna är jämt utspridda längst ledningen)
- Temperaturen i framledningsröret antas sjunka till framledningstemperaturen hos konsumenten.
- Temperaturen i returröret antas sjunka till returtemperaturen hos produktion.
- Totala vattenvolymen för framlednings- och retur-röret är känt
- Volymflödet är densamma i båda rören
- Värden för energiförbrukning och returtemperaturer vid konsumtions sidan är kända eftersom dem kan fås från Utilifeed plattform.
- Energiförlusten till marken är proportionerligt mot temperaturskillnaden mellan röret och marktemperaturen. Marktemperaturen beräknas som ett

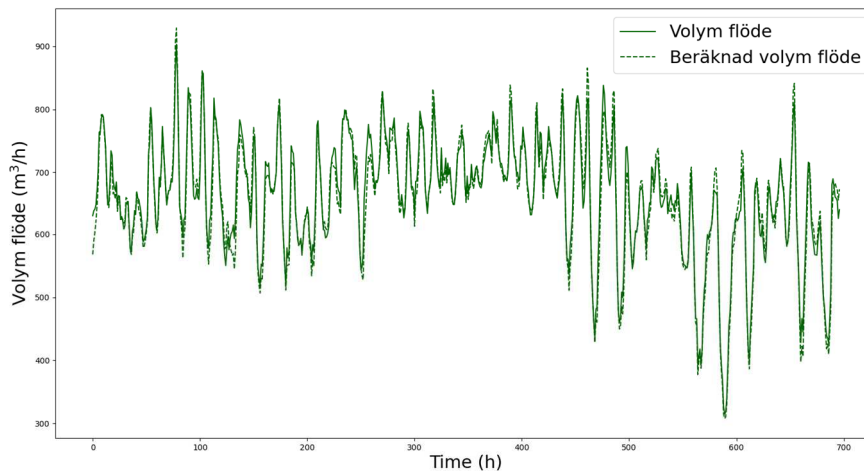
viktat medelvärde av utomhustemperaturen över de senaste två veckorna.

- Utomhustemperaturen är tillgänglig genom API och är därav känt

Utifrån dessa antaganden har vi formulerat matematiska samband. Dessa samband utgör ett program kodat i python som vi kan köra för att utföra analyser på nätet. Med framledningstemperaturen som indata till programmet kan vi få följande utdata:

- genomsnittlig framledningstemperatur vid konsumtionssidan
- returtemperaturen vid produktionssidan
- volymflödet
- markförlust från framledning och returledning

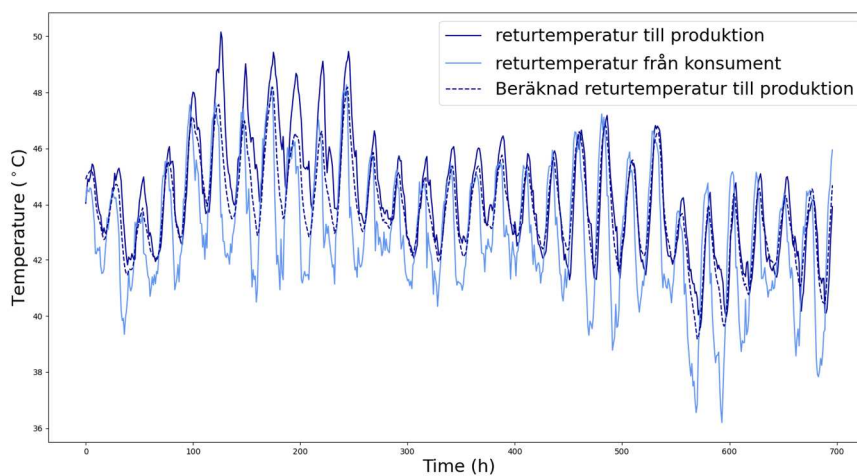
En körning av modellen för ett testnätverk under tidsspännet 2016-02-20 - 2016-03-20 ger följande beräknade värden för framledningstemperaturen vid konsumtionssidan, returtemperaturen vid produktionssidan och volymflödet.



I ovanstående bild är den heldragna linjen observerade värden för volymflödet och den streckade linjen värden som beräknats genom Utilifeeds distributionsnätmodell. I nedanstående bilder ser vi motsvarande plottar för framledningstemperaturen till konsumenten och returtemperaturen till produktion.

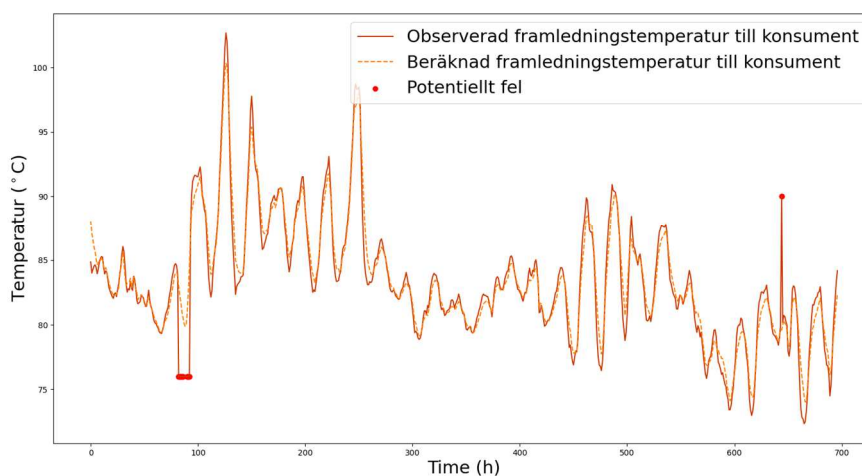
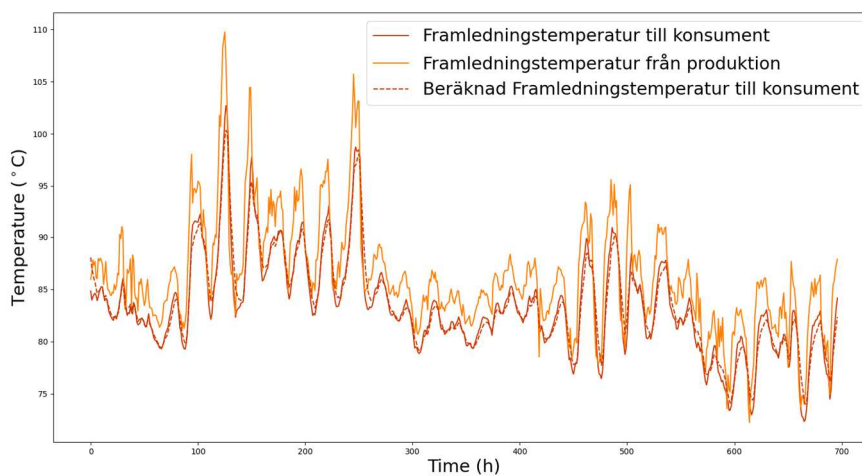


Som det syns på bilderna så lyckas modellen fånga beteendet av distributionsnätet för dessa tre fysikaliska storheter.



Med Utilifeeds framtagna modell som referens kan vi övervaka distributionsnätet och hitta potentiella fel. Detta kan göras genom att kolla efter temperaturer eller

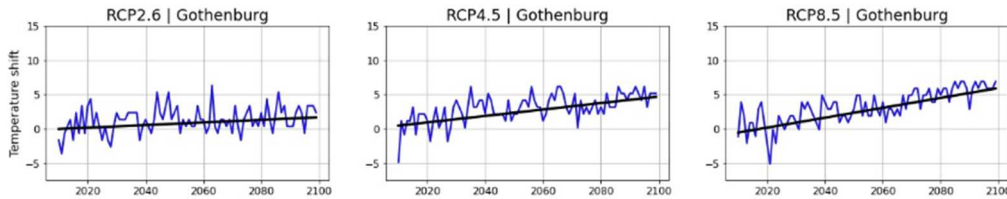
volymflöden som avviker från modellens resultat. Ett par exempel med inlagda fel i mätvärdena kan ses i bilden nedan.



#### 4. FRAMTIDSSCENARION FÖR VÄDER

Med grund i tre olika RCP scenarier (2.6, 4.5 och 8.5) och några olika varianter av globala klimatmodeller (Nik V. M. 2016) i kombination har vi tagit fram ett sätt att titta på hur årets lägsta temperaturer påverkas långsiktigt av den globala

uppvärmningen. Som synes på bilden nedan stiger dessa gradvis, dock med stor variation från år till år.



Fjärrvärmebolagen kan därefter titta på hur dimensionerande last skulle påverkas för temperaturändringar från -5 °C till +5 °C i intervall om en grad.

För testnät, som också används nedan i framtidsscenario för värmelast så fås:

	-5 °C	-4 °C	-3°C	-2°C	-1 °C
Procentuell ändring	112%	110%	107%	105%	102%
Faktisk design load kWh	89 557	87 478	85 425	83 441	81 841

	+1 °C	+2°C	+3°C	+4 °C	+5 °C
Procentuell ändring	97%	94%	92%	89%	86%
Faktisk design load kWh	77 200	75 093	72 080	70 869	68 717

## 5. FRAMTIDSSCENARION FÖR VÄRMELAST

Vid ombyggnation av bestånd eller en utökning av fjärrvärmenätet kan det antas att energibehovet för varmvatten i snitt håller samma nivå som för befintligt bestånd. Därför har Utilifeed gjort en anpassning av algoritmen "separator\_function" utvecklad av LTH (Bacher P., et.al. 2016) att kunna beräkna en uppskattning av hur mycket av den energi som en undercentral i fjärrvärmenätet förbrukar som går till uppvärmning respektive varmvatten.

Vid en ombyggnation med syfte på energieffektivisering så utgår vi sedan ifrån att energi för varmvatten hålls på en konstant nivå medan en effektivisering kan ske när det gäller uppvärmningen. Siffror framtagna av LTH (Nik V. M. et.al. 2015) (Nik V. M. et.al. 2016) att för byggnader byggda före år 2000 kan fastighetens uppvärmningssystem komma ner till 88% energianvändning jämfört med dagens värde medan byggnadens energieffektivitet kan förbättras till en nivå motsvarande

48% (ombyggnation nivå 1). För fastigheter bygga från år 2000 och framåt är motsvarande siffror 94% gentemot 73% (ombyggnation nivå 2). Med dessa siffror och uppdelning i uppvärmningsenergi och varmvattensenergi som grund ska därefter fjärrvärmenätsdistributörer kunna välja andel av beståndet som genomgår renovering och se hur detta påverkar dimensionerande last.

I de fall fjärrvärmenätet utökas med t ex ett nyttillkommet industri- eller bostadsområde kan vi anta att denna nya del av nätet kommer ha en högre energieffektivitet än nuvarande bestånd när det gäller uppvärmning medan varmvattenbehovet motsvarar nuvarande bestånds. Med utgångspunkt från siffrorna ovan fås att nybyggda fastigheter är 62% mer effektiva än snittbyggnaden i fjärrvärmenätet idag.

För ett av de nät Utilifeed testat mot fås då:

Effektbehov vid dimensionerande last:	79 638 kh
Varav varmvatten:	3 783 kW
Varav uppvärmning:	75 855 kW
Vid en utökning av nätet med 10% blir energiförbrukningen vid dimensionerande last:	82 502 kW

## 6. ANPASSNING AV ENERGYPREDICT

EnergyPredict är Utilifeeds existerande lösning för att generera ML-baserade modeller för bland annat energibehov i fastigheter. Vid beräkning av dimensionerande lastförhållanden tränas denna modell på mätdata för fjärrvärmecentraler i nätet och används sedan för att simulera de dimensionerande väderförhållandena. Utfallet blir den dimensionerande lasten.

För att effektivt kunna anpassa denna procedur efter ett case där användaren vill beräkna dimensionerande last för olika framtida år och olika RCP scenarier har en tilläggsmodul utvecklats. Denna kan beskrivas som att det utförs en känslighetsanalys för hur dimensionerande lastbehov påverkas av ändring av de dimensionerande väderförhållandena. Denna känslighetsanalys görs inom ett spann på  $\pm 5^{\circ}\text{C}$ , vilket presenterats under arbetspaket 4. När en beräkning för dimensionerande last ska genomföras för ett framtida vädersscenario kombineras denna känslighetsanalys med beräkning för hur det framtida vädersscenariot kommer påverka vädret vid dimensionerande last. Detta resulterar i en påverkan på dimensionerade värmelast.

## 7. TESTNING OCH UTVÄRDERING AV ANALYSMODELLER

Utifrån modellen över distributionsnätet som tagits fram under arbetspaket 3, har några olika analysmodeller testats och utvärderats för att detektera fel i distributionsnätet. Den lösning vi har landat i jämför uppmätta värden i

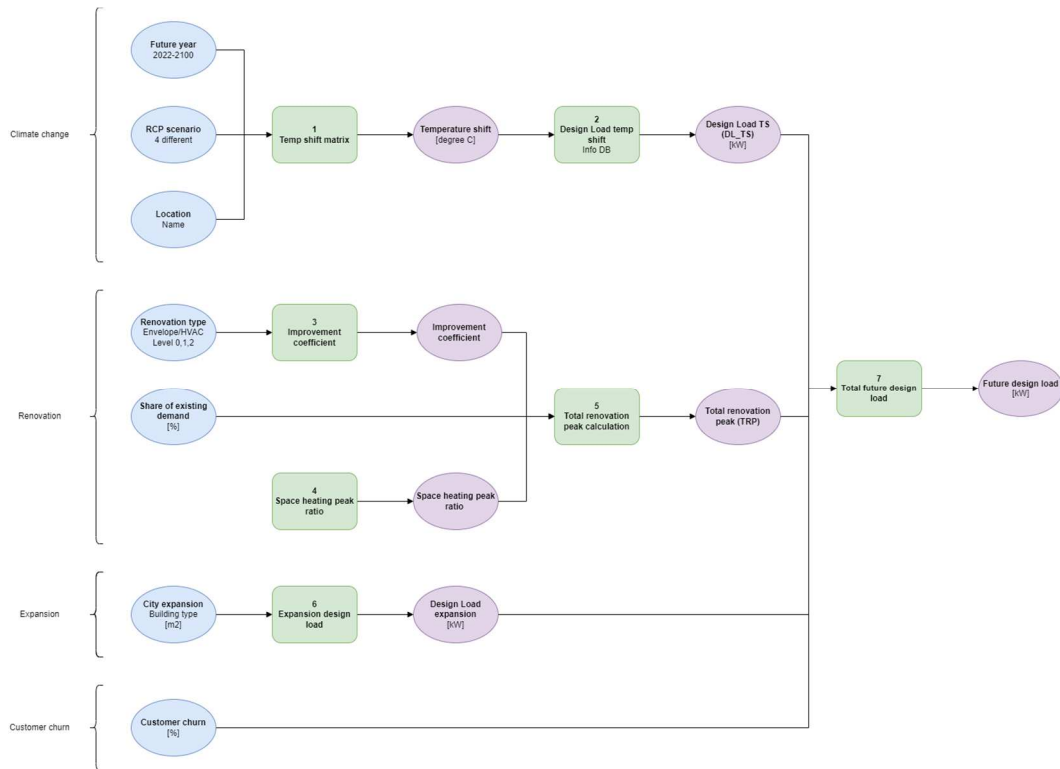
distributionsnätet med beräknade värden från nätmodellen, och fel och avvikelser i nätet kan då upptäckas. För att en analysmodell ska upptäcka så många fel som möjligt, utan att larma när det inte är några fel, gäller det att hitta en lagom nivå för gränsvärden kring larm. Hur dessa gränsvärden är satta i dagens implementering ska ses som en första ansats som ger ett okej resultat. Vi räknar med att de kommer gradvis finjusteras när lösningen har tillämpats bredare och vi har mer feedback och data att gå på.

Som beskrivits under arbetspaket 6, möjliggör verktyget en analys göras för hur mycket den dimensionerande lasten påverkas av framtida förändringar i klimatet och byggnadsstocken. Denna analys består av ett antal delberäkningar som alla har testats och utvärderats var för sig. Att testa en framtidsprognos genom att jämföra den med ett framtida utfall är inte genomförbart på grund av den långa tidshorizonten. Utvärderingen har istället fokuserat på att säkerställa att resultat är i linje med den forskning som ligger till grund för metoderna där detta är möjligt. Vi har även applicerat metoderna på ett stort urval av fastigheter från att antal städer och säkerställt att resultaten inte petar år olika håll för olika dataset och att det inte finns buggar i uträkningarna.

Vidare har verktyget och dess delmetoder gått igenom med representanter från deltagande energibolag som arbetar med dessa frågor. Detta fungerar som en rimlighetskoll för de antaganden som metoderna bygger på.

## **8. FRAMTIDENS DIMENSIONERANDE LAST**

Vi har tagit fram en beräkningsgång som kombinerar alla de olika delanalyserna som utvecklats för att beräkna framtidens dimensionerande last. I det betastadie som lösningen befinner sig i idag krävs manuell handpåläggning mellan flera av delanalyserna för att få ihop helheten. Beräkningsgången är illustrerad i figur nedan.



Gällande konfidens för analysen kan den brytas ner till osäkerhet i modeller och osäkerhet i indata/antaganden. Totala osäkerheten i hela analysen kommer också från många olika steg och som är varken helt beroende eller helt oberoende av varandra. Detta gör att det även finns en osäkerhet i hur vi adderar osäkerheter. Vi har därför valt en approach där vi presenterar varje osäkerhet för sig samt ett resonemang om hur de kan bedömas tillsammans.

Konfidensintervall kopplat till modellernas osäkerhet räknas fram för värmelasten i kundcentralerna samt för markförlusterna i nätmodellen. Dessa osäkerheter har en låg korrelation så man behöver inte utgå från att de största avvikelserna från modellerna sammanfaller när man beräknar risken för effektbrist.

Osäkerhet i indata hanteras genom känslighetsanalys. Användaren kan t.ex. själv välja olika RCP scenarier för att undersöka hur de påverkar framtida effektbehov. Att adressera sannolikheten för att olika RCP scenarier inträffar är en betydligt större fråga än vad detta projekt kan svara på.

## 9. ANVÄNDARGRÄNSSNITT

Två exempel på användargränssnitt har tagits fram inom projektet, ett för framtidens dimensionerande last (Future Design Load) och ett för analys av obalanser i distributionsnätet (Grid Monitoring).

### *Framtidens dimensionerande last*

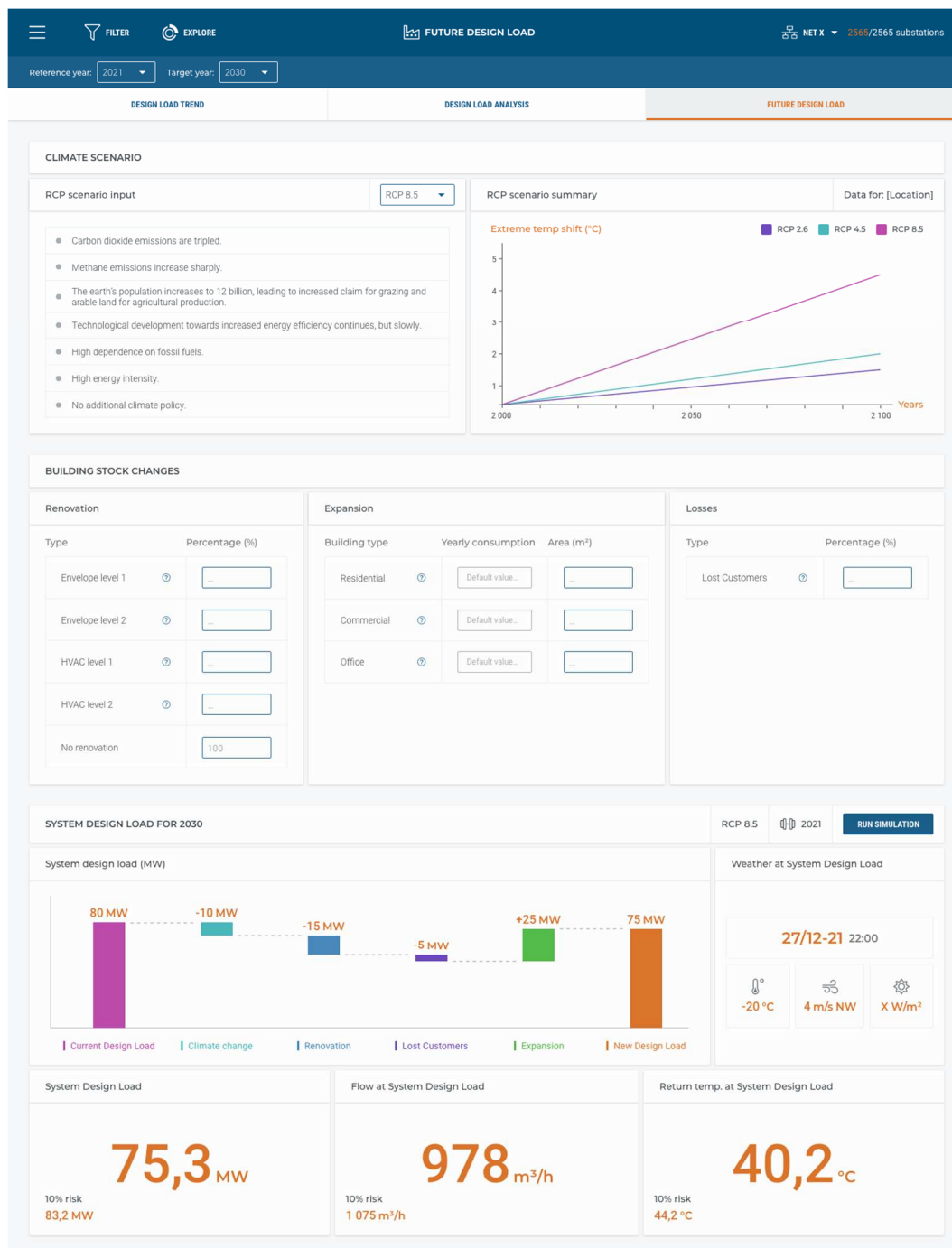
Användargränssnittet för framtidens dimensionerande last (Future Design Load) kan ses nedan och består av tre sektioner: klimatscenarier,

byggnadsstocksförändringar och resultat. På sidan ska användaren kunna analysera hur olika faktorer påverkar framtidens dimensionerande last, genom att själv testa olika framtidsscenarier. Överst på sidan väljer användaren vilket referensår som analysen ska utgå ifrån och för vilket år man vill ha resultatet.

I den första sektionen kan användaren sedan välja ett av tre RCP scenarier, som tillsammans med nätets placering ger en förändring i utomhustemperatur tills resultat året. Data för detta kommer från arbetet som genomförts i arbetspaket 4, där man också kan se vilken förändring i dimensionerande last som en sådan temperaturförändring ger upphov till.

I den andra sektionen kan användaren själv ge input till hur byggnadsstocken kommer att förändras fram till resultatåret. Beräkningarna som ligger bakom renoveringsdelen bygger på det arbete som genomförts i arbetspaket 5. Det går också att ge input kring hur mycket nya byggnader som förväntas tillkomma, och hur många kunder man förväntas tappa, fram till referensåret.

När användaren är nöjd med sin input klickar man på Run simulation. Resultatsektionen öppnas då så att man kan undersöka resultatet. Där syns ett stapeldiagram där man kan se den dimensionerande lasten för referensåret, och hur denna förändras på grund av de olika inputen, för att tillslut summeras i en ny dimensionerande last för referensåret. I resultatsektionen syns också annan information kring det framtida dimensionerande lasttillfället, vädret, flödet och returtemperaturen.



Användargränssnittet för framtidens dimensionerande last, när användaren fått fram sitt resultat.

### Analys av obalanser i distributionsnätet

Användargränssnittet för analyser av obalanser i distributionsnätet (Grid Monitoring) kan ses nedan och innehåller en tabell där man kan se obalanser i nätet och tillhörande grafer för samma tidsperiod. På sidan kommer användaren att kunna se detekterade obalanser i nätet, både som flaggor i en tabell och i mer detaljer i graferna nedanför. Överst på sidan kan användaren välja vilken

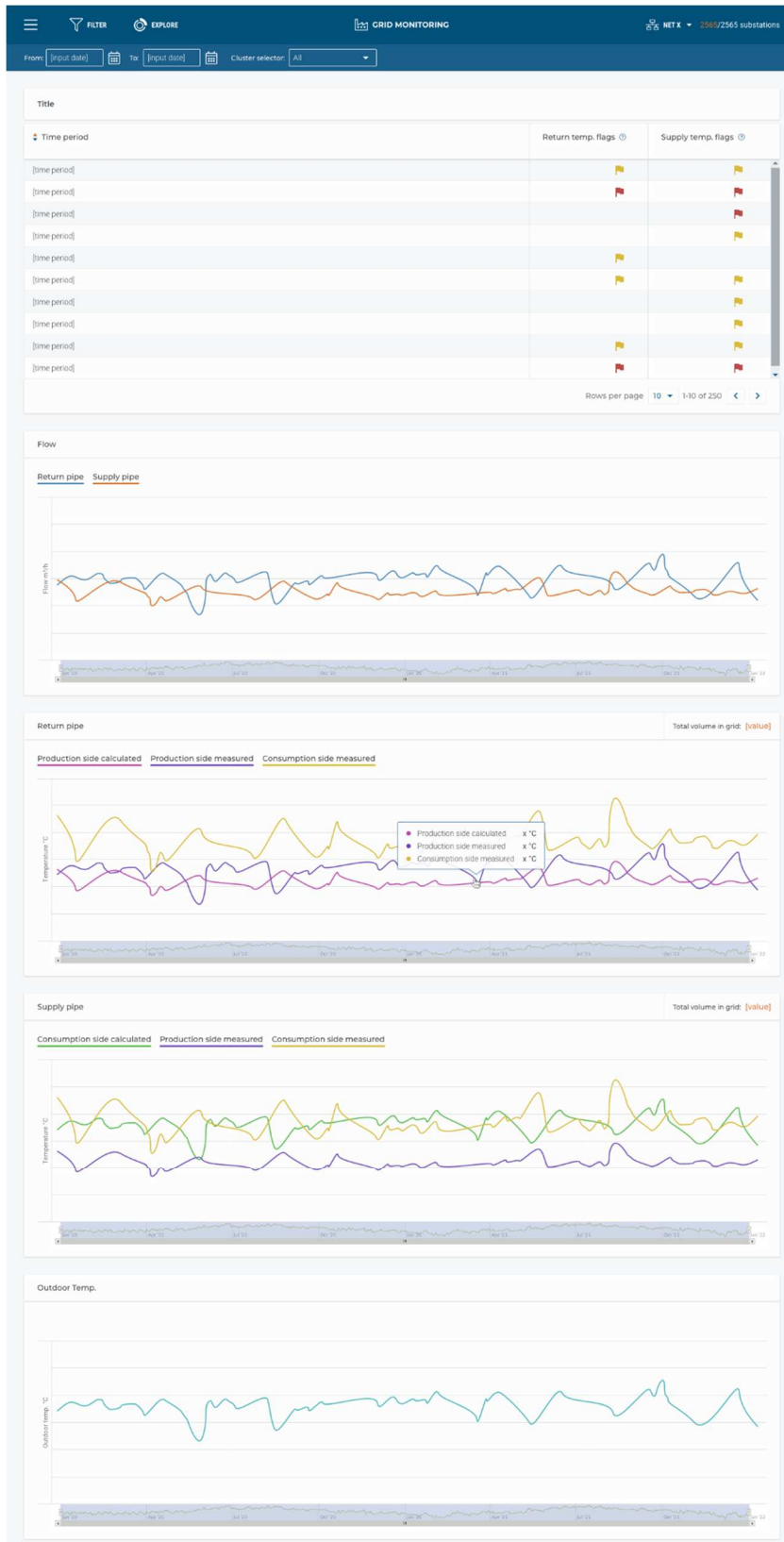


tidsperiod som man vill göra analysen för och om man vill göra för hela nätet eller bara för en del av nätet (ett kluster).

Flaggor visas när obalanser i nätet har detekterats baserat på de modeller som utvecklats under arbetspaket 3. Datumväljaren överst på sidan gör att bara de flaggor som uppstått under denna tidsperiod visas i listan, och graferna justeras automatiskt för att visa motsvarande tidsperiod. I detta exempel på användargränssnitt visas flaggor för temperaturavvikelser i framlednings- och returrör, men liknande analyser kan göras på till exempel flöde också.

På sidan kan man titta på fyra olika grafer: flödesanalys, temperaturer för returröret, temperaturer för framledningsrör och utomhustemperaturen. I grafen för flödesanalys jämförs flödet i framlednings och returröret, för att upptäcka avvikelser. I graferna för retur- och framledningsrör kan man jämföra uppmätta och beräknade värden för temperaturerna, till hjälp har man också ytterligare uppmätta temperaturer i respektive rör. Den sista grafen innehåller information om utomhustemperaturen, och kan ses som en hjälp för att undersöka vad obalanserna kan bero på.

I graferna går det också att zooma in, då kommer tabellen att filtreras för att bara visa de flaggor som uppstått inom det inzoomade tidsintervallet. På samma sätt kan man också klicka på en flagga i tabellen för att få graferna inzoomade kring det tillfället. Detta kan ses i figuren nedan.



*Användargränssnittet för analys av obalanser i distributionsnätet.*

## 10. AFFÄRSUTVECKLING

Värdet som skapas av tjänsterna har analyserats genom att skapa en value stack som kan appliceras på enstaka bolag eller grupper av bolag som t.ex. hela den svenska marknaden. Analysen av värdet bygger dels på resultaten från detta projekt, dels på data för bolaget/bolagen vi applicerar analysen på, och dels på ett antal antagande vi har gjort. Rimlighet i antaganden har verifierats med deltagande energibolag. Denna value stack är en levande beräkningsmodell som kontinuerligt förbättras i takt med att vi får tillgång till mer faktiska resultat från energibolag.

Beräkningar av effektiviseringspotentialen i Sverige har gjorts med den value stack som tagits fram. Indata till den är dels resultaten från detta projekt, dels från bl.a. Energimarknadsinspektion om samtliga fjärrvärmebolag i Sverige, och dels på ett antal antaganden som har verifierats med deltagande energibolag. Med våra mest försiktiga antaganden så är effektiviseringspotentialen i Sverige 210 Mkr/år, enbart för scenariobaserad dimensioneringsanalys. För nätövervakning är motsvarande potential i Sverige 87 Mkr/år. Under projektet har vi hittat fler användningsområden för de modeller som tagits fram för nätövervakningen, vilka vi har laborerat med men inte fullt utvecklat. Ett sådant användningsområde är att optimera framledningstemperaturer i fjärrvärmesystem vilket bedöms ha en effektiviseringspotential på 240 Mkr/år i Sverige.

Tre nya tilläggstjänster planeras i Utilifeeds fjärrvärmeplattform som ett resultat av detta forskningsprojekt. Plattformen erbjuds idag genom en typisk SaaS-affärsmodell där kunden betalar en abonnemangsavgift årsvis för ett basutbud av tjänster, samt ett valbart antal tilläggstjänster. Årspriset för tjänsterna påverkas av storleken på fjärrvärmenätet genom att det finns ett pris per ansluten kundcentral i fjärrvärmenätet. Ibland tas även en fast årsavgift ut. Detta sker främst när uppstarten av tjänsten innebär att ett kostnadsdrivande arbete behöver utföras av vår personal. Denna affärslogik gör att priset för tjänsterna skalar med storleken på fjärrvärmebolaget.

Betalningsviljan för tjänster som driver besparingar är relativt enkel att bedöma. Om besparingarna är 1. tydligt uppföljningsbara 2. enkla för kunden att frigöra genom vårt system och 3. unika för vår plattform, då är förutsättningarna så goda de kan bli för att koppla priset till besparingen. Det kan rent av gå att basera priset helt på uppmätt besparing. Verkligheten är sällan riktigt så enkel och det finns dessutom ofta också många andra kundvärden som frigörs genom våra tjänster som inte är direkt kopplade till besparingar, såsom exv. ett trivsamt användargränssnitt som minskar de dagliga frustrationsmomenten.

De befintliga tjänster som erbjuds via plattformen idag och som driver besparingar i fjärrvärmebolagen prissätts generellt på en nivå motsvarande 5-20% av de beräknade potentiella besparingarna. Prissättningen för dessa kommande

tjänster kommer sannolikt ha en liknande relation till besparingarna och inom detta spann är betalningsviljan generellt sett god.

## 11. SYSTEMUTVECKLING

Utilifeeds analysplattform har vidareutvecklats med ett antal komponenter för att effektivt kunna applicera de analyser som utvecklats inom detta projekt i stor skala på många energibolag. Mognadsgraden har idag nått ett betastadie där det är möjligt att genomföra alla delar av analysen men ett antal delar ej genom det tilltänkta slutliga gränssnittet och med viss manuell handpåläggning för att hantera indata och resultat. Den systemutveckling som skett kan brytas ner i tre huvudkategorier:

- 1) Uppdatering av databaser för att lagra nya typer av indata samt mellansteg i beräkningar och resultat.
- 2) Uppdatering av lösning för att köra schemalagda beräkningar och beräkningar on-demand (när en användare begär de i webgränssnitt).
- 3) Utveckling av webgränssnitt för att begära beräkningar och utforska resultat.

## 12. RESULTATANALYS

Detta projekt har väckt stort intresse och alla sammanhang det har presenterats i har gett ringar på vattnet vilket lett till bra dialoger med många potentiella mottagare av resultaten.

Projektet har presenterats på en större konferens, Distributionsdagarna 2021. Vi är även inbjudna att presentera resultaten på två kommande evenemang som arrangeras av Energiforsk.

I egen regi har vi arrangerat ett öppet webinar där resultaten presenteras ([länk](#)). Detta lockade ett 30-tal deltagare, primärt från energibolag. Även en halvdagsworkshop har arrangerats med deltagare från Norrenergi, Borås Energi och Miljö, Uddevalla Energi, Jönköping Energi, Trollhättan Energi, Mölndal Energi, Fortum Oslo Varme och Fortum Espoo.

Utöver dessa aktiviteter har även mer fokuserade workshops arrangerats individuellt med tre energibolag. Under dessa har vi haft en bättre möjlighet att utvärdera lösningen genom testanvändning, gräva i vilket värde den skapar för bolagen, samt vad som behöver förbättras innan lösningen är redo för kommersiell lansering. Erfarenheter och resultat från dessa sessioner sammanfattas nedan för de två huvudkomponenter som utvecklats.

Ett whitepaper kopplat till projektet har skrivits (finns som bilaga), samt en blogpost ([länk](#)) som kan ses som en kortversion av detta whitepaper och används för att promota det öppna webinar som hållits.

**Framtidens dimensionerande last:** Lösningen som utvecklats matchar tydligt ett behov hos de bolag som deltagit i utvärderingen. Dimensionering av centrala delar av nätet och produktionskapaciteten är aktiviteter som utförs sällan men som har en väldigt stor inverkan på bolagets ekonomi eftersom de styr kapitalintensiva

investeringar. Erfarenheten är att verktyget som tagits fram är enkelt att använda och ger stora tidsbesparingar jämfört med befintliga metoder som involverar manuell datahantering, framtagande av metodik och analysarbete. En annan fördel jämfört med befintliga metoder är att den manuella datahanteringen elimineras vilket är en betydande felkälla. Samtidigt säkerställs att exakt samma metodik används vid flera analyser vilket minskar personberoendet då det ofta finns tolkningsutrymmen i de mer manuella metoder som används idag.

Eftersom dimensionering sker för ett framtida behov och detta är en analys som genomförs sällan har det varit svårt att i denna fast utvärdera hur betydande ökningen i precision är jämfört med nuvarande metoder, detta har baserats på gemensamt avstämda antaganden.

Tack vare att lösningen som tagits fram är snabb, enkel och till stor del automatisk är den värd att tillämpa även på dimensioneringsberäkningar för mindre delar av ett fjärrvärmesystem. Här är befintliga metoder som lösningen ersätter väldigt enkla men lösningen ger ändå en tidsbesparing.

En viktig erfarenhet från testningen är att det behövs en hög grad av transparens i beräkningen för att en användare ska lita på resultaten och basera investeringsbeslut på det. För att möta detta behov kommer vi skriva en utförlig wiki kopplat till lösningen.

**Analys av obalanser i nätet:** Lösningen har testkörts på data från flera fjärrvärmenät och resultaten har gått igenom. Detta har skett på historiska data eftersom det ger möjlighet att testköra en lång tidsperiod omgående, till skillnad från livedata där ett test behöver pågå under lång tid för att ge tillräckligt med underlag för att utvärdera.

Det finns ett antal begränsningar med denna typ av testning, där de tre största är:

- Stora avvikelser är mycket ovanliga
- Loggning av faktiska fel i nätet loggas inte idag på ett sätt som är enkelt att komma åt och koppla till data
- Mindre avvikelser är svåra att skilja från osäkerhet i modellen

För att få mer underlag att utvärdera som går att kopplat till kända ”fel” har vi därför även inducerat fel i mätdata.

Testerna visar att metoden som tagits fram flaggar av allt att döma större avvikelser korrekt, dvs. inga kända uppenbara avvikelser har missats och så gott som alla flaggor visar avvikelser som de som varit med och utvärderat bedömer är potentiella fel.

En viktig erfarenhet från testningen är att de flesta avvikelser som flaggats är så stora att de ändå hade upptäckts genom leveransstörningar eller betydande avvikelser i systemet som en operatör hade upptäckt. Det är möjligt att fel upptäcks något snabbare eller säkrare med denna nya metod, men för att verkligen tillföra ett stort värde jämfört med befintliga metoder behöver vi vidareutveckla lösningen så den även kan detektera mindre fel som är mer frekventa och ofta inte upptäcks. Vi har fått bra feedback, input och idéer för hur en sådan

vidareutvecklings skulle kunna ske. För att hitta dessa mindre fel idag krävas normal att extra hårdvara för övervakning installeras i fjärrvärmenätet. Den största fördelen med att vidareutveckla lösningen från detta projekt är att den inte kräver att någon ytterligare hårdvara installeras i nätet.

Den nätmodell som tagits fram primärt för analys av obalanser i nätet har även fler användningsområden där dess prestanda har varit mycket god. De två viktigaste områdena där vi fått nytta av denna modell är beräkning nätförlusternas bidrag till dimensionerande last och lastprognoser.

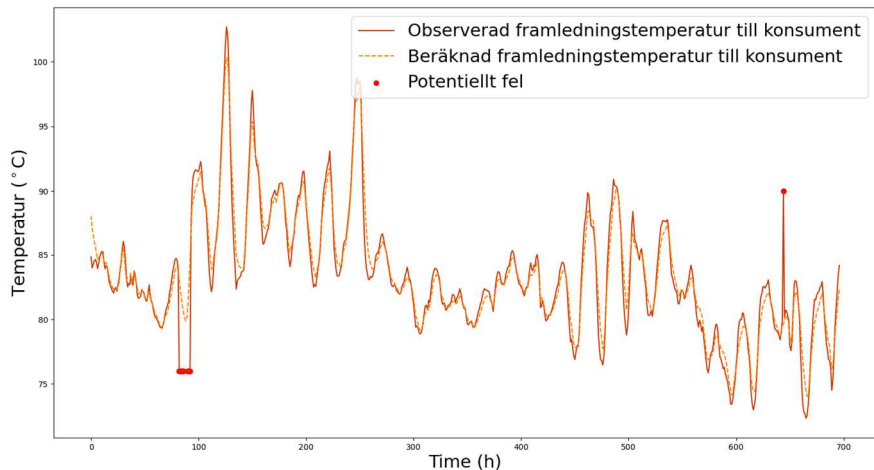
## Resultat

### Analys av obalanser i distributionsnätet

Inom projektet har det utvecklats en modell av distributionsnätet. Med hjälp av denna modell kan obalanser i nätet upptäckas. Modellen över distributionsnätet behöver anpassas efter varje enskilt nät, och behöver dessutom kontinuerlig input av mätdata från nätet. Uppmätt data från distributionsnätet jämförs med beräknade värden från modellen, och obalanser i nätet kan då upptäckas. Gränsvärden för när ett larm ska skickas behöver utvärderas och testas ytterligare, men en första ansats till gränsvärden som ger okej resultat har använts i detta fall.

Genom att kunna jämföra uppmätta värden med beräknade värden, och dessutom få varningar när dessa skiljer sig åt, kan användaren upptäcka fel och obalanser i distributionsnätet. Felen som upptäcks skulle till exempel kunna vara läckor eller rundgångar. I exemplet på gränssnitt som tagits fram kan användaren analysera obalanser i flöde mellan framlednings- och returrör, och för temperaturer i respektive rör.

I figuren nedan ses det uppmätta och det beräknade värdet för framledningstemperaturen på kundsidan. I det flesta tidpunkter följer kurvorna varandra, och man kan anta att det inte finns några obalanser i distributionsnätet. Strax innan tidpunkt 100 i grafen ser man dock att kurvorna skiljer sig åt markant, och man kan då misstänka att något är fel i distributionsnätet. Detta har också upptäckts av algoritmen och är därför markerat med röda prickar. Ytterligare en röd prick syns i slutet av tidsserien där algoritmen upptäckt en avvikelse mellan uppmätt och beräknade värden. De punkter som är markerade som röda prickar här, skulle alltså kunna bli till flaggor i den mock-up som tagits fram för nätövervakning (Grid Monitoring) och presenteras tidigare i denna rapport.



### Framtidens dimensionerande last

Inom projektet har det tagits fram flera olika metoder för att beräkna framtidens dimensionerande last ut olika perspektiv. Dessa olika metoder har sammanställts i ett gemensamt användargränssnitt. I detta gränssnitt kan användaren själva undersöka vilka faktorer som påverkar den dimensionerande lasten i framtiden. De olika metoder som tagits fram under projektets gång rör klimatförändringar och förändringar i byggnadsstocken.

Metoder kring klimatförändringarnas påverkan på den dimensionerande lasten har gjorts i flera steg. I ett första steg har det undersökts hur vädret på ett antal olika platser kommer att förändras fram till år 2100. Utifrån denna data, har det sedan gjorts antaganden kring hur temperaturen kommer att förändras vid de dimensionerande förhållandena. Separat har det undersökts hur den dimensionerande lasten påverkas av temperaturförändringar. Dessa två metoder har sedan kombinerats, och klimatförändringarnas påverkan på den dimensionerande lasten kan då beräknas.

För att undersöka hur förändringar i byggnadsstocken påverkar den dimensionerande lasten kan förändringarna delas upp i tre steg: renovering i befintliga byggnader, nytillkomna byggnader i nätet (främst nybyggnation) och förlust av befintliga kunder. Gällande renovering av befintliga byggnader har ett antal olika index tagits fram för att beskriva hur mycket den dimensionerande lasten påverkas av en viss typ av renovering. För nytillkomna byggnader kan den dimensionerande lasten för nyss färdigställda byggnader av liknande storlek användas för att uppskatta den dimensionerande lasten för de byggnader som byggs framöver. Ett antal kunder kan också antas försvinna framöver, denna förlust uppskattas baseras på befintlig dimensionerande last.




Genom att analysera alla dessa olika faktorer för förändringar i den dimensionerande lasten, kan osäkerheterna minska. I det föreslagna



användargränssnittet från användaren information som kring vilka faktorer som påverkar den dimensionerande lasten, och storleken på dessa.

### *Exempel*

Antag att användaren vill undersöka den dimensionerande lasten år 2040 och väljer RCP scenario 8,5. Utöver denna input behöver användaren fylla i hur byggnadsbeståndet kommer att förändrat fram till år 2040. I nedanstående bild ses ett exempel på hur denna input har fyllts i ett användargränssnitt. Användaren har sedan klickat på Run Simulation, och resultatdelen kommer då fram nedanför inputen. I resultatdelen kan användaren se hur den dimensionerande lasten ändras från referensåret fram till 2040, och vilka delar av input data som påverkar resultatet mest.




 FILTER
  EXPLORE
 

 FUTURE DESIGN LOAD
 
 NET X
 2565/2565 substations

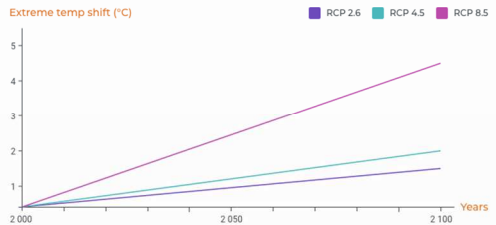
Reference year: 2021 Target year: 2040

DESIGN LOAD TREND
DESIGN LOAD ANALYSIS
FUTURE DESIGN LOAD

CLIMATE SCENARIO
RCP scenario input RCP 8.5
RCP scenario summary Data for: [NET X]

- Carbon dioxide emissions are tripled.
- Methane emissions increase sharply.
- The earth's population increases to 12 billion, leading to increased claim for grazing and arable land for agricultural production.
- Technological development towards increased energy efficiency continues, but slowly.
- High dependence on fossil fuels.
- High energy intensity.
- No additional climate policy.

Extreme temp shift (°C) 
■ RCP 2.6
 ■ RCP 4.5
 ■ RCP 8.5



BUILDING STOCK CHANGES

Renovation


Type	Percentage (%)
Envelope level 1	5
Envelope level 2	10
HVAC level 1	0
HVAC level 2	10
No renovation	75

Expansion


Type	Percentage (%)
Expansion	10

Losses

Type	Percentage (%)
Lost Customers	5




SYSTEM DESIGN LOAD FOR 2040
RCP 8.5
 2021
RUN SIMULATION

System design load (MW)



Weather at System Design Load

27/12-21 22:00

 -20 °C
 4 m/s NW
 X W/m<sup>2</sup>

System Design Load

61,4<sub>MW</sub>

10% risk  
67,0 MW

Flow at System Design Load

978<sub>m<sup>3</sup>/h</sub>

10% risk  
1 075 m<sup>3</sup>/h

Return temp. at System Design Load

40,2<sub>°C</sub>

10% risk  
44,2 °C

## Diskussion

Detta projekt har visat att det finns stora möjligheter att effektivisera fjärrvärmesystem genom att nyttja nya analysmetoder och modeller för att bland annat optimera design och hitta fel. Även om merparten värmen i fjärrvärmesystem genereras i anläggningar med mycket låg miljöpåverkan så finns det en hel del generering av värme i spetslastpannor som har betydligt högre miljöpåverkan. Eftersom dessa effektiviseringar främst påverkar vad som ligger på marginalen har den en potential att skapa stor nytta för miljön.

Den stora utmaningen är att sprida bättre algoritmer och metodik till så många bolag som möjligt så att värdena kan realiseras. För att göra detta krävs dels standardiserade lösningar och effektiv storskalig hantering av data. Den plattform som lösningen implementeras is har dessa förutsättningar. Andra förutsättningar som krävs är att resultaten kommuniceras och att potentiella mottagare av resultaten förstår deras potentiella besparing och agerar på den. Här finns ett inbyggt hinder eftersom lösningar för att beräkna dimensionerande lastbehov redan finns och "fungerar". Det är ofta inte den som utför analysen som har den största motivationen att förändra arbetssättet. Därför finns ett behov att kommunicera resultatet både till ägare och ledning på energibolag, och till de analytiker som faktiskt kommer arbeta med lösningen. Lyckas detta kan en stor del av besparingspotentialen från lösningarna realiseras.

Vid nyttjande av nätmodellen för att detektera potentiella fel är det viktigt att relatera osäkerheten i modellen till felens storlek, en modell kan bara användas för att detektera fel som är större än modellens osäkerhet. Osäkerheten varierar från nät till nät beroende på kvalitén på mätdata, men i storleksordningen 95% av den modellerade data avviker mindre än  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Rimligtvis kan då modellen med hög säkerhet detektera fel som orsakar avvikelser  $>1^\circ\text{C}$  under fler efterföljande timmar eller  $>2^\circ\text{C}$  under enstaka timmar utan att orsaka frekventa falsklarm orsakade av modellens osäkerhet. I ett fjärrvärmenät korresponderar en variation i temperatur på  $1^\circ\text{C}$  mot en variation i flöde på ca 2,5% (givet en delta temperatur på  $40^\circ\text{C}$ ). Detta innebär att modellen fungerar för att detektera relativt stora fel om den appliceras på ett helt fjärrvärmenät. För att detektera mindre fel bör man antingen sektionera nätet genom mätning i knutpunkter eller nyttja en alternativ metod. Under projektet har det kommit fram idéer till alternativa metoder som kan detektera mindre fel genom att jämföra temperaturer vid närliggande kundcentraler mot varandra. Dessa metoder kommer utforskas vidare efter projektet och är vår huvudhypotes för hur vi ska förbättra förmågan att detektera mindre fel.

## Publikationslista

### Publicerade publikationer

Hosseini M, Javanroodi K, Nik VM. "High-resolution impact assessment of climate change on building energy performance considering extreme weather events and microclimate – Investigating variations in indoor thermal comfort and degree-days", Sustainable Cities and Society, vol. 78, p. 103634, Mar. 2022. [Länk](#)

### **Accepterade publikationer som ännu ej publicerats**

Hosseini M, Moazami A, Nik VM. “Collective intelligence function in extreme weather conditions: High-resolution impact assessment of energy flexibility on building energy performance”, COBEE2022, July 2022, Montreal, Canada.

Hosseini M, Moazami A, Nik VM., “Quantitative assessment of indoor comfort and health risks due to extreme warm climate events for vulnerable residents”, BuildSim Nordic 2022, Aug 2022, Copenhagen, Denmark.

## Referenser, källor

Nik V. M., “Making energy simulation easier for future climate – Synthesizing typical and extreme weather data sets out of regional climate models (RCMs)“, *Applied Energy*, vol. 177, pp. 204–226, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.05.107

Bacher P., de Saint-Aubain P. A., Christiansen L. E., and Madsen H., “Non-parametric method for separating domestic hot water heating spikes and space heating,” *Energy Build.*, vol. 130, pp. 107–112, Oct. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.08.037.

Nik V. M., Mata É., and Sasic Kalagasidis A., “A statistical method for assessing retrofitting measures of buildings and ranking their robustness against climate change,” *Energy Build.*, vol. 88, pp. 262–275, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.015.

Nik V. M., Mata É., Sasic Kalagasidis A., and Scartezzini J.-L., “Effective and robust energy retrofitting measures for future climatic conditions—Reduced heating demand of Swedish households,” *Energy Build.*, vol. 121, pp. 176–187, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.03.044.

## Bilagor

- Administrativ Bilaga
- Whitepaper