

Digital tvilling för att modellera framtida energibehov i Göteborgs byggnadsbestånd: ett verktyg för ökad aktörssamverkan, effektivisering och samordning av energifrågor

Sammanfattning

Syftet med projektet är att vidareutveckla, testa och utvärdera en digital plattform med en energi- och klimatmodul kopplad till byggnadsbeståndsmodellering som är integrerad i en digital tvilling. Målet är att kunna stödja dialog och samverkan för att effektivisera beslutsprocesser kring energiförsörjningen i Göteborg samt utvecklingen av stadens energiplaner. Med hjälp av plattformen kan framtida utvecklingsscenarioer för energisystem visas samt konsekvenserna av olika åtgärder studeras och diskuteras, exempelvis den framtida effekt- och energisituationen i relation till Göteborgs hela byggnadsbestånd och en hållbar stadsmiljö. Modulerna avser också visualisera samspelet mellan olika energisystem (försörjning/leverans, behov) och underlätta samordning av utvecklingsarbetet och beslutsprocesser.

Projektet använder sig av byggnadsbeståndsmodellering, energi- och klimatberäkningar, scenarioanalyser, simuleringar och visualiseringar i digitala tvillingar, samt användartester. Arbetet bygger på en byggnadsbeståndsmodell (BSM) med energifokus som har utvecklats på Chalmers Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik, ett pågående europeiskt projekt kring uppbyggnaden av en portal för regional energibehovsana lyser (REDAP) och forskning som utförs i Vinnova-kompetenscentret Digital Twin Cities Center. BSMs energimodul vidareutvecklas och anpassas för att kunna beskriva dagens energiläge samt simulera olika utvecklingsscenarioer. För att säkerställa relevans involveras Göteborg Energi i hela processen genom ett antal workshoppar där energiparametrar formuleras tillsammans och analyserna samt visualiseringar utvärderas i dialog. Kontexten för projektet utgör Göteborg Energis arbete med energiplaner och implementering av miljö- och klimatprogrammet 2021–2030.

Bakgrund/problembeskrivning/forskningsfronten på området

Omställningen till hållbara och smarta el-, fjärrvärme och transportsystem kräver både ett systemperspektiv och aktörer som samverkar och fattar beslut baserat på ett gemensamt kunskapsunderlag. Energisystemen tillhör stadens grundläggande försörjningsstrukturer och spelar en viktig roll i stadens utveckling, ekonomi och klimatanpassning. Idag finns det mycket kunskap kring de olika energisystemen och klimatpåverkan men den finns utspridd på olika institutioner, företag, och kommuner eller delar av kommuner vilket innebär att många beslut tas sekventiellt (en efter en av de olika aktörerna). Det tar både lång tid, är kostnadsineffektiv och innebär att förståelsen för varandras problembilder är begränsad.

Digitaliseringen ger möjlighet att samla och samordna information kring energisystemen, att integrera olika modeller och, baserade på dessa, att visualisera konsekvenserna från olika energirelaterade åtgärder samt olika utvecklingsscenarioer. På så sätt kan energifrågorna studeras i sin helhet med också för olika delsystem (el, fjärrvärme, fjärrkyla) relaterade till olika strukturer (byggnader, transporter, markanvändning), parametrar (klimatpåverkan, kWh) och ägarförhållanden. Digitala tvillingar som etablerats mer och mer de senaste åren (Ketzler et al, 2020), och inte minst på Chalmers inom ramen för det nya centret Digital Twin Cities Center (DTCC)¹, ger dessutom möjlighet att representera energirelaterad information (tekniska system, utveckling av energiförsörjningssystem, konsekvenser/påverkan på andra

¹ <https://dtcc.chalmers.se/>

system) på ett visuellt och interaktivt sätt. Digital integration möjliggör också att flera aktörer kan träffas och diskutera energifrågorna tillsammans för att skapa hållbara livsmiljöer.

Erfarenheter från till exempel Zürich har visat att beslutsprocesser i stadsutvecklingsprojekt kan effektiviseras väsentligt och leda till hållbara strategier som är klimatanpassade, gynnar miljön, bidrar till att öka stadens livskvalité och en hållbar ekonomi genom en databaserad samordning av olika energiaktörer (Zürich Energi, Gas Zürich, stadsutveckling, kommunala och privata bostadsbolag, miljöavdelningen m.fl.). Bland annat har man tagit fram en digital byggnadsbestånds- och scenariomodell (Heeren et al, 2013) för att stödja utvecklingen av stadens energiplaner (Stadt Zürich, 2020) och klimatmål 2050 (1 ton CO₂- och 2000-Watt-samhälle²) som också blev underlag för beslutsfattare och kom att styra investeringar, till exempel i ett fjärrkylnät.

Syftet med det här projektet är att vidareutveckla, testa och utvärdera en energi- och klimatmodul kopplad till byggnadsbeståndsmodellering som inkluderar en detaljerad beskrivning av individuella byggnadernas energibehov för både bostads- och icke-bostadshus som finns idag, samt en scenariefunktion för att möjliggöra olika projektioner av framtida efterfrågan och -försörjning för uppvärmning, el och kylning integrerad i en digital tvilling. Målet är att kunna stödja dialog och aktörssamverkan för att effektivisera beslutsprocesser kring dagens energiförsörjning genom att kunna visa framtida utvecklingsvägar för energisystem, möjliga alternativa lösningar och deras konsekvenser inklusive beräkning av deras bidrag till olika klimatmål. Den digitala tvillingen för Göteborgs byggnadsbestånd möjliggör också modellering av människors förflyttningsmönster (olika transportsätt) kopplade energianvändning. Den digitala tvillingen kommer därför byggas för framtida tillägg av en mobilitetsmodul i ett uppföljningsprojekt.

Idé/hypotes/föreslagen lösning/omfattning av projektet

Hypotesen är att samordning av energiinformation och byggnadsbeståndsmodeller i en digital tvilling kan bidra till en effektivisering av beslutsprocesser. Olika aktörer med olika kompetensområden kan samlas kring en gemensam modell och får en förståelse för varandras problembilder där energiinformationen synliggörs och därmed kan ta en tydlig plats i diskussionen. Tanken är att modellen fungera som ytterligare informationskälla för framtidens investeringar i hållbara el- och energiförsörjningssystem. Vidare ska modellen kunna avbilda dagens energiförsörjning i hela Göteborgs byggnadsbestånd samt visa möjliga utvecklingsscenarioer för energiförsörjningssystem och vägar uppnå miljö- och klimatmål.

Den föreslagna lösningen och det förväntade resultatet är en digital plattform med ett modulsystem som i ett första skede inkluderar en energi- och klimatmodul av hela Göteborgs byggnadsbestånd och en scenariomodul med framtidens utvecklingar (enligt stadsutvecklingsplaner). Modulerna är integrerade i en digital tvilling med representationer av olika energisystem och -lösningar i 2D och 3D för att stödja dialog mellan olika aktörer i arbetet med energiplaner. Med hjälp av modulerna kan

- olika utvecklingsscenarioer och konsekvenserna av åtgärder studeras, t.ex. den framtida effekt- och energisituationen i relation till byggnadsbeståndet och en hållbar stadsmiljö,
- samspelet mellan olika energisystem (leverans/behov) visualiseras, eventuella målkonflikter identifieras och därmed utvecklingsarbetet och beslutsprocesser samordnas,

² https://www.stadt-zuerich.ch/portal/en/index/portraet_der_stadt_zuerich/2000-watt_society.html

- omställning från sekventiellt till ett mer holistiskt beslutsfattande kring Göteborg Stads energifrågor stöddas.

Projektet inkluderar alltså energiförsörjning och -behov relaterade till alla byggnader som finns i dagens Göteborg och planerade byggnader fram till 2050. Ett mer långsiktigt utvecklingsperspektiv av plattformen inkluderar ett modulsystem utvidgat med till exempel en kostnads- eller mobilitetsmodul.

Metod

Projektet använder sig av byggnadsbeståndsmodellering (BSM), scenarioanalyser, visualiseringar och simuleringar i digitala tvillingar, samt användartester. Arbetet tar sin konkreta utgångspunkt i en BSM för energianvändning i Göteborgs byggnader och som har utvecklats på Chalmers (Österbring et al, 2016). I denna BSM kan alla typer av byggnader beskrivas och modelleras individuellt samt aggregeras till önskat skala (Österbring et al, 2018). Syntetiska byggnader kompenserar för olika typer av data gap. I det här projektet kommer kompletterande data samlas in och genereras för icke-bostadshus (lokaler, kontor, skolor) för att ta fram en så komplett och korrekt beskrivning av byggnadsbeståndet och på så sätt bidra till förbättrade modellering och scenarioanalyser. För detta kommer en scenariomodul att utvecklas som inkluderar renoveringsåtgärder, nybyggnation och transformation av byggnadernas funktion (elbilar laddas via el-system integrerade i byggnader, solenergilösningar genererar el på plats) per år och fram till år 2030 och 2050. Exempel på indikatorer som kan studeras är behovet av primärenergi, levererad energi, och CO₂ kopplade till leverans av värme, el och kyla över tid.

BSM-energiomodulen kommer att utvecklas och testas med olika energiaktörer i Göteborg (Göteborg energi, förvaltningar i kommunen, etc.) i ett antal workshoppar. Bland annat tar vi fram parametrarna som ska studeras i de olika scenarierna i ett antal workshoppar tillsammans med energiaktörerna i Göteborg för att säkerställa relevans, inte minst genom att scenarierna länkas till Göteborgs nya miljö- och klimatprogram och arbetet med energiplanerna. Generellt ger workshop-formatet utrymme att testa och utvärdera olika aspekter, allt val av relevanta parametrar över lämplighet av visualiseringar och interaktion med modellen i den digitala tvillingen till effektivitet av beslutsprocessen.

Arbetet baseras på också på resultat från det pågående europeiska forskningsprojektet REDAP – Regional Energy Demand Analysis Portal³ samt erfarenheter från arbetet med utveckling av kommunala energiplaner i Zürich (Heeren et al, 2012). Byggnadsbeståndsmodeller integreras och visualiseras i DTCC plattformen i samarbete med DTCCs forskningsområden ”Digital Plattform” (RA0) och ”Visualisering och Auralisering” (RA6)⁴, se även Bilaga 1 för DTCCs organisationsstruktur. I projektet undersöks behov och lämplighet av olika användargränssnitt som VR, AR och web-baserade gränssnitt vilket också kan länkas till RA6 forskningskompetenser.

Teamet består av 4 forskare verksamma på institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik (ACE) samt Matematiska vetenskaper (MV) på Chalmers.

Liane Thuvander, docent på ACE, är projektledare och har det övergripande ansvaret för kommunikation med de olika aktörerna som involveras i studien, genomförande av workshoppar och visualisering av energiinformationen. Liane har gedigen erfarenhet av renoveringsprocesser, byggnadsbeståndsmodellering med fokus på energi och är ledare för

³ <https://www.redap.eu/>

⁴ <https://dtcc.chalmers.se/research/>

forskningsområdet ”Visualisering och Auralisering” (RA6) i DTCC. *Holger Wallbaum*, professor i hållbart byggande och vice prefekt för nyttiggörande på ACE, är ansvarig för behovsanalysen och scenario-utvecklingen. Han har lång erfarenhet i byggnadsbeståndsmodellering och beslutsstöd för att utveckla energi- och klimatstrategier för städer. Holger har framgångsrikt drivit energimodelleringsprojektet i Zürich, London och Göteborg. *Vasilis Naserentin*, ansvarig programmerare för den digitala plattformen på DTCC och hemvist på MV, har det övergripande ansvaret för anpassning och integration av data och modellen i DTCC plattformen. En *postdok* med ansvar för vidareutveckling av byggnadsbeståndsmodellens energimodul, inklusive datainsamling och scenariomodellering, samt med ansvar för den operationella integration av energimodulen i digitala tvilling plattformen och relaterade energivisualiseringar kommer att anställas på ACE.

Både Thuvander och Wallbaum är involverade i forskningsprojektet REDAP vars resultat kommer att ligga till grund för det här projektet. Alla deltagare kommer att vara involverade i workshopparna, syntesen och publicering av resultaten.

Tidplan/fördelning resurser

Projektet kommer att pågå under tre år med start i april 2021 och slut i december 2023. Arbetet kommer att genomföras i 4 arbetspaket (APs). AP1: Vidareutveckling av byggnadsbeståndsmodellens energimodul, AP2: Scenarioanalyser och visualiseringsstrategier, AP3: Integration i digitala tvilling plattformen (DTCC) samt AP4: Dokumentation och spridning av resultat. I Gantt schemat i Bilaga 2 redovisas alla planerade aktiviteter inom varje AP.

Arbetet kommer att utföras av två seniora forskare (Liane Thuvander och Holger Wallbaum), i en omfattning motsvarande 10 % respektive 5 % av en heltidstjänst, en post-dok i en omfattning motsvarande 100 % av en heltidstjänst, och en utvecklare kopplat till DTCC (Vasilis Naserentin) i en omfattning motsvarande 5 % av en heltidstjänst. Resurser avsätts också för genomförande av workshoppar och publikation i open access tidskrifter.

Kostnadsberäkning inkl. timpriser personal för det sökta beloppet

	2021 (9 mån)	2022 (12 mån)	2023 (12 mån)
Lönekostnader inkl. sociala avgifter (exkl. OH) <i>Thuvander (735 kr/h), Wallbaum (1035 kr/h), Naserentin (505 kr/h), Post-dok (460 kr/h)</i>	795 000	1 085 000	1 110 000
Lokaler	87 000	119 000	122 000
Konferenser, open access publikationer, workshoppar, data	40 000	40 000	40 000
Indirekta kostnader	385 000	526 000	538 000
Summa (kr)	1 308 000	1 770 000	1 810 000
		Totalt (kr)	4 888 000

Beskriv nytta för Göteborg Energi

Inom projektet kommer olika data och resultat generas som Göteborg Energi kan använda för framtida egna analyser eller som inspirationskälla för nya typer av analyser. Utöver det så kommer det att tas fram ett antal kortfilmer för att illustrera olika scenarios och dessa kan Göteborg Energi använda för att kommunicera till politiker, allmänheten och kunder (för inspiration se <https://www.youtube.com/watch?v=-4btcZW-g1c>). Högupplösta (detaljerade) energibehovsanalyser på byggnadsnivå för olika typer av byggnader för både dagens befintliga byggnader men även för olika renoveringsalternativ och för framtida utbyggnadsområden ger kunskap om var potentiella investeringar kan eller bör göras.

Göteborg Energi kommer aktivt kunna påverka forskningen och använda resultaten för utvecklingen av energiplaner för Göteborg och få stöd att framföra företagets perspektiv vid implementering av Göteborg Stads miljö- och klimatprogram 2021–2030. Scenarierna som tas fram i projektet har energiförsörjning som utgångspunkt och kan på så sätt även ge viktig input kring Göteborg Energis framtida investeringar och utveckling av affärsplaner. Anställda från Göteborg Energi kommer att involveras i workshoppar för att ta fram för företaget relevanta parametrar att inkludera i modellen liksom påverka vilka scenarier som utvecklas och som anses vara mest lämpliga ur företagets perspektiv. På så sätt blir Göteborg Energi delaktigt i utveckling av byggnadsbestandsmodellen med fokus på energi, dess integration i en digital tvilling och kan säkerställa att modellens innehåll är anpassat efter Göteborg Energis behov. När modellen är integrerad i den digitala tvillingen med ett antal utvecklingsscenarier kommer vi att presentera resultaten för företaget.

Kommunikation

För att få en bättre förankring av projektet och större spridning av resultaten kommer en referensgrupp tillsättas med representanter från olika förvaltningar inom Göteborg Stad som hanterar energi- och klimatfrågor som t.ex. Miljöförvaltningen, Stadsbyggnadskontoret och Lokalförvaltningen, samt representanter från Göteborg Energi, Västra Götalandsregionen, och Sveriges Kommuner och Regioner (SKR).

Utöver rapportering till Göteborg Energi kommer resultat kommuniceras via olika kanaler, i form av presentationer på seminarier, till exempel inom ramen för DTCCs seminarier som har en nationell spridning bland annat flera kommuner runt om i Sverige; på minst 2 konferenser, en riktade till branschen, till exempel Fastighetsbranschens energidag, och en riktade till akademien, till exempel Conference on Building Energy & Environment eller Computational Urban Planning and Urban Management; samt 2 open access publikationer i vetenskapliga tidskrifter, exempelvis *Energy and Buildings* och *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science* och 2 artiklar i populärvetenskapliga tidskrifter med en bred läsekrets såsom *Energi & Miljö* och *Bygg & Teknik*. Inte minst kommer deltagarna på workshopparna och frukostmöten sprida erfarenheter om projektet internt inom sina respektive organisationer.

Referenser

- Heeren, N; Wallbaum, H & Jakob, M (2012). Towards a 2000-Watt Society - Assessing Building-Specific Saving Potentials of the Swiss Residential Building Stock. *Int J of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 3(1) 43–49. <https://doi.org/10.1080/2093761X.2012.673917>.
- Heeren, N; Jakob, M; Martius, G; Gross, N & Wallbaum, H (2013). A Component Based Bottom-up Building Stock Model for Comprehensive Environmental Impact Assessment and Target Control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.064>.
- Ketzler, B; Naserentin, B; Latino, F; Zangelidis, C, Thuvander, L & Logg, A (2020). Digital Twins for Cities – A State of the Art Review. *Built Environment*. (in print)
- Stadt Zürich (2020). *Masterplan Energi der Stadt Zürich*. [2020-11-14] https://www.stadt-zuerich.ch/epaper/DIB/DIB_DS/masterplan_energie_2020_output/web/html5/index.html?&locale=DEU.
- Österbring, M, Mata, É; Thuvander, L; Mangold, M; Johnsson, F & Wallbaum, H (2016). A Differentiated Description of Building-Stocks for a Georeferenced Urban Bottom-up Building-Stock Model. *Energy and Buildings*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.060>.
- Österbring, M; Thuvander, L; Mata, É & Wallbaum, H (2018). Stakeholder Specific Multi-Scale Spatial Representation of Urban Building-Stocks. *International Journal of Geo-Information*, 7 (5). <https://doi.org/10.3390/ijgi7050173>.