

DigitalTwin4PED

Dialog- och kvalitetssäkringsstöd för energipositiva stadsdelar med hjälp av digital tvilling energimodeller



Liane Thuvander, Elena Malakhatka, Sara Aboueheid,
Jenny Enerbäck, Ann-Brith Strömberg, Holger Wallbaum

Omslagsbild: Parallella koordinater diagram - visualisering av resultaten från parametriska simuleringar för olika kombinationer av renoveringspaket.

Framtagen av: Sara Abouebeid

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Dialog- och kvalitetssäkringsstöd för PEDs med hjälp av digital tvilling energimodeller	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Dialogue and Quality Assurance Support for PEDs by Digital Twin District Energy Models	
Universitet/högskola/företag Chalmers Tekniska Högskola Aktiebolag	Avdelning/institution Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Adress Sven Hultins gata 6, 412 96 Göteborg	
Namn på projektledare Liane Thuvander	
Namn på ev övriga projektdeltagare Chalmers: Elena Malakhatka, Sara Aboubeid, Holger Wallbaum, Jenny Enerbäck, Ann-Brith Strömberg Partnerorganisationer: Framtiden AB, Framtiden Utveckling AB, Poseidon, Stadsfastighetsförvaltningen Göteborg Stad, Göteborgs Universitet, Chalmers industriteknik, Chalmers Next Labs, Johanneberg Science Lab, Övriga bidragande organisationer: White arkitekter, Digital Twin Cities Centre	
Nyckelord: 5-7 st Beslutsstöd, Dialogverktyg, Digital Tvilling, Energimodellering och optimering på stadsdelsnivå, Klimatpåverkan, Positive Energistadsdel PED, Renovering	

Förord

Projektet *Dialog- och kvalitetssäkringsstöd för PEDs med hjälp av digital tvilling energimodeller (DT4PED)* har genomförts inom det europeiska programmet Joint Programming Initiative Urban Europe tillsammans med konsortiepartner i Österrike och Turkiet och den svenska delen även inom ramen för utlysningen Viable Cities: Energipositiva stadsdelar för klimatneutrala städer. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och de svenska projektparterna Framtiden AB, Framtiden Utveckling AB, Poseidon samt Stadsfastighetsförvaltningen Göteborg Stad. Ytterligare finansiering har erhållits av Styrkeområde Energi på Chalmers samt en donation från den danska fonden ”Fonden af 20. December”. Projektet har också länkats till det nationella Vinnova kompetenscentret Digital Twin Cities Centre (Diariennr. 2019-00041). Ett särskilt tack till alla projektpartner för engagemang och kunskapsbidrag och alla deltagare i våra bredare workshops med energiföretag, kommuner, arkitekter, konsulter. Ett stort tack även till våra internationella partnerorganisationer e7, Austrian Institute of Technology AIT, Ekodenge, Sakarya University of Applied Sciences för givande utbyten i projektmöten, workshops, seminarier och studiebesök. Till slut ett tack till alla kollegor inom den internationella gruppen ”Expert Support Facility” för samtal och kritiska reflektioner kring PED.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Summary	4
Inledning/Bakgrund	4
Genomförande	6
Resultat	12
Diskussion.....	22
Publikationslista.....	24
Referenser, källor.....	29
Bilagor	29

Sammanfattning

Projektet ”Dialog- och kvalitetssäkringsstöd för PEDs med hjälp av digital tvilling energimodeller” (DT4PED) har utvecklat och testat en digital tvilling (DT) Viewer för området Jättesten i Göteborg. DT Viewern är ett kraftfullt verktyg för att informera planering och beslutsfattande kring klimatomställning, energipositiva stadsdelar (PED) och energisamhällen i befintliga urbana områden.

Resultaten visar att utvecklingsprocessen är lika viktigt som själva verktyget. Ett samskapande tillvägagångssätt med projektpartner och bredare intressentgrupper i form av workshops, seminarier och regelbundna möten var avgörande för gemensamt lärande och för att kunna utveckla lösningar som svarar mot olika perspektiv och behov. DT-Viewern integrerar data från olika källor samt energi- och optimeringsmodeller via ett lättanvänt och visuellt tilltalande användargränssnitt. I en egenutvecklad loggbok dokumenteras data, antaganden och modelleringsresultat för att underlätta återanvändning i framtida projekt. Optimeringen genomfördes på områdesnivå för utvalda renoveringsåtgärder (energieffektivitet) och värmesystem, förnybar energi (solenergi PV) och batteri-lagring (BESS) över en tioårshorisont med timupplösning, med mål att minimera livscykelkostnader och klimatpåverkan från drift och inbyggt i material. Tillämpad på Jättesten och utifrån de valda lösningarna visar analysen att det är mycket utmanande att uppnå full PED-status. Medan optimerade lösningar minskade elberoendet (till ~63 % med PV och BESS under volatila priser) och det totala koldioxidutsläppet (med ~13 % jämfört med baslinjen), uppnåddes varken fullständig netto-noll energiimport, full koldioxidneutralitet eller ett energiöverskott. Optimala lösningar var känsliga för lokala förhållanden, särskilt på grund av låg koldioxid i fjärrvärmesystem och volatilitet i elpriserna.

Analysen av intressentkonfigurationer, styrningsmodeller och värdeskapande processer visade ett mångdimensionellt (ekonomiskt, miljömässigt, socialt) värdeskapande men också vissa motsättningar mellan olika aktörstyper, missade möjligheter på grund av begränsat intressentdeltagande och styrning utifrån projektets teoretiska ansats. Projektet utforskade också möjligheten till utveckling av affärsmodeller som länkar PED/energigemenskaper och DT. Resultaten visar att DT kan ses som en del av styrningsinfrastrukturen och kan fungera som kunskapsplattformar där plan och verklighet jämförs, vilket stärker förutsägbarhet och legitimitet. Men eftersom det inte finns några etablerade affärsmodeller för vare sig PED eller DT behövs ytterligare forskning och innovation.

Projektets främsta bidrag är energi- och klimatmodellering på områdesnivå i stället för byggnadsnivå, framtagning av ett verktyg, en webbaserad DT-Viewer, för beslutsstöd samskapat med projektpartner, optimering av energieffektivisering, kostnader och klimatpåverkan, samt omtolkning av PED-begreppet till att inkludera klimatpåverkan. I ett nästa steg vidareutvecklas DT-Viewern av partnerorganisation Chalmers Next Labs. Utvecklingen fokuserar på anpassning till olika målgrupper, förbättrade data-underlag och transparens, skalbarhet för tillämpning av modellen i andra kontext (Göteborg, nationellt och internationellt) samt utökad scenariotestande relaterat till energisystem, renoveringsåtgärdspaket och målbilder.

Summary

The project *"Dialogue and quality assurance support for PEDs using digital twin energy models" (DT4PED)* has developed and tested a Digital Twin (DT) Viewer for the area of Jättsten in Gothenburg. The DT-Viewer is a powerful tool for informing planning and decision-making around climate transition, energy-positive districts (PEDs) and energy communities in existing urban areas.

The results show that the development process is just as important as the tool itself. A co-design approach with project partners and wider stakeholder groups in the form of workshops, seminars, and regular meetings was essential for joint learning and to be able to develop solutions that respond to different perspectives and needs. The DT-Viewer integrates data from various sources as well as energy and optimization models via an easy-to-use and visually appealing user interface. In a self-developed logbook, data, assumptions, and modelling results are documented to facilitate reuse in future projects. The optimization was carried out at the district level for selected renovation measures (energy efficiency) and heating systems, renewable energy (solar PV) and battery storage (BESS) over a ten-year horizon with hourly resolution, with the goal of minimizing life cycle costs and climate impact from operation and embedded in materials. Applied to Jättsten and based on the chosen solutions, the analysis shows that it is very challenging to achieve full PED status. While optimized solutions reduced electricity dependency (to ~63% with PV and BESS under volatile prices) and total carbon emissions (by ~13% compared to baseline), neither full net-zero energy input, full carbon neutrality, nor an energy surplus were achieved. Optimal solutions were sensitive to local conditions, especially low carbon dioxide in district heating and volatility in electricity prices.

The analysis of stakeholder configurations, governance models and value-creating processes showed a multidimensional (economic, environmental, social) value creation but also some contradictions between different actor types, missed opportunities due to limited stakeholder participation and governance based on the project's theoretical approach. The project also explored the possibility of developing business models linking PED/energy communities and DT. The results show that DT can be seen as part of the governance infrastructure and can serve as knowledge platforms where plan and reality are compared, which strengthens predictability and legitimacy. However, since there are no established business models for either PED or DT, further research and innovation is needed.

The main contributions of the project are energy and climate modelling at the area level instead of the building level, the development of a tool, a web-based DT-Viewer, for decision support co-designed with project partners, optimisation of energy efficiency, costs and climate impact, and reinterpretation of the PED concept to include climate impact. In the next step, the DT Viewer is further developed by the partner organization Chalmers Next Labs. The development focuses on adaptation to different target groups, improved data and transparency, scalability for application of the model in other contexts (Gothenburg, nationally and internationally) and extended scenario testing related to energy systems, renovation measures packages and target images.

Inledning

Som svar på klimatförändringar och klimatmål, genomgår städer en omställning med ökande fokus på energiresurseffektivitet och inkludering inte minst kopplade till befintliga byggnader. Bland strategierna som driver omställningen finns konceptet Energipositiva Stadsdelar (Positive Energy Districts PED), stadsområden som balanserar lokal energiförbrukning med förnybar produktion på plats och som uppnår en nettopositiv energiprestanda under ett år (JPI 2021). Att omvandla befintliga stadsdelar PED kräver integrerad planering för att hantera komplexa energi, kostnads- och livscykelutmaningar.

Energi- och klimatomställning på områdesnivå ställer nya krav på planeringsverktyg och datainfrastrukturer. Etablerade metoder modellerar byggnader oftast individuellt och förbiser lokala energisystempotentialer som delad förnybar energi och batterilagring medför. Även om modellerna är tekniskt robusta, saknar dessa ofta kapacitet för integration över olika skalor och domäner och tenderar att vara otillgängliga för icke-experter. Dessutom är urbana energisystem alltmer dynamiska med realtidsinteraktioner mellan distribuerad produktion, flexibla laster och digitala styrningar vilket ytterligare utmanar statisk modellering och planering. Att designa och utvärdera PED innebär att navigera komplexa ömsesidiga beroenden mellan byggnader, energisystem, intressenter och regelverk. Digitala tvillingar ses som ett lovande verktyg för att stödja urban energi- och klimat-planering. Men även om digitala tvillingar har fått stor användning inom tillverkning och drift, är deras tillämpning inom planering, förvaltning och omvandling fortfarande underutforskad, särskilt på stadsdelsnivå.

Målet med projektet *Dialog- och kvalitetssäkringsstöd för PEDs med hjälp av digital tvilling energimodeller (DT4PED)* var att utveckla en kvalitetssäkringsprocess baserad på en digital tvilling (DT) som ett dialog- och beslutsverktyg, för att informera planering och stödja beslutsfattande kring klimatomställning, PED och energisamhällen i befintliga områden. Mer specifikt, att:

- Utveckla en DT för ett pilotområde.
- Använda en DT för att generera scenarier och utforska nya teknologiska och processrelaterade lösningar med potential för uppskalning, inklusive affärsmodeller och den sociala dimensionen.
- Använda en DT för att stödja intressentdialog, beslutsfattande och förenkla samarbete.
- Bygga överförbar kunskap till andra områden med PED-ambitioner gällande klimatneutralitet och energieffektivitet.

I vårt PED-ramverk ingick energi för användning av byggnader (uppvärmning, kylning, varmvatten, drift), hushållsel och verksamhetsel, lokal energiproduktion, energilagring och energiflexibilitet. Eftersom Sveriges energikällor är har låg klimatpåverkan jämfört med andra länder i Europa inkluderade vi även klimatpåverkan från produktion av material, det vill säga ett livscykelperspektiv för energieffektiviseringsåtgärder (renovering).

Projektet genomfördes oktober 2022 till december 2025 med Chalmers som projektledare och medelförvaltare. Projektet genomfördes inom ramen för JPI Urban Europe¹ och tillsammans med ett internationellt konsortium med partner i Österrike, Wien och Turkiet, Sakarya. Det svenska projektet finansierades av Energimyndigheten samt våra projektpartners Förvaltnings AB Framtiden, det allmännyttiga bostadsbolaget Poseidon, Framtiden Byggutveckling AB och Stadsfastighetsförvaltningen Göteborg Stad. Ytterligare finansiering erhöles från Styrkeområdet Energi på Chalmers samt en donation från den danska fonden ”Fonden af 20. December”.

Genomförande

Projektet i sin helhet tillämpade en transdisciplinär ansats där huvudfrågeställningar, avgränsningar och vägval diskuterats och utvecklats iterativt och tillsammans med projektpartner i workshops, seminarier och fokusgruppsmöten. En Urban Living Lab (ULL) fungerade som PED-pilotområde. Fördjupningsstudierna bygger på ett interdisciplinärt arbetssätt med forskare och experter inom arkitektur, bygg- och energimodellering, programmering, matematik och ekonomi där olika metoder användes utifrån delstudiernas behov allt från behovsinventering, scenarioanalyser, intressentanalyser, energimodellering, optimering, DT konceptutveckling, programmering, visualisering, gränssnittsdesign för webbaserad DT Viewer och utvärderande användarstudie.

Jättesten som Urban Living Lab (ULL)

Området Jättesten i Göteborg användes som ULL. Byggnaderna ägs och förvaltas av två kommunala aktörer: bostadsbolaget Poseidon (hyresbostäder och lokaler) och Stadsfastighetsförvaltningen (skola och förskola), Figur 1. Utgångspunkt för utforskandet av PED-möjligheter med en DT var att inkludera renoveringsalternativ för befintliga byggnader kombinerad med förtätning. Tyvärr blev detaljplanen för nybyggnationen försenat och därför kom vårt projekt att endast inkludera befintliga byggnader. I framtida utvecklingar kan nybyggnation enkelt läggas till.

Området är ett typiskt område i Göteborg representativt för många bostäder byggda under sent 1940-tal samt under 1950-talet. Kunskap som genereras för området har därför stor uppskalningspotential—den kan översättas och tillämpas på liknande områden i staden och nationellt.

¹ <https://jpi-urbaneurope.eu/project/digitaltwin4peds/>



Figur 1. Urban Living Lab Jättsten i Göteborg med blandad bebyggelse: bostäder, skola, förskola och lokaler. Bakgrundskarta: Google Maps.

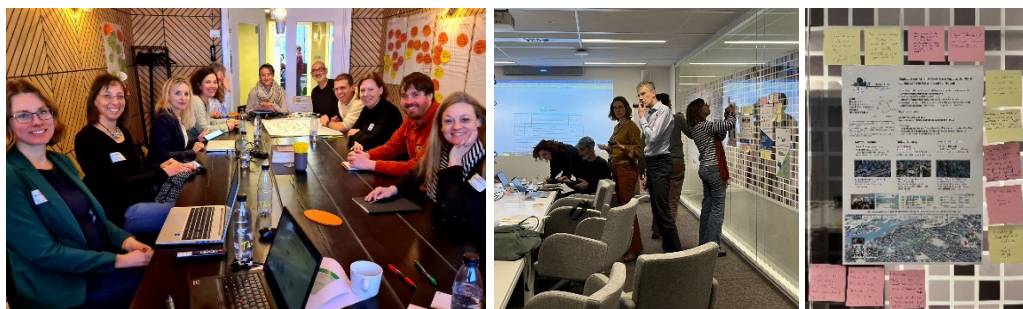
Fokus och arbetspaket

Projektet fokuserade på fyra huvudområden och genomfördes i sju arbetspaket. Fokus var:

- Utveckling av *PED-ramverk och kvalitetssäkringsprocess*. Inkludering av de grundläggande PED-pelarna, cirkularitetsdimensionen och tillämpning av PED-ramverk i olika skeden av byggnadernas livslängd.
- Utveckling av en *DT Viewer* för att simulera och visualisera potentiella framtida scenarier för energieffektivisering (renovering) och förnybar energi. Energimodellering och optimering på områdesnivå.
- *Intressentanalyser* för att få en strukturerad förståelse för de centrala aktörerna. Ett ramverk med ett flerlayersperspektiv tillämpades.
- Utforskning av *affärsmässighet* i företagsdrivna PED/energigemenskaper och DT. Analysen baserad på ett fasindelad ramverk indelat i bildande, målsättning, investering och drift av PED/energigemenskaper.

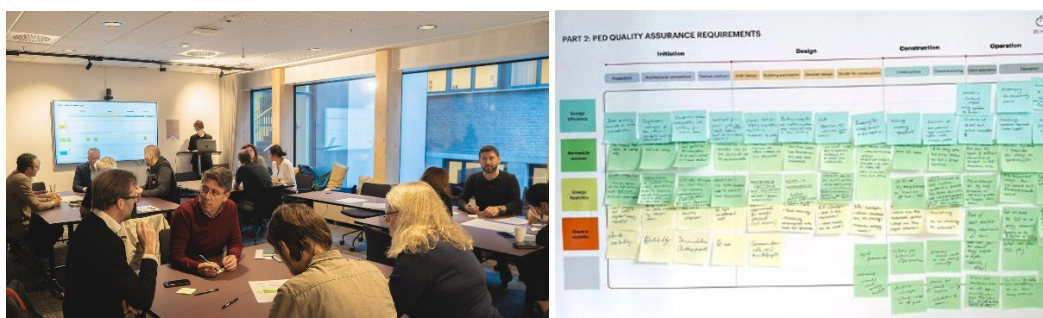
Arbetspaketen (AP) är: *API Projektledning* (Chalmers) med målet att säkerställa framgångsrikt genomförande med en målorienterad process inom det svenska konsortiet och bidra till det internationella konsortiet. Regelbundna projektmöten, kommunikation och dokumentation av aktiviteter samt deltagande i internationella ledningsgruppsmöten. De flesta projektmöten har hållits online.

AP2 Input till Expert Support Facility, ESF (Chalmers) med målet att bidra med expertkunskap för gemensamt kunskapsbygge om PED inom JPI Urban Europe/ Driving Urban Transitions (DUT). Chalmers deltog i internationella möten, seminarier, workshops samt bidrog till utveckling av ett PED-landskap ramverk och presenterade resultat på Deep Dive webinar inom temat Digital Tvilling och Intressentmedverkan. ESF-arbetet genomfördes med deltagare från internationella PED-projekt finansierade inom samma JPI utlysning. Totalt nio möten, varav två på plats (Figur 2) och sju online. Deep Dives har sammanfattats i en kortrapport per Deep Dive.



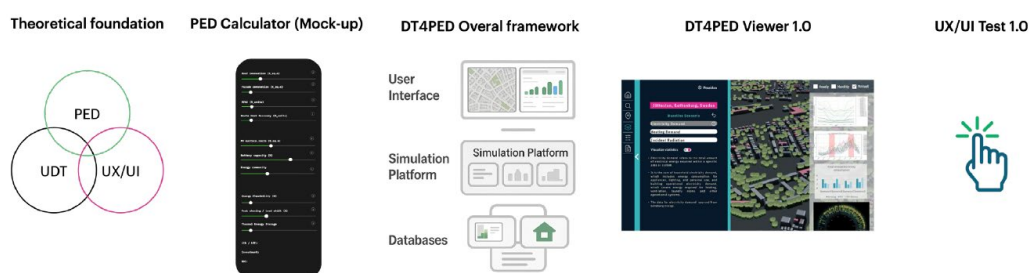
Figur 2. Expert Support Facility möten. Planering av aktiviteter 30–31 januari 2023 i Köpenhamn (vänster). Projektpresentationer med feedback (mitten, höger). Arbetspaket 2. Foto: Sara Ghaem Sigarchian (vänster), Liane Thuvander (mitten, höger)

AP3 Utveckling av PED-ramverk och kvalitetssäkringsprocess (Chalmers) med målet att definiera processen genom att utforska potentialen av en DT länkad energimodell och utveckla kravspecifikation för en DT i olika skeden, från design till förvaltning. Litteraturstudier, två samskapande workshops med internationellt team för bredare input och diskussioner (Figur 3) och workshops med det nationella projektteamet. Workshopparna fokuserade på kartläggning och backcasting. Resultaten har sammanfattats i två konferensartiklar.



Figur 3. Workshop kring kvalitetssäkring PED och DT med deltagare från internationellt konsortium, Sverige, Turkiet och Österrike, oktober 2023 (vänster). Ifylld mall för PED-kravspecifikation och kvalitetssäkring (höger). Arbetspaket 3. Hämtat från: Malakhatka et al. (2024). Foto: Liane Thuvander

AP4 Implementering av processen och utveckling av DT-Viewer anpassat för Urban Living Lab Jättesten (Chalmers) med målet att utveckla, testa och utvärdera potential av en DT på områdesnivå. Programmering av backend och frontend (användargränssnitt), energisimulering och optimering. AP4 kan ses som projektets kärnarbetspaket. Följande steg genomfördes: Framtagande av gemensam vision och roadmap för områdesutveckling, utveckling av DT koncept för PED, datainsamling, framtagande av baslinje och renoveringsscenarier, energimodellering för PED-komponenter och optimering utifrån energieffektivitet, kostnader och klimatpåverkan, design och test av användargränssnitt. Figur 4 visar processtegen för framtagning DT Viewern. I AP4 ingick också intressentanalyser med fokus på konfigurationer, styrningsmodeller och värdeskapandeprocesser genom workshops, dokumentstudier och en multi-teoretisk lins som kombinerar flerlagerperspektiv, ULL-ramverk, innovationsekosystemteori och Cambridge Value Mapping Tool. Samskapande workshops med nationella projektpartner och bredare intressentgrupper såsom energiföretag gav ytterligare indata till arbetet. Resultaten har sammanfattats i två vetenskapliga tidskriftsartiklar, tre konferensartiklar och två tekniska rapporter.



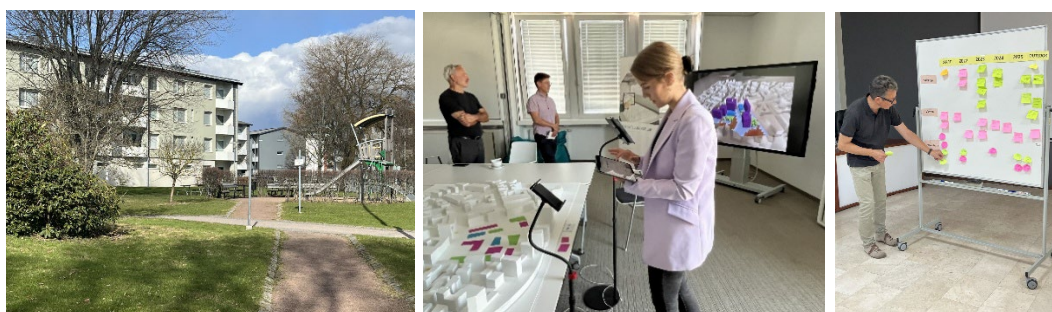
Figur 4. Övergripande metodologi för utveckling av DT Viewer. Arbetspaket 4. Hämtat ur: Malakhata, Aboueheid, Arvanitis, et al. (2025)

AP5 Affärsmodeller för Digitala Tvillingar på områdesnivå (Göteborgs Universitet) med målet att identifiera affärsmodeller som kan tillämpas för DT och PED. Litteraturstudier, workshops, observationer och analys av empiriskt material från projektet (Figur 5). Resultaten har sammanfattats i en rapport.



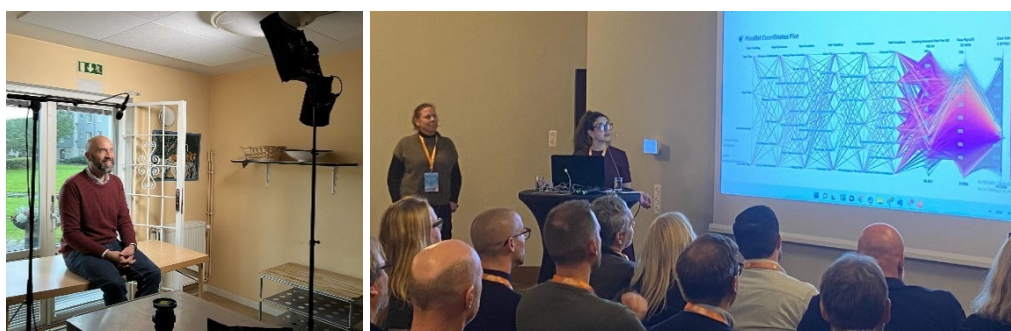
Figur 5. Workshop med internationella projektpartners kring affärsmodeller oktober 2023 i Göteborg (vänster). Anders Sandoff, Företagsekonomiska institutionen Göteborgs leder workshopen (höger). Arbetspaket 5. Foto: Liane Thuvander

AP6 Framgångsfaktorer och lärdomar från Urban Living Lab erfarenheter (Chalmers) med mål att utvärdera och utbyta erfarenheter från DT process och projektresultat. Workshops med internationellt konsortium och studiebesök i alla tre länder för kunskapsutbyte och systematisk utvärdering (Figur 6). Demo-workshop med nationella partner och internationell utvärderingsworkshop, uppföljningsintervjuer med alla svenska projektdeltagare och utveckling av loggbok för dokumentation av data och process.



Figur 6. Workshops och studiebesök för gemensamt lärande. Studiebesök i Jättsten i Göteborg (vänster), studiebesök City Intelligence Lab (CIL) på Austrian Institute of Technology (AIT) i Wien, Österrike (mitten) och utvärderingsworkshop med internationella partner i Sakarya, Turkiet (höger). Arbetspaket 6. Foto: Liane Thuvander, Holger Wallbaum (höger)

AP7 Spridning (Chalmers, Chalmers industriteknik) för att regelbundet informera om projektstatus och resultat samt bidra med kunskap som kan stödja energi- och klimatomställning kopplat till urbana stadsdelar. Informationsspridning på nationell och internationell nivå anpassat till olika målgrupper och kanaler genom websidor, projektets LinkedIn sida, visuell grafisk identitet, videos och projektbroschyr. Deltagande i mässor, branschkonferens och webinarer (Figur 7). Se Bilaga A för sammanställning av genomförda workshops med datum, tema, syfte och deltagare, Bilaga B för lista spridning av resultat och Bilaga C för visuellt material framtagen inom projektet.



Figur 7. Filminspelning i Jättsten (vänster), presentation av projektresultat på Sveriges Allmännyttas Klimat och Energikick 12–13 november 2025 i Örebro (höger). Arbetspaket 7. Foto: Liane Thuvander (vänster), Björn Berggren (höger)

Medverkande organisationer och projektdeltagare

På grund av projektets komplexitet och bredd involverades många organisationer och personer inom akademien och praktiken.

På *Chalmers* medverkade institutionen för *Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik* (ACE) och institutionen för *Matematiska vetenskaper* (MV). Största delen av arbetet genomfördes på ACE genom Liane Thuvander med övergripande projektansvar, Elena Malakhata med ansvar för projektkoordinering samt ledning av utveckling och implementering av PED ramverk, DT koncept, DT Viewer och intressentanalyser, Sara Aboubeid med huvudansvar för energimodellering och simulering i olika programmeringsmiljöer, design av användargränssnitt och produktion av resultatvideo, Holger Wallbaum med ansvar för vetenskaplig förankring i bredare kontext och samordning med andra relaterade forskningsprojekt och partner. Jessica Lundin bidrog till intressentanalysen, David Sindelar och Seidpooyan Ghafoori till datainsamling och Alex Gonzalez med initiala energimodelleringar. MV ansvarade för optimeringsdelen genom Jenny Enerbäck som tog fram den matematiska modellen och genomförde beräkningarna och Ann-Brith Strömberg med övergripande vetenskapligt ansvar. *Chalmers Next Labs* som blev partner mot slutet av projektperioden genom Elena Malakhata och Sara Aboubeid för att paketera och vidareutveckla resultaten efter avslutat projekt.

Göteborg kommun medverkade genom tre kommunala bolag samt Stadsfastighetsförvaltningen (SFF) Göteborg Stad. Alla bidrog med värdefulla insikter kring portfolioutveckling och specifika behov att adressera i projektet. Bostadsbolaget *Poseidon* genom Lars Brändemo och Carl Molander tillhandahöll information för ULL områdets bostäder och lokaler och byggnadsspecifika data. *Förvaltnings AB Framtiden* genom Nina Jacobsson Stålheim och Hanna Öberg bidrog med strategiska perspektiv och utmaningar kopplade till stora bostadsbyggnadsbestånd och *Framtiden Byggutveckling AB* genom Joa Ivarsson och Marcelo Arancibia bidrog med insikter kring nybyggnation och mobilitetsfrågor. *Stadsfastighetsförvaltningen* genom Karl Oddmar tillhandahöll data för ULL områdets skolor.

Göteborgs Universitet genom Anders Sandoff med ansvar för affärsmodellerna bidrog med insikter kring etablering av affärsmässighet i DT och PED. *White arkitekter* genom Keith Boxer, Lise-Lott Larsson Kolessar och initialt Andreas Teggersen Teder bidrog till intressentanalysen, visions- och färdplan utvecklingen och erfarenheter från tidigare PED-projekt (Positive Energy Planning Process). *Digital Twin Cities Centre* (DTCC) genom Themistoklis Arvanitis ansvarig för programmering av användargränssnittet, Orfeas Eleftheriou ansvarig för programmering av 3D visualisering och Vasilis Naserentin för att länka projektet till DTCC. *Chalmers industriteknik* (CIT) genom Dag Wästberg och Morten Kristoffersen som bidrog till utveckling av DT koncept och Maria Hammar och Dana Gilliland-Wiström med ansvar för hemsidan. Initialt deltog *Johanneberg Science Park* (JSP) genom Emilia Pisani med ansvar för kommunikation och hemsida. Men eftersom JSP lades ner under projektperioden överfördes hemsidan till CIT. Våra internationella partner från Österrike och Turkiet bidrog med kompletterande expertkunskap.

Resultat

Resultaten presenteras utifrån de fyra fokusområden PED-ramverk och kvalitets-säkringsprocess, DT-Viewer, intressentanalyser och affärsmodeller med tyngdpunkt på de första två områdena.

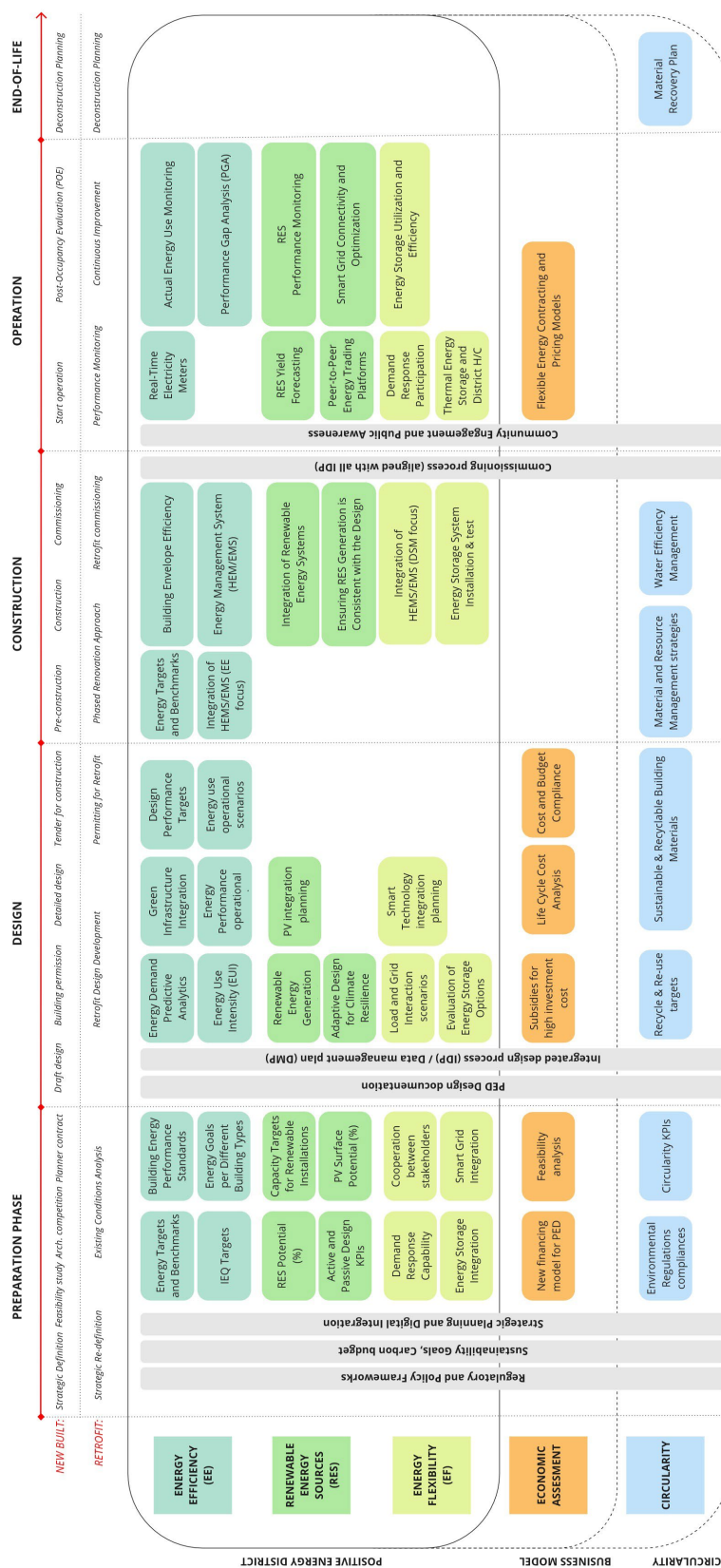
PED ramverk och kvalitetssäkringsprocess

Projektet har tagit fram ett PED ramverk som beskriver hur specifika krav kopplas till olika skeden i byggnadernas livstid för att kunna säkerställa utveckling av PED enligt plan under hela processen (Figur 8). Kvalitetssäkring stöds av en tillhörande checklista (Figur 9). Ramverket och checklistan har sedan länkats till DT potentialer och hur DT kan tillämpas i olika skeden (Figur 10). Ramverket, checklista och DT integration har tagits fram och diskuterats tillsammans med de internationella projektpartnererna i workshops och med stöd av litteratur.

PED ramverket är ett multikriterieramverk. Det inkluderar både renovering och nybyggnation och byggprocessen har indelats i tydliga övergripande skeden för att passa olika länder: förberedelse, design, bygg, drift och end-of-life (EN 2023). Ramverket bygger på de grundläggande PED-pelarna energieffektivitet, förnyelsebar energi och energiflexibilitet men inom projektet fanns det också önskemål och behov att utöka dessa med pelarna cirkularitet och affärsmodeller, se Figur 8. Cirkularitet spelaren betonar vikten av resurseffektivitet, avfallsminskning och främjandet av en cirkulär ekonomi inom stadsdelen. Affärsmodeller ses som avgörande drivkraft för utvecklingen av PED, eftersom de påverkar den ekonomiska livskraften och attraktiviteten. Checklistans ambition är att säkerställa att varje skede följer etablerade metoder. Notera att även om mobilitet är ett betydande element i PED-ramverk, utelämnades i projektet för att minska komplexiteten och då partnerorganisationerna gav det en lägre prioritet.

DT-ramverket kartlägger DT-funktionaliteter över tid för de olika skedena. Utgångspunkten var en hierarkisk kategorisering baserad på IoT Analytics (2024) och Malakhatka et al. (2024) med följande indelning: Digitalisera, Visualisera, Simulera, Förutsäga och Orkestrera (Figur 10). I förberedelsefasen ger *Digitalisera* och *Visualisera* underlag för genomförbarhetsstudier (Negri et al. 2017). I designfasen stödjer *Simulera* och *Förutsäga* scenariomodellering och energiprognoser (Madni et al. 2019). Under bygg- och driftskedet säkerställer *Orkestrera* realtidskoordinering och uppföljning av PED intentionerna. I slutskedet underlättar *Simulera* avveckling, konsekvensbedömning och återvinningsplanering (Anderson et al. 2022).

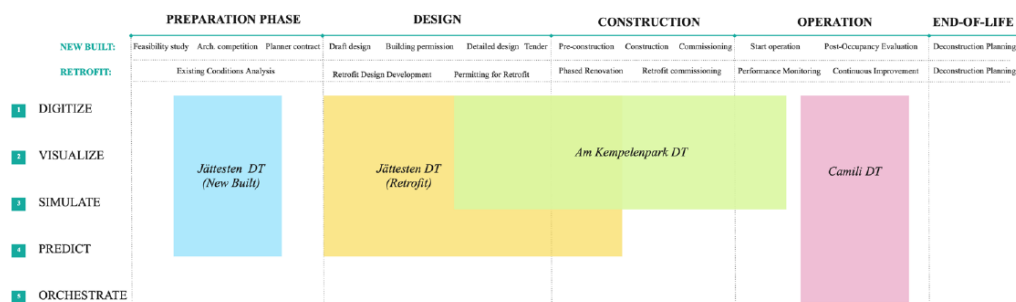
Den planerade DT för Jättesten inkluderade renovering av befintliga byggnader och design av nya PED-kompatibla byggnader. Genom att anpassa DT-applikationer till de olika projektfaserna ges bättre stöd till uppföljning av PED-mål under hela processen. Synergierna mellan PED och DT anses ha en stor potential en för holistisk och hållbar stadsutveckling.



Figur 8. PED multikriterieramverk framtaget baserat på workshops med projektpartner och litteraturstudier. Hämtat ur: Malakhutka et al. (2024)

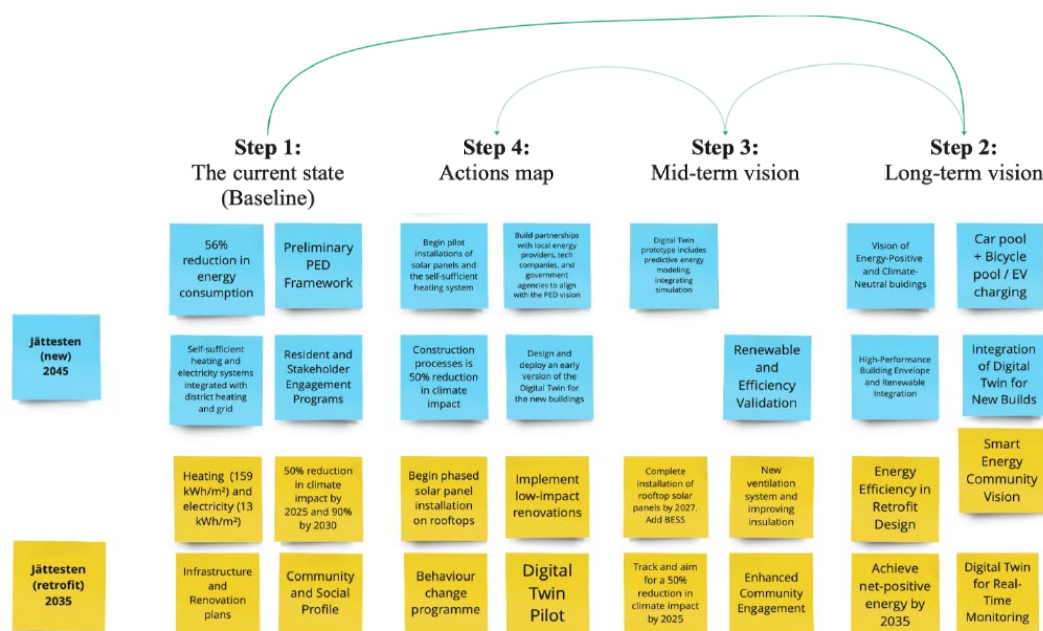
PREPARATION PHASE				DESIGN				CONSTRUCTION				OPERATION		END-OF-LIFE
Strategic Definition	Feasibility study	Arch. competition	Planner contract	Draft design	Building permission	Detailed design	Tender for construction	Pre-construction	Construction	Commissioning	Start operation	Post-Occupancy Evaluation (POE)	Deconstruction Planning	
NEW BUILD:	Strategic Re-definition			Existing Conditions Analysis				Phased Renovation Approach		Retrofit commissioning		Continuous Improvement		Deconstruction Planning
ENERGY EFFICIENCY (EE)	Verify alignment with energy reduction targets for the region.			Confirm energy demand forecast are applied in detailed designs.				Verify the design performance targets met during construction.		Monitor real-time energy meters for expected energy consumption.		Conduct continuous commissioning to optimize energy systems.		
	Review benchmarks for energy consumption standards.			Validate technical expertise in EE during the planning phase.				Conduct performance tests for energy efficiency.		Conduct performance tests for energy efficiency.				
	Ensure passive design KPIs are defined and measurable.													
RENEWABLE ENERGY SOURCES (RES)	Assess the potential percentage of RES in the overall energy mix.			Ensure renewable energy generation simulations are conducted.				Confirm the integration of RES systems matches design specs.		Validate RES yield forecasting and performance monitoring systems.		Validate RES yield forecasting and performance monitoring systems.		
	Ensure feasibility studies for RES integration are conducted.			Confirm adaptive design features for climate resilience are in place.				Validate performance tests for renewable energy systems.		Perform tests on energy flexibility aspects (DSM / EMS)		Review year-to-year energy trading platforms for effectiveness.		
ENERGY FLEXIBILITY (EF)	Validate demand response strategies are outlined.			Review load and grid interaction scenarios for flexibility.				Check integration of energy management and storage systems.		Check for the participation in demand response programs.		Check for the participation in demand response programs.		
	Confirm smart grid integration capabilities are considered.			Validate smart technology integration plans.				Perform tests on energy flexibility aspects (DSM / EMS)		Monitor energy storage utilization and efficiency.		Monitor energy storage utilization and efficiency.		
ECONOMICAL ASSESSMENT	Ensure that new financing models for PED are explored.			Check for lifecycle cost analysis in design plans.				Ensure that the construction phase is adhering to the planned		Ensure that the construction phase is adhering to the planned		Assess the implementation of flexible energy contracting and pricing models.		
	Review plans for government subsidies or incentives.			Review cost and budget compliance protocols.				Confirm the implementation of strategies for reducing costs.		Confirm the implementation of strategies for reducing costs.				
CIRCULARITY	Confirm compliance with environmental regulations specific to the region and the project.			Verify that design plans incorporate circular materials and construction methods.				Inspect adherence to the construction waste management plan, aiming for waste minimization and material reuse.		Validate the execution of operational circularity practices, such as the use of greywater pots or material take-back schemes.		Validate the execution of operational circularity practices, such as the use of greywater pots or material take-back schemes.		
	Ensure that the procurement plan includes guidelines for sourcing sustainable and recyclable materials.			Ensure that designs include provisions for easy disassembly and future material recovery.				Confirm the execution of material and resource management strategies		Confirm the execution of material and resource management strategies		Review the project's environmental impact over time.		
Confirm that deconstruction plans maximize material recovery and ensure that the end-of-life circularity measures align with the initial circularity objectives set out in the preparation phase.														

Figur 9. Checklista för kvalitetssäkring av PED-processen. Hämtat ur: Malakhatka et al. (2024)



Figur 10. Ramverk för att länka Digitala Tvillingar till olika skeden i byggprocessen. Kartläggning för alla tre projektpartners ULL (Sverige–Jättesten, Österrike–Am Kempelenpark, Turkiet–Camili). Hämtat ur: Malakhatka, Wallbaum, Aboueheid, et al. (2025)

Backcasting-workshopen fungerade som ett planeringsverktyg där olika intressenter (projektpartner) samlades kring en gemensam vision för en hållbar urban framtid. Backcastingen inkluderade flera steg: etablering av baslinjen för befintliga förhållanden (energianvändning och system, status infrastrukturer, miljöpåverkan, med mera), definition av en långsiktig vision för PED, identifikation av mid-term milstolpar samt specifikation av handlingsbara åtgärder som krävs på kort sikt och som bidrar till implementering av den långsiktiga visionen (Figur 11).



Figur 11. Strategier för Jättesten-renovering och Jättesten-nybyggnation baserad på backcasting workshopen.

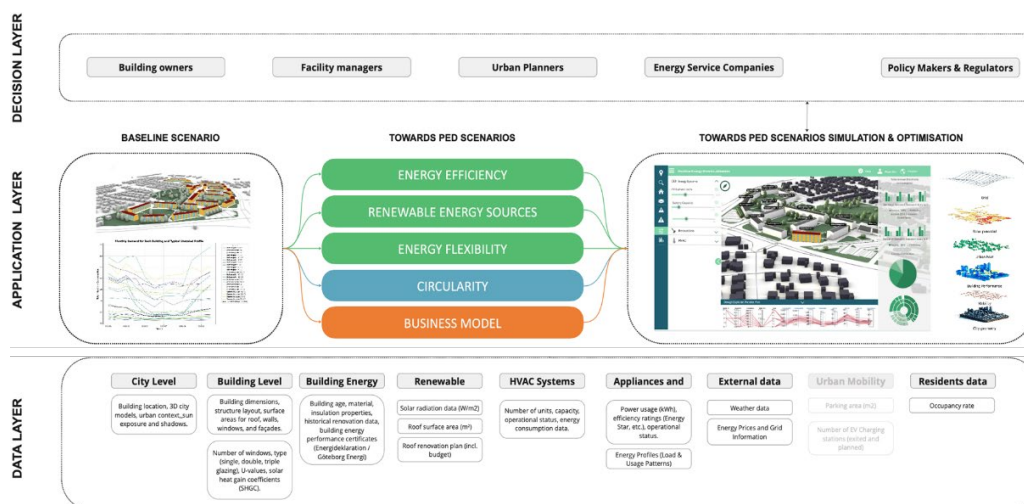
Resultaten från PED-ramverk, backcasting-workshopen och DT-applikationerna understryker vikten av ett iterativt, datadrivet tillvägagångssätt för utveckling av PED. Backcasting stödjer långsiktigt visionsarbete och intressentengagemang och DT stödjer implementering och uppföljning av dessa visioner. Analysen lyfter fram att a) PED-strategier kräver kontinuerlig anpassning och balansering mellan

intressentdrivna visioner och datadrivna implementeringsverktyg, b) val av DT varierar beroende på vilket skede PED är. Tidiga skeden/nybyggnation gynnas av BIM-integrerade DT, projekt med både renovering och nybyggnation (förtätning) däremot kräver hybrida metoder som integrerar modellering av byggnadsbestånd med nybyggnation. För PED i drift är det fördelaktigt med DT för realtidsövervakning och adaptiv energihantering och c) samarbete mellan olika intressenter är avgörande i alla skeden. Backcasting-workshops främjar initial konsensusbildning, DT möjliggör kontinuerligt beslutsfattande och dialog mellan intressenter genom datavisualisering, energiprognoser och scenariomodellering.

För detaljerad beskrivning av PED-ramverket och checklisten se Malakhata et al. (2024), för DT anpassning och backcasting resultat se Malakhata, Wallbaum, Aboueheid, et al. (2025).

DT Viewer

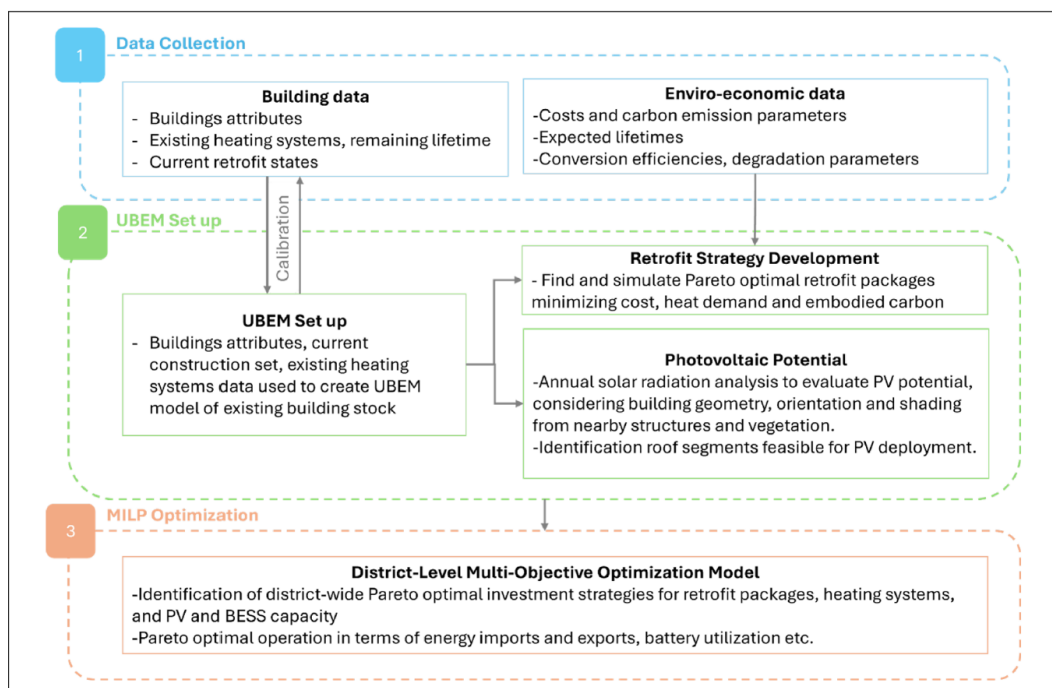
Ett av projektets huvudresultat är framtagande av en webbaserad, interaktiv *DT Viewer*. Baserad på den teoretiska grunden som lagts med PED ramverket och kvalitetssäkringsprocessen utvecklades först ett konceptuell DT ramverk med tre huvuddelar: ett datalager, ett modellerings-/applikationslager och ett beslutslager (Figur 12). Det konceptuella DT-ramverket översattes sedan till en systemarkitektur för DT plattformen och ett fullt fungerande användargränssnitt utformat för att visualisera simuleringsresultat och stödja användardefinierad scenariotestning. Användargränssnittet (UI) and användarupplevelse (UX) testades och utvärderades i ett strukturerat format på en gemensam Demo-dag.



Figur 12. Konceptuellt ramverk för projektets DT4PED. Modifierat: Malakhata, Aboueheid, Arvanitis, et al. (2025).

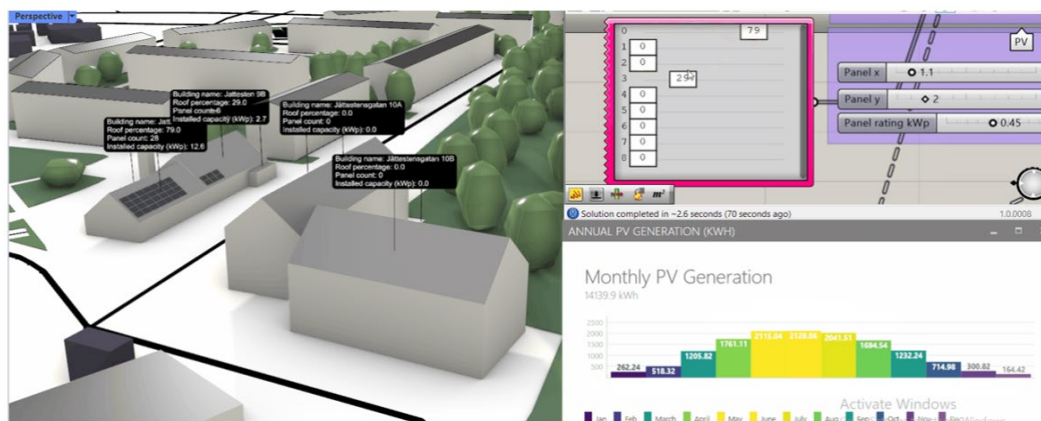
Data samlades in för olika geografiska skalor och aggregationsnivåer - stad, stadsdel och byggnad och från olika källor såsom Lantmäteriet, fastighetsägare, energiföretag, energideklarationer, Boverket, med mera. Data inkluderar bland annat byggnadernas geometri, vegetation (träd), energi för uppvärmning, varmvatten, drift, hushållsel och kostnader för renoveringspaket.

En Urban Building Energy Model (UBEM) etablerades med fokus på integration av PV-system för förnybar energi och renoveringsstrategier för energieffektivitet. Därefter utvecklades en matematisk modell för flermålsoptimering (MILP) av renoveringsalternativ, investeringar i energisystem och planering av energianvändning och energiproduktion inom området, med en tidshorisont på 10 år. Målet var att beräkna Paretooptimala lösningar med avseende på minering av livscykelkostnad såväl som av klimatpåverkan. Genom att inkludera den längre planeringshorisonten om 10 år kunde beslut om renoveringar och investeringar i energisystem utvärderas baserat på dessas långsiktiga effekter på kostnader och utsläpp. Arbetsflödet visas i Figur 13. För detaljer kring data, UBEM och MILP-optimering, se Abouebeid, Enerbäck, Malakhatka et al. (2026).



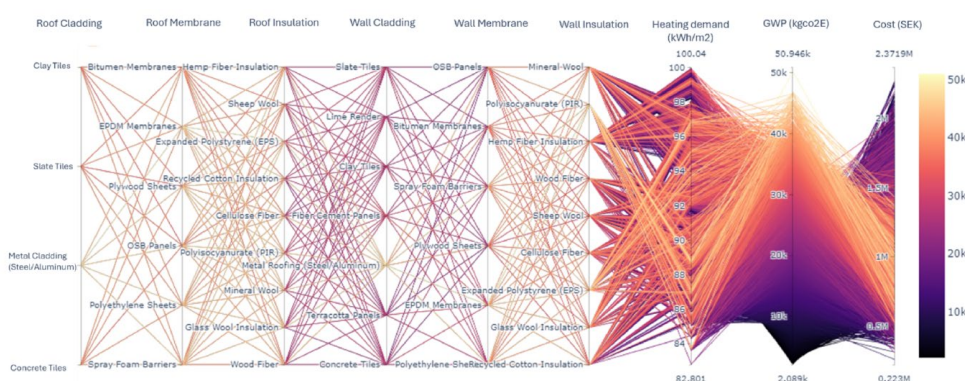
Figur 13. Integrerad UBEM–MILP ramverk för omvandling till PED. UBEM = Urban Building Energy Modelling. MILP = Mixed Integer Linear Programming. Hämtat ur: Abouebeid, Enerbäck, Malakhatka et al. (2026)

För beräkning av solenergipotentialer utvecklades ett visuellt parametriskt verktyg där andelen och effekt för solpaneler kan justeras för varje tak (Figur 14). Verktöget beräknar den månatliga solelproduktionen som jämförs direkt med elanvändningen.



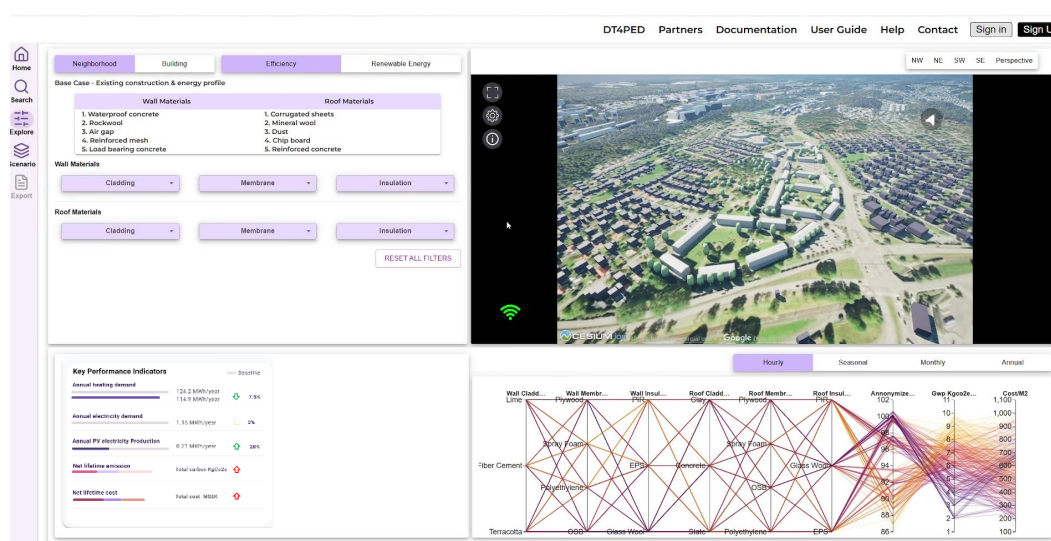
Figur 14. Parametriskt verktyg för beräkning av solenergipotential, programmerat i Grasshopper.

Renoveringsåtgärder för energieffektivisering fokuserade på tak och väggar. För att testa modellen valdes 18 renoveringsmaterial som resulterade i mer än 43 000 simuleringar av olika kombinationer av byggnadsmaterial. Sedan analyserades dessa kombinationers inverkan i termer av minskat uppvärmningsbehov, klimatpåverkan och kostnader. Utifrån dessa resultat, som visualiseras i Figur 15, valdes sex kombinationer och motsvarande simulerade värden för att gå vidare med i optimeringssteget. Optimeringen genomfördes på områdesnivå för valda renoveringsåtgärder (energieffektivitet) och värmesystem, förnybar energi (solenergi PV) och batterilagring (BESS) över en tioårshorisont med timupplösning. Tillämpad på Jättesten och utifrån de valda lösningarna visar analysen att det är mycket utmanande att uppnå full PED-status. Medan de beräknade lösningarna minskade elberoendet (till ~63 % med PV och BESS under volatila priser) och det totala koldioxidutsläppet (med ~13 % jämfört med baslinjen), uppnåddes vare sig fullständig netto-noll energiimport, full koldioxidneutralitet eller ett energiöverskott. Paretooptimala lösningar var känsliga för lokala förhållanden, särskilt låg koldioxid i fjärrvärmens och volatilitet i elpriserna.



Figur 15. Parallella koordinater diagram som visualiserar resultaten från över 43 000 parametriska simuleringar av kombinationer av renoveringspaket för tak och väggar för representativa bostadsbyggnader. Varje linje representerar en unik materialkonfiguration är kopplad till simulerade prestandaresultat i termer av värmebehov (kWh/m²år), klimatpåverkan inbyggda material (kgCO₂e) och kostnad för renoveringsåtgärd (SEK). Hämtat ur: Abouebaid, Enerbäck, Malakhata et al. (2026)

DT Viewerns backend har programmerats i Python och med hjälp av Rhino, det visuella programmeringsverktyget Grasshopper och pluginverktygen Honeybee, Ladybug, Dragonfly, samt URBANopt, EnergyPlus och OpenStudio. Kombinationen av dessa verktyg låg till grund för modellering av byggnaders energianvändning, klimatdata, urban kontext och energisystem på stadsdelsnivå. Frontend designen skapades i mock-ups i den webbaserade plattformen för UI/UX-design Figma, vilket underlättade kommunikation med intressenter under utvecklingen. Frontend byggdes sedan med HTML och JavaScript integrerad i Unreal Engine (UE) som valdes för sin högupplösta 3D-rendering och realtidsinteraktion. Geometrin för Jättesten modellerades i Rhino/Grasshopper och importerades till UE via Datsmith med semantiska metadata (byggnads-ID, PV-områden, användningstyper). Användargränssnittet kan ses i Figur 16, detaljer i Abouebeid, Enerbäck, Malakhatka et al (2026) och Malakhatka, Abouebeid, Arvanitis et al (2025).



Figur 16. Interaktivt, webbaserat användargränssnitt som integrerar simuleringar och visualiserar energiprestanda för Jättesten på byggnads- och områdesnivå.

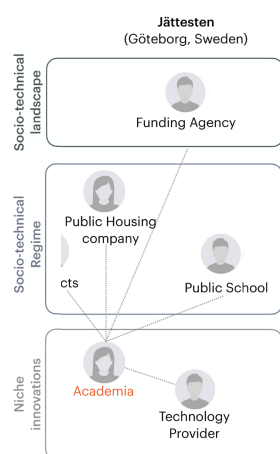
Avslutningsvis har en loggbok tagits fram för systematisk dokumentation av data, metadata, simulerings- och optimeringsresultat för bättre transparens, reproducerbarhet och återanvändning av data och resultat i framtida projekt och sammanhang (Figur 17).



Figur 17: Projektets loggbok som utvecklats för Jättesten. Loggboken dokumenterar data, modelleringsantaganden, arbetsflöden, simuleringsresultat samt en katalog med publikationer.

Intressentanalyser

Analysen av olika intressentkonfigurationer, styrningsmodeller och värdeskapande processer för ULL visade ett mångdimensionellt värdeskapande (ekonomiskt, miljömässigt, socialt) men också vissa motsättningar mellan olika aktörstyper och missade möjligheter genom exempelvis begränsad involvering av intressenter. Projektet Jättesten var mer akademiskt drivet, där universitetet fungerade som nyckelkoordinatorer och ett nätverk av kommunala fastighetsförvaltningsaktörer och ett arkitektföretag (Figur 18) med begränsad inkludering av hyresgäster och allmänhet. Jättestens styrka ligger i det digitala experimenterande, särskilt användningen av digitala tvillingteknologier för att informera val av renoveringsalternativ och energisimuleringar. Dock riskerar ansatsen att innovationerna bli tekno-centrerade på grund av begränsad samskapande med användarna av området: boende, skolelever och företag.



Figur 18. Intressentnätverksanalys för Jättesten. Orange: nyckeldrivkraft i projektet. Hämtat ur Malakhatka, Shafqat, Sandoff et al. (2025).

Jättesten skapar värde genom att experimentera med DT-utveckling länkad till renoveringsstrategier (Tabell 1). Akademiska och tekniska institutioner drar nytta av verkliga miljöer för lärandet. Dock missas värden på grund av ett teoretiskt utforskande med begränsat samhällsinkludering och delvis ointresse från etablerade energileverantörer. Denna obalans skapar ineffektivitet i styrningen. Social värdeförstörelse, att inte ta tillvara alla sociala aspekter, uppstår som ett resultat av missat delaktighet från boende vilket förstärker uppfattningar om top-down teknokratisk kontroll. Framtida möjligheter inkluderar deltagande via digitala plattformar, iterativ återkoppling av energifrågor och samordning av elbolag.

Tabell 1. Capture Value Mapping Tool tillämpat på Jättesten. Hämtat ur: Malakhatka, Shafqat, Sandoff et al. (2025)

VALUE CAPTURED	VALUE MISSED	VALUE DESTROYED	OPPORTUNITIES
Digital twin, academic learning, retrofit gains	Tenant involvement, utility engagement	Governance friction, low legitimacy	Energy system alignment on different levels, participatory feedback loops

Ett antal principer för design och implementering ULLs med fokus på PED/energismhällen har identifierats. Dessa är: *Främja hybrid styrning* genom att balansera top-down institutionellt ledarskap med bottom-up distribuerat styrning. *Stärka övergangsmellanhänder* ”transition intermediaries”. Aktörer som kan brygga mellan olika institutionella nivåer är viktiga för framgång; *Strategisk användning av värdekartläggning*. Värde är ett mångdimensionellt begrepp och att använda värdekartläggningsverktyg från början kan säkerställa att projektet hanterar alla intressenters sociala, miljömässiga och ekonomiska värderingar, vilket kan förhindra förlust av legitimitet. *Design för replikering*. För att komma bort från enstaka projekt och en bredare implementering bör ULL designas som en del i en kontinuerlig process av institutionellt lärande och inte som isolerade experiment. Resultaten från denna delstudie ger insikter för att utforma ULL som är tekniskt effektiva, socialt integrerade och möjliggör rättvisa och hållbara urbana energiövergångar. Se Malakhatka, Shafqat, Sandoff et al ([2025](#)) för mer detaljerade resultat och diskussion.

Affärsmodeller

Projektet undersökte möjligheten till utveckling av affärsmodeller som länkar PED/energigemenskaper och DT. Givet projektets tidiga skede och att det inte finns några etablerade affärsmodeller för vare sig PED eller DT genomfördes i stället för djupgående analys av de komplexa affärs- och finansiella aspekterna av PED en studie med en mer utforskande karaktär i svensk kontext och för energigemenskaper. Utifrån kunskapen genererad i workshops med partnerorganisationer och bredare intressentgrupper analyserades affärsmässighet i företagsdrivna energigemenskaper med fokus på fastighets- och energisektorn.

Studien visar att affärsmässighet inte är en egenskap hos en enskild kalkyl eller ett kontrakt, utan uppstår som ett resultat av en kedja av beslut som måste vara konsistenta över tid. För att förstå dessa beslut används ett fasindelad ramverk som delar upp energigemenskapens livscykel i bildande, målsättning, investering och drift. Den teoretiska grunden bygger på tre forskningsspår: affärsmodeller, energieffektiviseringsgapet och styrning. Affärsmodellerna analyseras som modulära konfigurationer av byggklossar snarare än som universella recept. Energieffektiviseringsgapet förklarar varför lönsamma åtgärder ofta uteblir och varför institutionella lösningar krävs för att översätta kalkyler till beslut. Styrningsperspektivet visar att långsiktig hållbarhet kräver en kombination av regler, incitament och normer, samt neutrala intermediärer som kan koordinera aktörer. DT kan ses som en del av styrningsinfrastrukturen som kan fungera som kunskapsplattformar där plan och verklighet jämförs, vilket stärker både förutsägbarhet och legitimitet. Värde uppstår först när de är inbäddade i institutionella ordningar med tydliga mätplaner, datarättigheter och revision.

Empirin från projektet och Jättesten visar hur frågor om systemgränser, målkonflikter och riskdelning aktualiseras i praktiken. Eftersom projektet inte fokuserade på bildandet av en faktisk energigemenskap, och dominerades av kommunala aktörer inom samma koncern, saknas skarpa förhandlingar mellan oberoende fastighetsbolag. Även om projektet fokuserade på ett område med främst

kommunala aktörer och ett mer teoretiskt utforskande vilket begränsar överförbarheten av resultat, är flera insikter typiska: systemgränser och medlemskriterier sätter ramen för affären, mål måste operationaliseras i indikatorer och risk, data och mandat behöver formaliseras tidigt.

Fyra centrala slutsatser kan pekas ut. För det första är affärsmässighet i energigemenskaper en process som kräver att nyttor görs bevisbara, risker bärbara och beslut styrbara. För det andra skiljer sig företagsgemenskaper från kooperativa modeller genom att de styrs av avkastning och riskhantering snarare än legitimitet som mål i sig. För det tredje är skalbarhet från pilot till etablerad praktik beroende av standardisering, institutioner för verifiering och beställarkapacitet hos aktörer. För det fjärde krävs nya ramverk för riskhantering och adaptiv styrning, eftersom kontrakt alltid är ofullständiga. För mer detaljerade insikter se Sandoff (2025).

Diskussion och slutsatser

Projektet DT4PED har utvecklat ett simuleringsverktyg och Digital Tvilling Viewer anpassad för energipositiva stadsdelar. Området Jättsten med bostäder, skolor och lokaler användes som pilotområde för att teoretiskt undersöka områdets PED-potential. Ambitionen var att generera scenarier och utforska nya teknologiska och processrelaterade lösningar med potential för uppskalning. Utforskandet fokuserade på det befintliga området eftersom nybyggnationsdelen inte utvecklades som planerat inom projektiden. Med en teoretisk ansats blir diskussionerna mellan partnerorganisationerna inte lika skarpa som i en riktig implementeringsprocess och de sociala frågorna blir abstrakta. Men med detta sagt, så har processen, diskussioner och gemensamt framtagandet av verktyget haft värde i sig, för utvecklingen av DT-konceptet, val av parametrarna, kunskapsutbyte mellan partnerorganisationerna och tolkning av PED konceptet.

Verktyget är en operativ prototyp som på ett unikt sätt kombinerar detaljerade energisimuleringar (UrbanOpt, EnergyPlus) med en interaktiv web-baserad DT-Viewer (Unreal Engine, Pixel Streaming) för att simulera och visualisera möjliga alternativ till att omvandla ett område till en energipositiv stadsdel. Med hjälp av en skalbar, modulär backend kan användare dynamiskt skapa och testa olika scenarier. Projektet har lagt grunden till att bygga överförbar kunskap till andra områden gällande klimatneutralitet och energieffektivitet. Verktyget anses ha stor potential för att stödja dialog, beslutsfattande och förenkla samarbete. För ett mer verklighetsbaserat utforskande av olika lösningar behöver dock dataunderlaget förfinas, med bättre transparens kring energi- och utsläppsdata som återspeglar mätdata och lokala förhållanden. Verktyget behöver också testas mer djupgående för olika ändamål, operativa och strategiska applikationer och kommunikation med olika aktörer och intressenter. Loggboken är ett första steg för att öka transparensen och få en indikation på resultatens tillförlitlighet.

Ett återkommande diskussionstema inom projektet var tolkning av PED begreppet och val av systemgränser. PED konceptet intressant då det lyfter energi- och klimatfrågor från individuella byggnader till hela områden vilket öppnar upp för samspel och energiutbyte mellan byggnaderna. Samtidigt har energikällorna i

Sverige oftast lägre klimatpåverkan jämfört med andra europeiska länder och ur ett klimatnyttaperspektiv behöver andra komponenter spela in. Därför inkluderades i projektets PED utöver energieffektivitet, förnyelsebar energi och flexibilitet även klimatpåverkan från material ur ett livscykelperspektiv. En annan diskussion rörde hur PED områdets energisystem förhåller sig till stadens energisystem i stort. Det är en intressant frågeställning som behöver studeras, att jämföra energi- och klimatnyttan på PED-nivån med nytta på en urban systemnivå.

Reflektioner - att vara med i projektet

Utvärdering av projektet genom individuella samtal med alla projektdeltagare gav ytterligare insikter inte mins för framtida projekt. Samtalet kretsade kring två huvuddelar: a) reflektioner om att vara med i projektet inklusive förväntningar, nytta av resultat, samarbeten och utmaningar och b) intresset kring fortsatt utveckling av verktyget. Beroende på vilka erfarenheter och förväntningar organisationerna hade in i projektet upplevdes resultaten och lärandet på olika sätt.

Generellt var det intressant för alla att vara med i processen och det gemensamma lärande kring energi- och klimatfrågor lyftes fram som en positiv aspekt. Flera av projektdeltagarna nämnde exempelvis möjlighet till öppna diskussioner, synergier, förstärkt dialog inom och mellan organisationer och insyn i varandras arbetssätt och utmaningar. Studieresan till Österrike upplevdes som särskilt inspirerande, att kunna se vilken kunskap som finns ”utanför kontoret”. Samtidigt gick projektpartner in i projektet med olika erfarenheter och förväntningar och det uppfattades en viss otydlighet kring projektet syfte vilket ledde till en lång startsträcka och återkommande diskussioner inte minst kring systemgränser och vad för- och nackdelarna är med en PED i kontext Göteborg. Diskussionerna påpekade behovet av en öppenhet och kritisk reflektion kring PED konceptet i en svensk storstads-kontext.

Projektpartners har ett intresse att vara med i den framtida utvecklingsprocessen men det är viktigt att kunna anpassa verktyget till organisationernas egna behov som kan ligga allt på en strategisk, operativ och projektnivå. Modellerna och verktyget som tagits fram anses ha stor potential och ett bra underlag att bygga vidare på inte minst erfarenheter från designprocessen och tankearbetet kring DT utvecklingen som visar hur den typ av plattform kan byggas och återanvändas i framtida projekt. Ett vidareutvecklat verktyg bör kunna svara på vilka lokalt anpassade åtgärder är mest fördelaktiga ur ett klimatperspektiv för ett område men också för staden i sin helhet.

Projektets bidrag och insikter

Projektets främsta bidrag är energi- och klimatmodellering på områdesnivå i stället för byggnadsnivå, framtagning av ett verktyg - en interaktiv, webbaserad DT-Viewer för beslutsstöd och samskapat med projektpartner, optimeringsmodeller som inkluderar energieffektivisering, kostnader och klimatpåverkan för olika åtgärder, samt omtolkning av PED-begreppet till att inkludera klimatpåverkan.

Insikter från projektet i sin helhet är

- *Processen är lika viktig som själva verktyget.* Arbetsflödet formades genom iterativa diskussioner och workshops med många partners som hade olika behov och förförståelse. Detta samskapande tillvägagångssätt var avgörande för gemensamt lärande och för att utveckla lösningar som svarar mot olika perspektiv.
- *Verktyget som möjliggörare.* Verktyget är mer än bara mjukvara, det är också en möjliggörare för parametriskt tänkande, modulära arbetsflöden och erbjuder anpassningsbarhet i komplexa design- och planeringssammanhang.
- *Optimering för planering.* Genom samarbete med matematiska institutionen utvecklades av en väl underbyggd optimeringsmodell som kan bidra till mer pålitlig planering och beslutsfattande.
- *Digital Tvilling Viewer för pedagogisk kommunikation.* Även om den framtagna DT-Viewern är en första version och behöver vidareutvecklas för full implementering har den stor potential att kommunicera simuleringsresultat på ett pedagogiskt sätt.
- *Systematisk dokumentation är nyckel.* Den utvecklade loggboken med systematisk dokumentation av data, metadata, modelleringsantaganden, arbetsflöden och simuleringsresultat bidrar till bättre transparens av indata, anpassning till lokala förhållanden och känslighetsanalyser. Detta är grundläggande för verktygets trovärdighet och fortsatt utveckling.
- *Bred aktörsengagemang från början.* Aktörer och intressenter behöver involveras tidigt i processen och det behövs en medvetenhet om målgruppernas specifika behov kring synliggörandet av energifrågor på lokal nivå för att kunna anpassa samskapande, delaktighet och visualisering.
- *Affärsmodeller behöver utforskas mera.* Projektet lyfte frågan kring affärsmodeller men förutsättningar för att utveckla modellerna inom ramen för projektet var begränsade. Här behövs det ytterligare forskning och innovation.

Nästa steg

DT-Viewern kommer att vidareutvecklas av en av projektets partnerorganisation, Chalmers Next Lab som är en forskningsnära organisation på Chalmers. Vidareutvecklingen har fokus på *förbättrad datakvalitet* för att öka datatransparensen och tillförlitligheten genom att förbättra indata; *test av skalbarhet* genom att undersöka hur arbetsflödet kan tillämpas i andra kontexter, exempelvis i andra områden i Göteborg men också nationellt och internationellt; *integration och test av fler scenarier* relaterade till olika energisystem, renoveringsåtgärds paket och målbilder genom att utnyttja den inbyggda modulariteten i backend-systemet och *anpassning* till olika och mer specifika behov tillsammans med framtida användare samt öppna upp för att inkludera transporter, laddstolar för elbilar och liknande.

Publikationslista och annat material

Projekresultaten har publicerats och kommunicerats genom ett flertal kanaler. Sammanlagt publicerade vi två artiklar i vetenskapliga tidskrifter samt fem artiklar och presentationer på internationella vetenskapliga konferenser. Två konferensartiklar har fått utmärkelsen "Best paper". Dessutom har fyra underlagsrapporter och en dataloggbok tagits fram för detaljerad dokumentation. Utöver det har det svenska projektet bidragit till rapporterna framtagna inom det internationella konsortiet, bidragit till ett webinar och en rapport kopplade till övergripande JPI/DUT aktiviteter inom temat PED. För en mer populärvetenskaplig spridning har projektet och resultaten sammanfattats i tre kortare filmer, presenterats på en utställning på ett internationellt event, på två konferenser med fokus på allmännyttan och regelbundna inlägg på projektets LinkedIn sida.

Vetenskapliga tidskriftsartiklar

- 1) Abouebeid S, Enerbäck J, Malakhatka E, Strömberg A-B, Sindelar D, Mazidi M, Sridhar A, Wallbaum H, Thuvander L (2026). Urban building energy modelling and multi-objective optimization for PED transition in an existing neighbourhood in Sweden. *Energy and Buildings*, 352 (2026) <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116783>

Artikeln introducerar ett integrerat ramverk för energimodellering och optimering av livscykelkostnader, koldioxidutsläpp och energieffektivisering i samband med byggnadsrenoveringar tillämpad på ett flerbostadshusområde från 1950-talet i Göteborg. Resultaten visar att det är mycket utmanande att uppnå full PED-status (netto-noll energiimport, netto-noll koldioxid och energiöverskott) med de utvärderade lösningarna. Medan optimerade lösningar minskade nätberoendet (till ~63 % med PV och BESS under volatila priser) och totala koldioxidutsläpp (med ~13 % jämfört med baslinjen), uppnåddes varken fullständig netto-noll energiimport, full koldioxidneutralitet inklusive inbäddade effekter eller ett energiöverskott. Det föreslagna ramverket tillhandahåller ett beslutsstödsverktyg för strategisk PED-planering i befintliga urbana områden, vilket möjliggör utforskande av komplexa tekno-ekonomiska och miljömässiga avvägningar.

- 2) Malakhatka E, Shafqat O, Sandoff A, Thuvander L (2025). Positive energy districts and energy communities: how living labs create value. *Buildings and Cities*, 6(1), 783–799. <https://doi.org/10.5334/bc.630>

Artikeln presenterar en jämförande analys av sex Urban Living Labs (ULL) med fokus på positiva energidistrikt och energisamhällen i Österrike, Tyskland, Sverige och Nederländerna. Olika intressentkonfigurationer, styrningsmodeller och värdeskapande processer analyseras med hjälp av strukturerad dokumentation av de sex områden, en multiteoretisk lins som kombinerar ett flerlayersperspektiv, ULL-ramverk, innovationsekosystemteori och Cambridge Value Mapping Tool (CVMT). Resultaten visar betydande variationer i styrningen, från centraliserade och kommunalt ledda modeller till distribuerat, kooperativt eller akademiskt ledarskap. Kartläggning visar kritiska spänningar mellan regiminnehavare och nischade aktörer och CVMT-analysen visar att värdeskapande är mångdimensionellt men ofta ojämnt. Resultaten ger handlingsbara insikter för att utforma ULL som är tekniskt effektiva och socialt integrerade för rättvisa och hållbara urbana energiovergångar.

Vetenskapliga konferensartiklar

- 1) Mazidi M, Sridhar A, Steen D, Malakhatka E, Abouebeid S, Niklasson F, Tuan LA, Wallbaum H (2026). Evaluating the Potential for Developing Local Energy Communities in Sweden: Case Studies at Jättesten and Chalmers Campus. In: Martinac I, Jørgensen BN, Ma ZG, Unnpórsson R, Bordin C (eds) *Energy Informatics. Lecture Notes in Computer Science*, 16096. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03098-6_12

Artikel utvärderar kvantitativt potentialen hos lokala energigemenskaper (LEG) att förbättra effektiviteten och hållbarheten i Sveriges elsystem. Två svenska demonstrationsplatser utvärderades: Jättesten, som representerar bostäder och Chalmers Campus som representerar en kommersiella byggnader. Indikatorerna som fokuseras på är årliga driftskostnader, och förmågan att kapa effekttoppar. Resultaten visar att en kombination av bostads- och kommersiella laster inom en enda LEG avsevärt förbättrar den totala prestandan genom att utnyttja mångfalden i efterfrågan. Deltagande i en LEG kan minska de årliga driftskostnaderna med upp till 14 %, förbättra egenkonsumtion och självförsörjning med upp till 4 %, och sänka toppbelastningen med upp till 20 %. Dessutom understryker analysen potentialen för ytterligare vinster genom ökad integration av solceller och batterilagringssystem.

- 2) Abouebeid S, Malakhatka E, Thuvander L (2025). Future-proofing positive energy districts: climate change impacts on energy demand and supply in Jättesten, Gothenburg. *Journal of Physics: Conference Series*, 3140 062001 [DOI 10.1088/1742-6596/3140/6/062001](https://doi.org/10.1088/1742-6596/3140/6/062001)

Presenterad på CISBAT konferensen The Built Environment in Transition, 3-5 september 2025, Lausanne, Schweiz.

Studien undersöker framtida klimatscenariers påverkan på en potentiell omvandling av ett bostadsområde till ett PED. I en simuleringsbaserad energimodellering integreras renoveringsåtgärder och förnybara energisystem. Resultaten visar en viss ökning av säsongsbetonad kylenergiefterfrågan, delvis kompenserad av en betydande minskning av värmeenergibehovet och variationer i PV-energiproduktionen. Insikterna understryker behovet av att inkludera ytterligare överväganden i renoveringsplaneringen.

- 3) Malakhatka E, Abouebeid S, Arvanitis T, Eleftheriou O, Naserentin VA, Wästberg D, Thuvander L (2025). Digital Twin for Positive Energy Districts: A Web-Based Viewer for Scenario Simulation of the mixed-use area Jättesten, Gothenburg. [*Proceedings of Digital Frontiers in Buildings and Infrastructure International Conference Series*](#).

Best paper award. Presenterad på DFBI International Conference on Digital Frontiers in Buildings and Infrastructure, 11-13 juni 2025, Delft, Nederländerna.

Artikeln presenterar en webbaserad Digital Twin plattform, DT4PED, utvecklad för att guida utvecklingen mot PED genom integrerad modellering, simulering och visualisering. DT4PED fungerar som ett beslutsstödsverktyg som kombinerar urbana data set med parametrisk modellering. Den interaktiva webb DT Viewern, utvecklad med Unreal Engine och distribuerad via Pixel Streaming, möjliggör realtidsvisualisering av simuleringsresultat, jämförande scenarioanalys och visning av prestandamått, utan att behöva installera specialiserad hårdvara eller mjukvara på användarens sida.

- 4) Malakhatka E, Wallbaum H, Abouebeid S, Hofer G, Pooyanfar P, Dursun I, Weber G, Gecer HS, Thuvander L (2025). Fostering Sustainable Urban Energy Transitions: Backcasting for Positive Energy Districts and Digital Twin strategies in a European Context. *Proceedings CIB World Building Congress*. <http://dx.doi.org/10.7771/3067-4883.1959>

Best paper award. Presenterad på CIB World Building Congress, 19-23 maj 2025, Purdue University, USA.

Studien integrerar backcasting-metoder och Digital Twin (DT)-strategier för att främja PED-utveckling genom en tvåstegsmetod: backcasting-workshops för att samskapa långsiktiga visioner och handlingsbara strategier, samt DT-applikationer anpassade till tre Urban Living Labs: Wien/Österrike, Göteborg/Sverige och Sakarya/Turkiet. Back-casting-processen identifierade vägar till energieffektivitet, integration av förnybar energi och minskning av klimatpåverkan. Dessa översattes till operativa verktyg och DT-funktionerna Digitalisera, Visualisera, Simulera, Förutsäga och Orkestrera. Resultaten understryker samarbete mellan aktörer för anpassning till lokala prioriteringar. Utmaningar som skalbarhet, resursintensitet och att upprätthålla långsiktigt engagemang kvarstår.

- 5) Malakhatka E, Wästberg D, Wallbaum H, Pooyanfar P, Dursun İ, Hofer G, Thuvander L (2024). Towards Positive Energy Districts: Multi-criteria framework and Quality Assurance. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (1363, No.1, 012085). IOP Publishing.
[doi: 10.1088/1755-1315/1363/1/012085](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012085)

Presenterad på World Sustainable Built Environment konferens Innovation Pathways & Partnerships, 12-14 juni 2024, virtual conference.

Artikeln utvecklar ett ramverk och en checklista för kvalitetssäkring för PEDs kopplat till det europeiska projektet DT4PEDs med Living Labs i Österrike, Sverige och Turkiet. Baserad på en workshop med intressenter från partnerländer och en litteraturoversikt diskuterar studien konsolidering av fastighetsutvecklingspraxis i Österrike, Sverige och Turkiet, inklusive nybyggnation och renovering, formulerar ett PED-ramverk med flera kriterier för en kvalitetskontrolllista samt föreslår rekommendationer för hur en digital tvilling kan stödja energirelaterade informationsflöden och intressentdialog.

Rapporter

Gollner C, Persson J, van Noordt A, Thuvander L, van der Laan M (2025). *Deep-dive #3: Digital Twins and decision-making tools for PED*. DUT report.

Naserentin, V (2025). *DENIM Project Repositories Report Technical Summary: denim-urbanOpt & denim-kfp*. DTCC and Flax & Teal Limited.

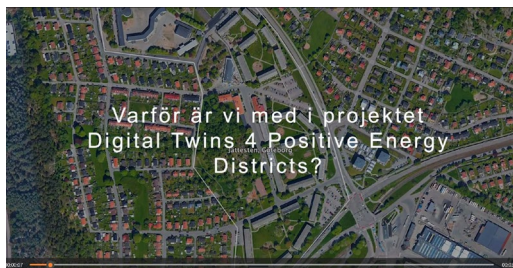
Sandoff A (2025). *Affärsmässighet i energigemenskaper. En fasindelad analys av företagsdrivna affärsmodeller i svensk kontext*. Handelshögskolan vid Göteborgs universitet.

Svensson, O (2025). *Lufttäthetsmätning av lägenhet 397, Jättestensgatan 13A, Göteborg*. Rapport RISE

Wästberg D (2025). *Digital Twin Simulation Backend for Energy Modeling – Summary*. Chalmers industriteknik.

Filmer

Projektet, partner och förväntningar (svenskt konsortium):



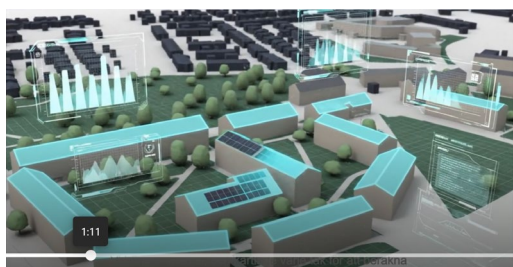
[241023 DT4PEDs kortfilm SV.mp4](#)

Projektet, partner och förväntningar (internationellt konsortium):



www.youtube.com/watch?v=pmhWSi0SGnc

Sammanfattning projektresultat:



<https://youtu.be/xxxEylW9V0w>

Social media - LinkedIn



Digital Twins for PEDs

DT4PEDs develops a quality assurance process through a digital twin ensuring positive energy neighbourhood

www.linkedin.com/company/digital-twins-for-peds/posts/?viewAsMember=true

Referenser

Abouebeid S, Enerbäck J, Malakhatka E, Strömberg A-B, Sindelar D, Mazidi M, Sridhar A, Wallbaum H, Thuvander L (2026). Urban building energy modelling and multi-objective optimization for PED transition in an existing neighbourhood in Sweden. *Energy and Buildings*, 352, doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116783

Anderson J, Rønning A (2022). Using standards to maximise the benefit of digitisation of construction product Environmental Product Declaration (EPD) to reduce Building Life Cycle Impacts. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 349, p. 10003). EDP Sciences.

EN (2012). 15804:2012 + A1:2013, *Sustainability of construction works — Environmental product declarations — Core rules for the product category of construction products*. BSI.

IoT Analytics (2024). *6 main digital twin applications and their benefits*. Retrieved November 20, 2024. From <https://iot-analytics.com/6-main-digital-twin-applications-and-their-benefits/>

JPI (2021). *Urban Europe, Positive Energy Districts (PED)*. Retrieved: 2025-09-12, <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/>.

Madni AM, Madni CC, Lucero SD (2019). Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. *Systems*, 7(1), 7.

Malakhatka E, Abouebeid S, Arvanitis T, Eleftheriou O, Naserentin VA, Wästberg D, Thuvander L (2025). Digital Twin for Positive Energy Districts: A Web-Based Viewer for Scenario Simulation of the mixed-use area Jättesten, Gothenburg. *Proceedings of Digital Frontiers in Buildings and Infrastructure International Conference Series*.

Malakhatka E, Shafqat O, Sandoff A, Thuvander L (2025). Positive energy districts and energy communities: how living labs create value. *Buildings and Cities*, 6(1), 783–799. doi. org/10.5334/bc.630

Malakhatka E, Wallbaum H, Abouebeid S, Hofer G, Pooyanfar P, Dursun I, Weber G, Gecer HS, Thuvander L (2025). Fostering Sustainable Urban Energy Transitions: Backcasting for Positive Energy Districts and Digital Twin strategies in a European Context. *Proceedings CIB World Building Congress*.

Malakhatka E, Wästberg D, Wallbaum H, Pooyanfar P, Dursun İ, Hofer G, Thuvander L (2024). Towards Positive Energy Districts: Multi-criteria framework and Quality Assurance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (1363, No. 1, 012085). DOI: 10.1088/1755-1315/1363/1/012085

Negri E, Fumagalli L, Macchi M (2017). A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems. *Procedia manufacturing*, 11, 939-948.

Sandoff A (2025). *Affärsmässighet i energigemenskaper. En fasindelad analys av företagsdrivna affärsmodeller i svensk kontext*. Handelshögskolan vid Göteborgs universitet.

Bilaga A Genomförda workshops och större möten

Workshops svensk projektteam

WS#	Datum / plats	Tema	Deltagare
#1	2023-02-02 Online	Systemgränser Definition av PED, koncept, strategier för energieffektivitet, principer för beräkning av energianvändning, energi-källor, balans mellan termisk energi/ elektricitet	12
#2	2023-03-01 Online	Intressenter och drivkrafter Kartläggning av aktörer utifrån olika grader av intresse - kärntrupp, delaktig, informerad och deras drivkrafter	12
#3	2023-04-04 online	Scenarier Samordning av renoverings- och utvecklingsstrategier mellan fastighets-förvaltande företag, diskussion energi-relation mellan byggnader, tidshorisonter	10

Nationella workshops

WS#	Datum / plats	Tema	Deltagare
#1	2023-10-04 Jättesten Göteborg	Intressentanalys och scenarier Identifiera och diskutera viktiga intressenter och deras potentiella drivkrafter för att bidra till utvecklingen av energi- och klimatscenarier	20 5 Fastighetsföretag 5 Konsulter 6 Forskare 1 Kommun 1 Energiföretag 2 Bilföretag
#2	2024-11-27 AWL Göteborg	Rundabordssamtal Presentation av projektet och samtal kring PED energiscenarier, innovation energi-system, affärsmodeller och samhälls-engagemang. Samla insikter från olika experter och intressenter för att utvärdera preliminära resultat och diskutera framtida utvecklingar av DT4PED-metoden.	23 4 Fastighetsföretag 3 Konsulter 4 Energiföretag 2 Kommun 2 Offentlig regional organisation 8 Forskare
#3	2025-06-11 Jättesten Göteborg	Demo-dag, slutevent för projektet Presentation av projektresultat kombinerat med demonstration och test av den utvecklade DT-Viewern	17 7 Fastighetsföretag 3 Konsulter 2 Energiföretag 5 Forskare

Internationella workshops

WS#	Datum / plats	Tema	Deltagare
#1	2023-10-05 AWL Göteborg	Affärsmodeller Diskussion om vikten, för- och nackdelarna med att utveckla och använda en digital tvilling som produkt, tjänst och infrastruktur	20 3 Österrike 15 Sverige 2 Turkiet
#2	2023-10-05 AWL Göteborg	Kvalitetssäkringsprocess Utveckling och discussion av ett gemensamt PED ramverk	20 3 Österrike 15 Sverige 2 Turkiet
#3	2024-09-19 e7 Wien	Back-casting Analys av nuläget, identifiering av långsiktig vision, mid-term vision och åtgärder för implementering av visionerna	16 6 Österrike 7 Sverige 3 Turkiet
#4	2025-09-11 Sakarya Sakarya University	Utvärdering projekt och resultat Reflektion kring DT4PED projektetresultat och process i sin helhet	9 1 Österrike 2 Sverige 6 Turkiet

Aktiviteter inom internationellt konsortium

Kick-off möte 16–17 november 2022, online
Möte och studiebesök Jättesten 5–6 oktober 2023, Göteborg, Sverige
Workshop *Lessons learnt*, 3 juni 2024, online
Möte och studiebesök 19–20 september 2024, Wien, Österrike
Kunskapsutbytesmöte *Ekodenge Plattform*, Turkiet, 23 januari 2025, online
Kunskapsutbytesmöte *Digital Tvilling koncept*, Sverige, 13 mars 2025, online
Kunskapsutbytesmöte *Circularitet*, Austria, 28 May 2025, online
Slutmöte och studiebesök 11–12 september 2025, Sakarya, Turkiet

Aktivt deltagande i Expert Support Facility möten

01_Möte 2023-01-30/31, Köpenhamn
03_Möte 2023-09-05, online
04_Möte 2024-01-25/26, Bryssel
05_Möte 2024-09-05, online
06_Möte 2024-12-05, online
07_Möte 2025-02-18, online
08_Möte 2025-05-12, online
Slutmöte 2025-10-22, online

Projektmöten svenskt team

2022 – 2 möten
2023 – 9 möten
2024 – 4 möten
2025 – 2 möten (färre möten i helgrupp, i stället flera möten i mindre fokusgrupper)

Bilaga B Sammanställning spridning av resultat

År 2025

Presentationer på konferenser

- *Klimat- och energikicken*, 12–13 november 2025, Örebro
- *CISBAT The Built Environment in Transition*, 3-5 september 2025, Lausanne, Schweiz
- *First Nordic Energy Informatics Academy Conference*, EIA Nordic 2025, 20–22 augusti 2025 Stockholm
- *DFBI International Conference on Digital Frontiers in Buildings and Infrastructure*, 11–13 juni 2025, TU Delft, Nederländerna
- *CIB World Building Congress*, 19–23 maj 2025, Purdue University, USA

Presentations at workshops, seminars, and webinar

- *Internationellt slutmöte*: JPI Urban Europe PED Call II, 21 oktober 2025, online
- *Workshop*: Kraftsamling för lokal energiomställning, 4 september 2025, Stockholm
- *Webinar*: Digital Twins and decision-making tools for PED, Thematic Deep-dive 3, PED Expert Support Facility, 6 mars 2025, online DD#3: <https://www.youtube.com/watch?v=AbdvIIMAL-E>
- *Seminarium*: Styrkeområde Energy, Profilmråde urban energi, 28 februari 2025, Chalmers

Spridning av information om projektet

- *Webinar*: The role of positive energy districts in city transformation - A Swedish perspective (Jonas Persson, Viable Cities), SyC Smart Cities Electrotechnical aspects of Smart Cities, IEC, 10 juni 2025, online
- *Blogpost*: [ECMI – European Consortium for Mathematics in Industry](#), 10 september 2025

År 2024

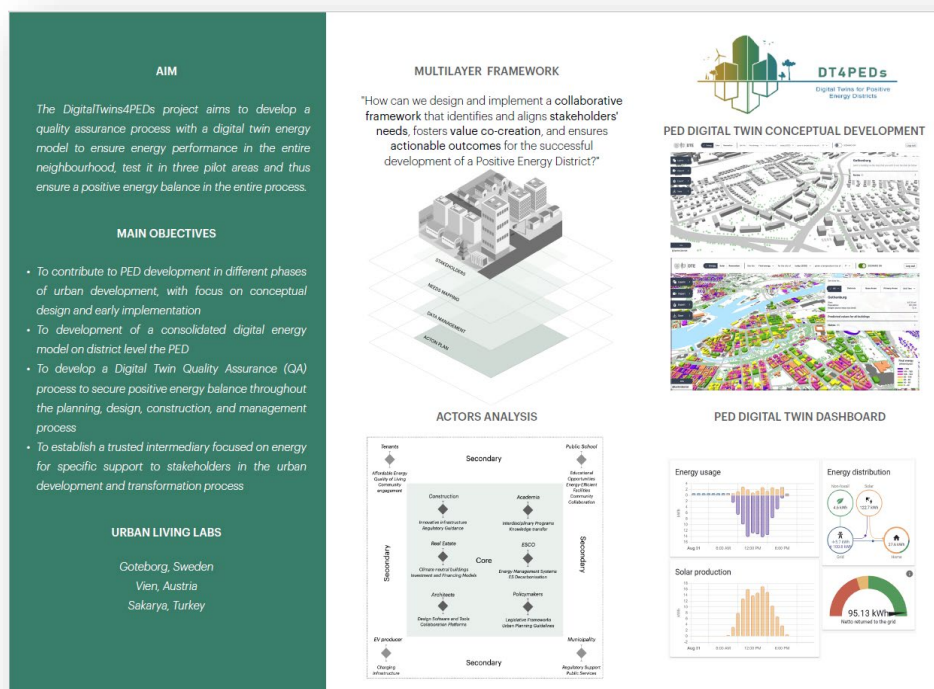
Presentationer på konferenser

- *WSBE 2024 Innovation Pathways & Partnerships for Sustainable Built and Urban Environments*, 12–14 June 2024, virtual conference

Presentationer på workshops och utställningar

- *Exhibition and survey*: Urban Futures: The Better-Cities Event, 5–7 juni 2024, Rotterdam, Nederländerna
- *Workshop*: Urban Living Lab Conference Re-inventing the city (urban innovation), 23–25 april 2024, AMS Institute, Nederländerna

Informationsbroschyr DT4PED



DT4PED Poster: Expert Support Facility workshop i Brussel, 2024



DT4PEDs
Digital Twins for Positive Energy Districts

Topics:
Digital Twin
Quality Assurance
Stakeholder engagement
Process
(Business models)



DT4PEDs is working on a smart energy plan at the neighbourhood scale, addressing the complex challenge of reconciling diverse stakeholders' interests.

By using digital twin models and testing in Sweden, Austria, and Turkey, the project aims to find a scalable solution to support the quality assurance process in PEDs.

This could be a game changer for urban development and help us to move closer to our climate goals.

Dialogue and Quality Assurance Support for PEDs by Digital Twin District Energy Models

- Contribute to PED development in different phases of urban development
- Develop a digital energy model on district level
- Develop a Digital Twin (DT) Quality Assurance process
- Establish a trusted intermediary focused for stakeholder support
- Investigate business models for mainstreaming DTs for energy in future PED
- Disseminate the concept/experience of DTs to potential stakeholders

Urgency - curiosity

Energy vs Climate impact
Systemic view: relation district-city (upscaling of PED)

Challenges

- Real processes are fast/slow, dynamic, different from project time line
- Availability and access of data, data sharing (sensitive, format, ...)
- Many stakeholders, no clear definitions

Austria – Vienna

Name: Am Kempelenpark
Nr apartments: 1100
Build. area business: 25.000 m²
Share: 80% resid, 20% business



e7 energy innovation & engineering
STC Development GmbH
Austrian Institute of Technology
City of Vienna

Turkey - Sakarya

Name: Camili
Nr apartments: 853
Floor area buildi: 292.000 m²
Share: 90% resid, 10% busin, gov,



Sakarya University of Applied Sciences
Sakarya Municipality,
Ekodenge Inc., Sakarya Electricity
Distribution Company, Adapazari Gas
Distribution Inc.

Sweden - Gothenburg

Name: Jättesten
Nr apt: 527 exist + 124 new
Share: residential & schools



Chalmers University of Technology,
Framtiden AB, Poseidon, Chalmers
Industri teknik, Gothenburg University,
White Architects, Johanneberg Science
Park, Stadsfastighetsförvaltningen







PED multi-criteria framework based on participatory workshop and literature study and PED Quality Assurance checklist

See the energy for year given the temperature rise of degrees aggregated by no aggregator







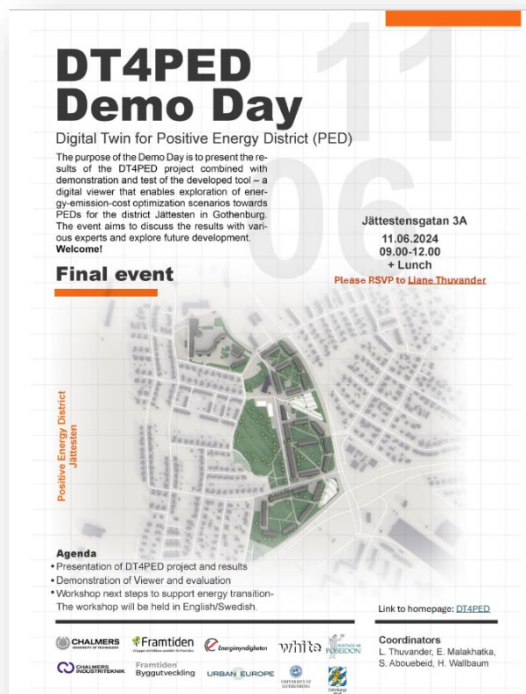




Workshop poster

Demo-day, 11 June 2025

Roundtable workshop, 27/11
November 2024



DT4PED Demo Day
Digital Twin for Positive Energy District (PED)

The purpose of the Demo Day is to present the results of the DT4PED project combined with demonstration and test of the developed tool – a digital viewer that enables exploration of energy-emission-cost optimization scenarios towards PEDs for the district Jättesten in Gothenburg. The event aims to discuss the results with various experts and explore future development. Welcome!

Final event

Jättestensgatan 3A
11.06.2024
09.00-12.00
+ Lunch

Please RSVP to [Liane Thuvander](#)

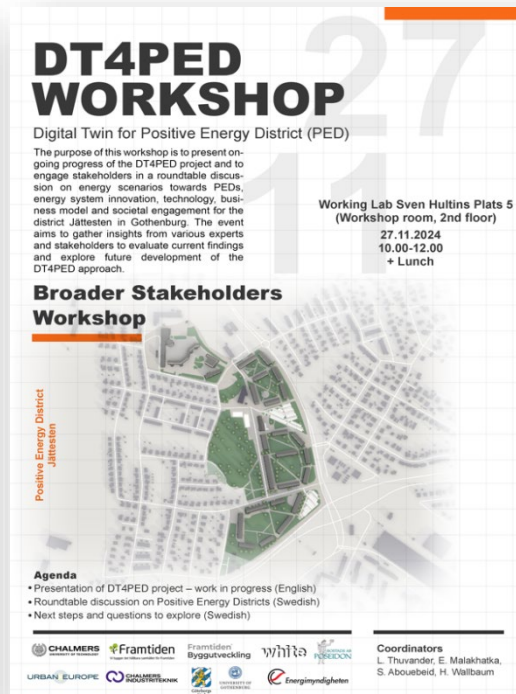
Agenda

- Presentation of DT4PED project and results
- Demonstration of Viewer and evaluation
- Workshop next steps to support energy transition. The workshop will be held in English/Swedish.

Link to homepage: [DT4PED](#)

Coordinators:
L. Thuvander, E. Malakhutka,
S. Abusbeid, H. Wallbaum

Logos: CHALMERS, Framtiden Byggutveckling, Energimyndigheten, white, NORDEN, URBAN EUROPE, EQUALITIES, Energimyndigheten



DT4PED WORKSHOP
Digital Twin for Positive Energy District (PED)

The purpose of this workshop is to present ongoing progress of the DT4PED project and to engage stakeholders in a roundtable discussion on energy scenarios towards PEDs, energy system innovation, technology, business model and societal engagement for the district Jättesten in Gothenburg. The event aims to gather insights from various experts and stakeholders to evaluate current findings and explore future development of the DT4PED approach.

Broader Stakeholders Workshop

Working Lab Sven Hultins Plats 5
(Workshop room, 2nd floor)
27.11.2024
10.00-12.00
+ Lunch

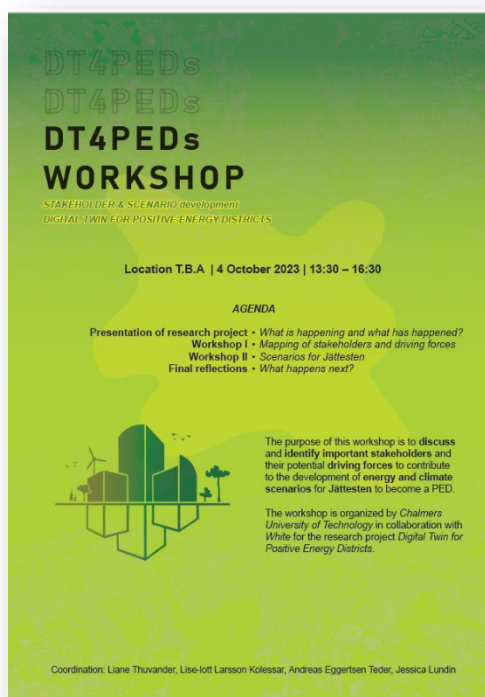
Agenda

- Presentation of DT4PED project – work in progress (English)
- Roundtable discussion on Positive Energy Districts (Swedish)
- Next steps and questions to explore (Swedish)

Coordinators:
L. Thuvander, E. Malakhutka,
S. Abusbeid, H. Wallbaum

Logos: CHALMERS, Framtiden Byggutveckling, Energimyndigheten, white, NORDEN, URBAN EUROPE, EQUALITIES, Energimyndigheten

Intressent- och scenarioworkshop 4 October 2023



**DT4PEDs
DT4PEDs
DT4PEDs
WORKSHOP**

STAKEHOLDER & SCENARIO development
DIGITAL TWIN FOR POSITIVE ENERGY DISTRICTS

Location T.B.A | 4 October 2023 | 13:30 – 16:30

AGENDA

Presentation of research project • What is happening and what has happened?
Workshop I • Mapping of stakeholders and driving forces
Workshop II • Scenarios for Jättesten
Final reflections • What happens next?

The purpose of this workshop is to discuss and identify important stakeholders and their potential driving forces to contribute to the development of energy and climate scenarios for Jättesten to become a PED.

The workshop is organized by Chalmers University of Technology in collaboration with White for the research project Digital Twin for Positive Energy Districts.

Coordination: Liane Thuvander, Lise-Iott Larsson Kolesar, Andreas Eggertsen Teder, Jessica Lundin

Grafisk profil för DT4PED

DT4PEDs

Logotype and graphic profile for DT4PEDs

LOGO



COLORS

				C=29 M=44 Y=100 K=7 R=178 G=135 B=45	Terracotta yellow	
				C=76 M=28 Y=87 K=12 R=68 G=131 B=76	Forest green	
				C=75 M=33 Y=56 K=11 R=70 G=128 B=116	Emerald green	
				C=89 M=56 Y=13 K=1 R=25 G=108 B=165	Cobalt blue	