

Kerrostalo energiamurroksen vauhdittajana Loppuraportti 28.2.2025

Ympäristöministeriön Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelma

Hankkeemme on saanut tukea ympäristöministeriöltä Vähähiilisen rakennetun ympäristön ohjelmasta, jonka rahoitus tulee EU:n kertaluonteisesta elpymisvälineestä (RRF).

COZIFY
SMART LIVING. FOR LIFE.

nolla_E

COBA
INTERNATIONAL

TA-Asumisoikeus

Cozify Oy

nollaE Oy

Coba International Oy

LUT-yliopisto



Sisällysluettelo

1. Tiivistelmä.....	3
Executive Summary	5
2. Hankkeen tausta ja tavoitteet	7
3. Hankkeen osapuolet.....	8
4. Hankkeen menetelmät ja tulokset	8
4.1 WP1 - Markkina ja liiketoimintaympäristö.....	8
Työpakettin WP-1 yhteenveto	11
4.2 WP2 - Teknistaloudellinen toimintaympäristö.....	12
Työpakettin yhteenveto.....	21
4.3 WP3 – Pilotti	22
Työpakettin yhteenveto.....	28
4.4 WP4 – Kulutusjouston arvovirrat ja kädenjälki	29
5. Hankkeen vaikuttavuus	29
6. Tulosten kestävyys, hyödyntäminen ja suositukset	30
7. Viestintä.....	30
8. Talous	31
9. Yhteenveto	31
Conclusions.....	33
Liitteet.....	36
Liitteet 1.1–1.8. NollaE Oy:n kohdekohtaiset raportit	36
Liite 2. Pilottiympäristön järjestelmäkaavio ja toimintaselostus	36
Liite 3. LUT-yliopiston loppuraportti	36

1. Tiivistelmä

Sähköjärjestelmän toiminnan ylläpitämiseksi sähköntuotannon ja kulutuksen väillä on joka hetki oltava tasapaino, joka ilmenee sähköverkon taajuudesta. Sähkömarkkinatoimijat suunnittelevat etukäteen, miten tuotanto ja kulutus pidetään tasapainossa. Järjestelmävastaavana toimii Fingrid. Fingrid varmistaa, että kulutuksen ja tuotannon tasapaino toteutuu hankkimalla ja aktivoimalla säätötarjouksia säätösähkömarkkinoilta ja varaamalla reservejä.

Yhteiskunnan sähköistyminen ja uusiutuvien säästä riippuvien energiainvestointien lisääntyminen luo tarpeita hallita paremmin sähköenergian tuotannon ja kulutuksen tasapainoa. Hankkeessa on perehdytty sähkömarkkinaan, sähkötehon tasapainomarkkinaan ja markkinoiden kehitystrendeihin.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää asuinkiinteistöjen skaalautuva sähköenergian virtuaalivoimalaitosmalli, joka mahdollistaa sen, että rakennus on aktiivinen osa kansallista sähköjärjestelmää.

Hanketta johti TA-Asumisoikeus Oy, joka on avustuksen päähakija. Hankkeen partnerit ovat Cozify Oy, nollaE Oy, Cobra Oy. Päähakija ja partnerit muodostivat konsortion. LUT-yliopisto toimi alihankkijana ja vastasi hankkeen tieteellisestä tutkimuksesta.

Hankkeen pilottiympäristöksi valittiin asuinkiinteistöjen sähkökuormista teholtaan ja energiankäytöltään merkittävin, joka on lämmitysjärjestelmä eli pilotin tapauksessa lämpöpumput. Lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmitysjärjestelmissä on viime vuosien aikana yleistynyt. Tämä trendi näkyy myös TA-Asumisoikeus Oy:n uudis- ja korjausrakentamisessa sekä kiinteistökehityksessä.

Hanke jaettiin työpaketteihin:

- WP1 – Markkina ja liiketoimintaympäristö
- WP2 – Teknistaloudellinen toimintaympäristö
- WP3 – Pilotti
- WP4 – Kulutusjoustop arvoirrat ja kädenjälki

Työpaketissa WP1 päädyttiin, että day ahead eli sähkön spot-markkinapaikka on FCR-N-reservimarkkinan lisäksi soveltuva markkinapaikka.

Työpaketissa WP2 nollaE Oy kehitti kaupallisen tietomalli- ja simulointiohjelmistoaan rajapintoineen siten, että ohjelmistolla voidaan mallintaa kiinteistöjen sähkökuormat ja simuloida kuormien FCR-N ja spot-ohjauksen taloudelliset aspektit, kiinteistön termodynaaminen käyttäytyminen ja vaikutukset sisäilman laatuun huomioon ottaen. Ohjelmistokehitysvaiheen jälkeen tietomallinnettiin ja simuloitiin 8 TA Asumisoikeus Oy:n asuinkohdetta.

Simulointien pohjalta ja nykyhetken tiedon valossa todettiin, että spot-ohjaus on itsessään kaksi kertaa kysyntäjoustoa kannattavampi ratkaisu mutta tilanne voi muuttua energiamurroksen aikana. Kannattavuuteen vaikuttaa kiinteistöomistaja sähkösopimus, rakennuksen energiatehokkuus ja ikä, lämpöpumpun mitoitusaste ja rakenteiden lämmönvarauskyky sekä sähkö- ja reservimarkkinan kehitys. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sen, että energiatehokkuudeltaan paremmat ja rakenteiltaan massiiviset rakennukset ovat parempia spot-ohjauksen ja kysyntäjoustop kannalta. Lisäksi täystehomitoitetut lämpöpumput soveltuvat paremmin spot-ohjauksen ja kysyntäjoustop, kun osatehomitoitetut ratkaisut.

Työpaketissa WP3 Cozify Oy, nollaE Oy ja Coba International Oy kehitti aggregaattori-ohjelmiston ensimmäisen teknisen version ja tarvittavat API-rajapinnat. Työpaketissa nollaE Oy:n ohjelmistoa kehitettiin siten, että kohteen tietomallin laskenta kykenee tuottamaan rakennuksen seuraavan vuorokauden energiakustannusoptimoitun lämmitysjärjestelmän toimintaohjeen. Aggregointiympäristö asennettiin viiteen TA-Asumisoikeus Oy:n asuin kohteeseen, josta kaksi olivat kerrostaloja ja loput rivitaloja.

Ajanpuutteen takia aggregointia testattiin vain yhdessä kohteessa syksyn ja alkutalven 2024 aikana. Testit osoittivat, että aggregointi toimii ja kehitetty ympäristö kykenee toimimaan teknisenä virtuaalivoimalaitoksena. Aggregaattorin testauksessa havaittiin, että lämmitysjärjestelmän ohjaus ei haitallisesti vaikuta sisäilmalämpötiloihin tai lämpimän käyttöveden lämpötiloihin. Testijakson aikana muodostui myös taloudellinen hyöty (17 euron säästö kahden ja puolen vuorokauden testijakson aikana), joka perustuu siihen, että lämpöpumppua käytettiin halvempina spot-tunteina. Säästön oletuksena on, että kiinteistöomistajalla on spot-sähkösojimus.

Asennetut ympäristöt keräsivät kattavaa dataa lähes vuoden mittaisesta jaksosta. Dataa hyödynnettiin työpakein WP4 LUT-yliopiston tutkimuksessa.

WP4 työpaketissa LUT-yliopisto määrittä aggregoinnin arvovirrat ja arvioi hiilijalanjäljen sekä -kädenjäljen. LUT-yliopiston tutkimuksessa on selvinnyt, että lämpöpumppujen spot-ohjauksella on mahdollista parantaa lämpöpumppujen energiankäyttöä ja sitä kautta vähentää päästöjä. Pilottikohteissa kulutuksen siirto halvimmille spot-tunneille tuottaa arvioltaan:

- 26–38 % energiansäästö;
- 20–44 % hiilikädenjälkipotentiaalin.

On arvioitu, että energiansäästö ja kädenjälki muodostuu siitä, että lämpöpumppujen optimointi yhdessä spot-ohjauksen kanssa pienentävät lämmitysjärjestelmän sähkövastusten käyttöä merkittävästi. Yksi selittävä tekijä on se, että halvimmat spot-tunnit toteutuvat tyypillisesti yön aikana. Tällöin lämpimän käyttöveden käyttö on minimaalinen. Kalliimpina spot-tunteina lämmintä vettä saatetaan käyttää hyvinkin paljon (erityisesti aamu- ja ilta-aika) mutta tuolloin kiinteistöä ei lämmitetä.

Lämpöpumppujen FCR-N markkinaan osallistumisesta ei arvioitu muodostuvan suoria positiivisia ympäristövaikutuksia, mutta lämpöpumppujen kulutusjoustolla voidaan vähentää akkujen valmistuksesta johtuvia ympäristövaikutuksia 25–59 tCO₂e/MW akkukapasiteetti.

Huomion arvoista on se, että spot-ohjaus ja kysynnänjousto ei vaikuta E-lukuun, joten aggregoinnin yleistäminen on tällä hetkellä täysin markkinaehtoinen ilmiö.

Hankkeen alkuperäinen tavoite uudisrakentamisen muodossa ei toteutunut. Uudisrakennushanke olisi mahdollistanut laajemman kokeilun ja olisi pitänyt sisällään lämmitysjärjestelmän lisäksi myös muita kiinteistökuormia ja kodinkoneita. Konsortio kannustaa kaupunkia, kuntia ja muita tonttien luovuttajatahoja tukemaan entistä enemmän innovatiivisia kokeiluja.

Jokainen kiinteistö on yksilönsä; ratkaisut, jotka toimivat taloudellisesti yhdessä kiinteistössä, eivät välttämättä toimi toisessa. Suosituksena on, että kysyntäjousto- ja spot-ohjauksen kyvykkyudet tarkastellaan aina kiinteistökohtaisesti, ja samassa yhteydessä tarkastellaan mahdollisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.

Executive Summary

To maintain the stable operation of the electricity system, there must be a continuous balance between electricity production and consumption, which is reflected by the frequency of the electricity grid. Market participants plan in advance how to maintain this balance. Fingrid, the national transmission system operator, is responsible for ensuring this equilibrium by procuring and activating balancing energy offers from the balancing energy market and reserving capacity through ancillary services.

The ongoing electrification of society and the increasing investments in weather-dependent renewable energy sources are creating new requirements for managing the balance between electricity production and consumption. This project examined the electricity market, power balancing markets, and ongoing development trends within these sectors.

The goal of the project was to develop a scalable virtual power plant model based on residential properties, enabling buildings to become active participants in the national electricity system. The project was led by TA-Asumisoikeus Oy, the main grant applicant. Project partners included Cozify Oy, nollaE Oy, and Cobra Oy. Together, the main applicant and partners formed a consortium. LUT University participated as a subcontractor and was responsible for the scientific research component.

The pilot environment focused on the most significant electrical load in residential buildings—heating systems, specifically heat pumps. The use of heat pumps in building heating systems has increased notably in recent years, a trend also evident in TA-Asumisoikeus Oy's new construction, renovation, and real estate development projects.

The project was divided into the following work packages:

- WP1 – Market and Business Environment
- WP2 – Techno-Economic Operating Environment
- WP3 – Pilot Implementation
- WP4 – Value Streams and Handprint of Demand Response

In WP1, it was concluded that in addition to the FCR-N reserve market, the day-ahead electricity market (spot market) is a suitable trading platform.

In WP2, nollaE Oy developed its commercial data modeling and simulation software and interfaces to enable modeling of building electrical loads. The software simulated the economic aspects of FCR-N and spot market control, the thermodynamic behavior of buildings, and the impacts on indoor air quality. After development, eight residential properties owned by TA-Asumisoikeus Oy were data-modeled and simulated.

Based on simulations and current knowledge, spot market control alone was found to be twice as profitable as demand response. However, this could change during the energy transition. Profitability is influenced by factors such as the property owner's electricity contract, building energy efficiency and age, heat pump sizing, thermal storage capacity of structures, and the development of electricity and reserve markets. As a general guideline, energy-efficient and structurally massive buildings are better suited for spot market control and demand response. Additionally, heat pumps sized to meet the building's full

heating demand are better suited for both spot-price-based control and demand response than undersized or partially dimensioned systems.

In WP3, Cozify Oy, nollaE Oy, and Cobra International Oy developed the first technical version of an aggregator software and the required API interfaces. The nollaE software was further enhanced to enable calculation of the building's next-day heating system operation plan optimized for energy cost. The aggregator system was installed in five TA-Asumisoikeus Oy properties, including two apartment buildings and three row houses.

Due to time constraints, aggregation was tested in only one building during autumn and early winter 2024. The tests confirmed that the aggregation system functions properly and can operate as a technical virtual power plant. The tests showed that controlling the heating system did not negatively impact indoor temperature or domestic hot water temperature. A financial benefit of 17 € was achieved during a 2.5-day test period by operating the heat pump during cheaper spot hours—assuming the property owner has a spot-price-based electricity contract.

The installed systems collected comprehensive data for nearly one year. This data was used in WP4 for research conducted by LUT University.

In WP4, LUT University identified the value streams of aggregation and assessed the carbon footprint and handprint. The research found that spot control of heat pumps can improve energy use efficiency and reduce emissions. In the pilot buildings, shifting consumption to cheaper spot hours resulted in:

- 26–38 % energy savings, and
- 20–44 % carbon handprint potential.

It is estimated that the observed energy savings and handprint result from the fact that optimizing heat pumps in combination with spot-price-based control significantly reduces the use of electric resistance heating in the heating system. A key factor is that the lowest spot prices typically occur at night when hot water usage is minimal. During high-price hours (especially mornings and evenings), hot water use is higher, but heating is generally not required then.

No direct environmental benefits were identified from participating heat pumps in the FCR-N market. However, demand-side flexibility through heat pumps can reduce the environmental impacts of battery production by approximately 25–59 tCO₂e/MW of battery capacity.

It is noteworthy that spot market control and demand response have no effect on a building's energy performance (E-number), meaning the spread of aggregation remains entirely market-driven for now.

The original goal of implementing the project in new construction was not realized. A new building project would have enabled broader experimentation, including other electrical loads such as household appliances in addition to the heating system. The consortium encourages cities, municipalities, and other land grantors to support innovative pilots more actively.

Each building is unique; solutions that are financially viable in one may not be in another. It is recommended that the capabilities for demand response and spot control be assessed individually for each building, along with any energy efficiency improvement opportunities.

2. Hankkeen tausta ja tavoitteet

Sähköenergiajärjestelmä voidaan yksinkertaisesti mallintaa kolmen osapuolen avulla:

- tuotanto;
- siirto;
- kulutus.

Sähköjärjestelmän toiminnan ylläpitämiseksi sähköntuotannon ja kulutuksen välillä on joka hetki oltava tasapaino, joka ilmenee sähköverkon taajuudesta. Suomen sähköverkon taajuus on 50 Hz. Sekä kulutuksessa että tuotannossa tapahtuu jatkuvia muutoksia. Osa muutoksista on ennakoitavissa ja osa ei. Esimerkiksi tuulisemman sääennusteen perusteella tuulituotantomäärä on ennustettavissa tai vastaavasti kylmempi sääennuste vaikuttaa lämmitystarpeeseen ja sitä kautta kasvattaa sähkön kulutusta. Ennakoimaton muutos voi olla esimerkiksi sähkötuotantoyksikön yllättävä vikaantuminen ja verkosta putoaminen. Muutokset voivat olla lyhytaikaisia tai pitkäaikaisia.

Sähkömarkkinatoimijat suunnittelevat etukäteen, miten tuotanto ja kulutus pidetään tasapainossa. Järjestelmävastaavana toimii Fingrid. Fingrid varmistaa, että kulutuksen ja tuotannon tasapaino toteutuu hankkimalla ja aktivoimalla säätötarjouksia säätösähkömarkkinoilta ja varaamalla reservejä.

Reservit ovat tuotantolaitoksen tai kulutusyksikön säädettävissä olevia vapaita tehokapasiteetteja. Reservit voivat omien ominaisuuksiensa perusteella reagoida säätöön eri aikatasolla.

Reservien lisäksi Fingrid ylläpitää tehoreservijärjestelmää, jolla turvataan sähköenergian toimitusvarmuus tilanteissa, joissa suunniteltu sähkön tasapaino ei riitä. Tehoreservinä voivat toimia sekä tuotantolaitokset että kulutuksen joustoon soveltuvat kulutusyksiköt, jotka kykenevät säätämään omaa kulutustaan tilanteen vaatiessa.

Yhteiskunnan sähköistyminen ja uusiutuvien säästä riippuvien energiainvestointien lisääntyminen luo tarpeita hallita paremmin sähköenergian tuotannon ja kulutuksen tasapainoa. Hankkeessa perehdytään sähkömarkkinaan, sähkötehon tasapainomarkkinaan ja markkinoiden kehitystrendeihin.

Hankkeessa kehitetään asuinkiinteistöjen skaalautuva sähköenergian virtuaalivoimalaitosmalli, joka mahdollistaa sen, että rakennus on aktiivinen osa kansallista sähköjärjestelmää. Hanke vastaa tarpeeseen tuoda markkinoille uusia ratkaisuja asuinkiinteistöjen energiamarkkinoiden kysynnän ja tarjonnan tasapainon parantamiseksi. Hanke luo verkottuneen toimintamallin sekä uusia liiketoimintamalleja, tarjoten tietoa talon suunnittelijoille, kiinteistönomistajille ja kehittäjälle.

Hankkeen tavoitteena oli kehittää virtuaalivoimalaitoksen mallinnusmenetelmä ja testata virtuaalivoimalaitos pilotointiympäristössä hankkeen aikana rakentavassa uudessa kerrostalossa. Tavoitteena oli arvioida virtuaalivoimalaitoksen vaikutukset hiilidioksidipäästöihin.

Hankkeen edetessä ei onnistuttu löytämään sopivaa uudisrakennuskerrostaloa pilotointiympäristöä varten, ja pilottiympäristön tavoite jouduttiin asettamaan uudelleen. Uuden tavoitteen mukaisesti hankkeessa fokuoitiin olemassa oleviin asuinrakennuksiin, sekä kerrostaloihin että rivitaloihin.

Hankkeen tuloksena muodostuu luonnos virtuaalivoimalaitoksesta eli aggregaattorista, joka on skaalautuvissa ja palvelee sekä asuinkiinteistöjä että muita kiinteistötyyppejä. Ratkaisu on kaupallistettavissa sekä spot- että kysyntäjoustomarkkinoille. Järjestelmän oletetaan alentavan kiinteistön käyttökustannuksia ja pienentävän kiinteistöjen käytönaikaista hiilijalanjälkeä.

Hanke tuottaa kiinteistössä koetellun näkemyksen siitä, kuinka virtuaalivoimalaitos tulisi suunnitella sekä uudisrakentamisessa että olemassa olevaan kiinteistökantaan. Hankkeessa annetaan tontinluovutukseen liittyviä ja vihreää siirtymää edistäviä suosituksia kaupungeille ja kunnille.

3. Hankkeen osapuolet

Hanketta johtaa TA-Asumisoikeus Oy, joka on avustuksen päähakija. Hankkeen partnerit ovat Cozify Oy, nollaE Oy, Cobra Oy. LUT-yliopisto vastaa hankkeen tieteellisestä tutkimuksesta.

TA-Asumisoikeus Oy on asuintomarkkinoilla toimiva yleishyödyllinen (ARA) kiinteistörakennuttaja ja pitkäaikainen kiinteistöomistaja. TA-Asumisoikeus omistaa 15 000 asuntoa valtakunnallisesti ja toimii hankkeen pilottialustana.

NollaE Oy on hiilineutraalin rakentamisen asiantuntija. NollaE:n vastuulla on virtuaalivoimalaitosratkaisujen mallinnuksen kehittäminen, mallinnus ja arvovirtojen laskenta.

Cozify Oy on älykkäiden rakennusten ja kotien IoT-ratkaisujen kehittäjä ja toimittaja. Cozify Oy kehittää hankkeen ohjelmistorajapinnat ja virtuaalivoimalaitoksen teknisen kokeilu ympäristön.

Coba International Oy on rakennusautomaattioratkaisujen asiantuntija ja toimittaja. Cobra International Oy tukee hankkeen osapuolia automaattioratkaisujen osaamisella ja toimittaa pilotin tekniset ratkaisut sekä kehittää ohjelmistojen rajapinnat.

LUT-yliopiston tehtävänä on auttaa hanketta sähkömarkkinaosaamisellaan, ja tieteellisin menetelmin arvioidaan hankkeen toimintaympäristöstä saatujen tulosten pohjalta virtuaalivoimalaitoksen vaikutukset hiilijalanjälkeen ja hiilikädenjälkeen.

4. Hankkeen menetelmät ja tulokset

Hanke jaettiin työpaketteihin:

- WP1 – Markkina ja liiketoimintaympäristö
- WP2 – Teknistaloudellinen toimintaympäristö
- WP3 – Pilotti
- WP4 – Kulutusjoustop arvovirrat ja kädenjälki

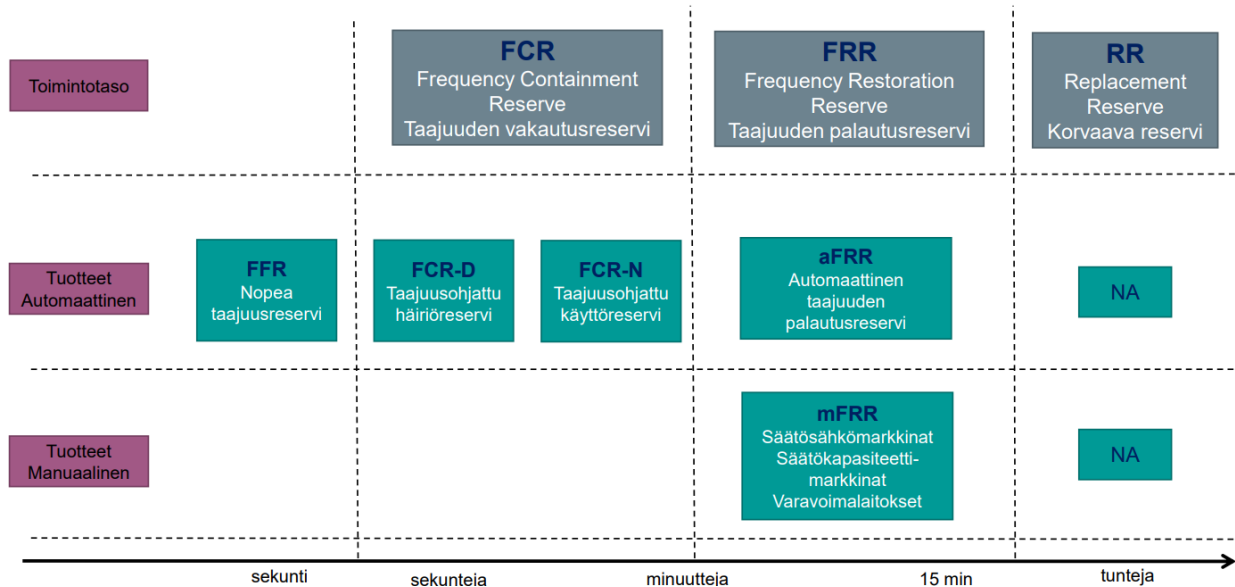
4.1 WP1 - Markkina ja liiketoimintaympäristö

Työpaketissa tutkittiin virtuaalivoimalaitoksen mahdolliset toimintatavat ja liiketoimintamallit kartoittamalla markkinoilla olevia toimijoita, avointa dataa ja tutkimalla kiinteistöjen soveltuvuutta voimalaitoskäyttöön. Markkinaselvityksessä on käyty konsultoivaa keskustelua LUT-yliopiston ja Fingridin kanssa.

Työpaketti toteutettiin hankkeen alussa fokuksen ollessa Suomen sähköjärjestelmän reservimarkkinassa. Hankkeen aikana Euroopan energiakriisi huipentui, mikä vaikutti myös Suomen sähkömarkkinaan. Hankeen edetessä seurattiin markkinamuutoksia ja arvioitiin muutosten vaikutuksia hankkeeseen.

Kuvassa 1 on esitetty Pohjoismaiden ja Suomen reservimarkkinan tuotteet.

Pohjoismaissa käytössä olevat reservit



Reservituotteet Suomessa

	FFR	FCR-D	FCR-N	aFRR	mFRR
	Nopea taajuus-reservi, Suomi 18 %, Pohjoismaissa yht. 0-300 MW (arvio)	Taajuusohjattu häiriöreservi, Suomi ~300 MW, Pohjoismaissa yht. 1 450 MW (ylös) ja 1400 MW (alas)	Taajuusohjattu käyttöreservi, Suomi ~120 MW, Pohjoismaissa yht. 600 MW	Automaattinen taajuuden palautusreservi, Suomi 60-80 MW, Pohjoismaissa yht. 300-400 MW	Säätösähkö- ja säätökapasiteetti-markkinat, Mitoittava vika + tasevastaavien tasevirhe
Aktivointi	Suurissa taajuus-poikkeamissa, hankitaan pienen inertian tilanteissa	Suuremmissa taajuus-poikkeamissa, erikseen ylösäättö ja alassäättö	Käytössä jatkuvasti	Käytössä kohdistetuilla tunneilla	Tarvittaessa
Nopeus	Sekunnissa	Sekunneissa	Kolmessa minuutissa	Viidessä minuutissa	Vartissa (12,5 min)
					

Kuva 1. Pohjoismaiden ja Suomen reservimarkkinan tuotteet (Fingrid Oyj:n esitysmateriaali 26.9.2023

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>)

Hankkeen pilottiympäristöksi valittiin TA-Asumisoikeus Oy:n olemassa olevan kiinteistösalkun asuinkohteet. Asuinkiinteistöjen sähkökuormista teholtaan ja energiankäytöltään merkittävin on lämmitysjärjestelmä. Lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmitysjärjestelmissä on viime vuosien aikana yleistynyt. Tämä trendi näkyy myös TA-Asumisoikeus Oy:n uudis- ja korjausrakentamisessa sekä kiinteistökehityksessä.

TA-Asumisoikeus Oy:n kiinteistöjen lämpöpumpputyypin tarkemmassa tarkastelussa tuli ilmi, että lämpöpumppujen tehonsäätö toimenpiteenä vaati minuutteja. Selvityksessä ilmeni, että FCR-N-tuntimarkkinat ovat lämpöpumppukuorille parhaiten sopivia. Kuvassa 2 on esitetty Fingridin näkemys eri teknologioiden soveltuvuudesta reservimarkkinaan.



Kuva 2. Eri teknologioiden soveltuvuus reservituotteisiin (Fingrid Oyj:n esitysmateriaali 26.9.2023

<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/reservit/reservituotteet-ja-reservien-markkinapaikat.pdf>)

Tarkemmassa selvityksessä osoittautui, että reservimarkkinan haasteeksi muodostuvat sanktiot (mikäli luvattu sähkötehon jousto ei toteudu, Fingridin sanktio on kustannukseltaan kaksinkertainen kyseisen joustojakson markkinahinnasta), joista kiinteistöalalla ei ole juurikaan käytännön kokemuksia. Sanktioiden haaste pohjautuu siihen, että reservijoustoan soveltuvat kiinteistöjen sähkökuormat ovat teholtaan suhteellisen pieniä ja kuormien hetkellisen käytön ennustaminen on haastava verrattuna esimerkiksi vesivoimaan tai teollisuuteen, jossa prosessien hallinta on tarkka ja kuormat ovat teholtaan suuria.

Selvityksessä ilmeni, että FCR-N-reservimarkkinoille hyväksyttävä vähimmäiskuorma on 100 kW, joka on yksittäisen asuinkiinteistön kohdalla isohko sähkökuorma. Yksittäistä rakennusta ei ole teknisesti ja taloudellisesti mielekäästä asettaa FCR-N-reservimarkkinalle, vaan rakennuksen tulisi olla osa isompaa kiinteistösalkkua ja reservimarkkinoille asetettava teho tulisi aggregoida salkkukohtaisesti. Salkkuhallinta tulisi huomioida joustoalgoritmin kehityksessä, sillä algoritmin tulisi tuntea salkussa olevien kiinteistöjen joustoan soveltuva tehopotentiali, tuntea joustohetkellä salkussa käytettävissä oleva todellinen jaostopotentiali sekä ohjata kiinteistön sähkökuormat siten, että FCR-N-markkinoille tarjottu potentiali ja saavutettu jousto toteutuvat ilman sanktioita.

Vuoden 2021 FCR-N tuntimarkkinan taloudellinen toteutuma oli 188 953 euroa / 1 MWh tarjottua ja toteutunutta reserviä. Aggregaattori liiketoiminnan haasteena on myös FCR-N joustotuotteen pieni markkinakoko (Suomessa 2021 n. 105 MW) ja reservitoimijoiden lisääntyminen (esimerkiksi reservimarkkinoille osallistuvat kiinteistösähköakut ovat yleistymässä).

Työpakeissa ilmeni, että FCR-N-reservimarkkinaan osallistuminen on yksittäisenä palveluna taloudellisesti riskipitoinen, ja kannattavuutta voidaan lisätä lisäpalveluilla, joita voivat olla esimerkiksi lämpöpumppujen osallistuminen spot-markkinaan ja huoneistojen sisäilman laatua varmistavat ja monitoroivat palvelut. Aggregaattori liiketoiminnan skaalautumisen edellytyksenä on kehittää ratkaisut, jolla pääseminen spot- ja reservimarkkinoihin olisi investointikustannuksiltaan maltillinen ja kannattavaa myös kiinteistönomistajalle.

Hankkeen aikana vallitseva energiakriisi, lisääntynyt tuulivoimakapasiteetti ja kaupalliseen käyttöön otettu Olkiluoto 3 -ydinvoimala mullistivat sähkömarkkinoita. Energiakriisin myötä Pohjoismaisella markkinalla nähtiin sähköfutuuri hinnoissa ja spot-hinnoissa huimaa nousua ja epävarmuutta. Olkiluoto 3 -ydinvoimalan kaupallinen käyttöönotto ja lisääntynyt tuulivoimakapasiteetti on pudottanut Suomen hinta-alueen (EPAD) futuuri- ja spot-tuotteiden hintoja. Tämä aiheutti sen, että Suomessa nähtiin jopa negatiivisia sähkön hintoja ja spot-hintavaihtelut ovat lisääntyneet merkittävästi. Vuoden 2024 toisella puoliskolla Suomen hinta-alueen futuurituotteiden hinnat olivat kuitenkin olleet taas ennätyskorkeat, mikä selittyi sähkön siirtoyhteyksien huoltotöistä johtuvista siirtokapasiteettirajoituksista. Estlink 2-siirtoyhteyden vaurioituminen ei näkynyt Suomen hinta-alueen tuotteiden hinnoissa. Markkinoilla tapahtuneet muutokset aiheuttavat sen, että merkittävät sähkönhankintayksiköt joutuvat harkitsemaan uudelleen sähkönhankintapolitiikkansa. Lisäksi sähköhintojen voimakkaat vaihtelut luovat tarpeen spot-ohjaukselle.

Energiakriisi on aiheuttanut taloudellisia paineita myös sähkönmyyntiyhtiöille. Tuloksena on havaittu, että B2B- ja B2C-ympäristöissä sähkön myyjät pyrkivät muuttamaan voimassa olevien sähkönmyntisopimusten sisältöä siirtääkseen sähkökaupan riskit sähköenergian ostajalle. Uusien sopimusten kohdalla sähkön myyjät siirtävät sähkönhankinnan riskit sähköenergian ostajalle. Riskeihin kuuluvat esimerkiksi sähköostajan profiilikustannukset.

Työpaketin WP-1 yhteenveto

Tässä työpaketissa päädyttiin, että day ahead eli sähkön spot-markkinapaikka on FCR-N-reservimarkkinan lisäksi soveltuva markkinapaikka. Uudet sähkösopimusmallit voivat muuttaa sähkönostajan toimintatapoja siten, että sähköenergian hankintakustannusten optimoimiseksi sähkönostajan on osattava ennustaa kulutuksensa nykyistä tarkemmin ja/tai osattava automaattisesti sopeuttaa omaa kulutustaan (sähkökuormien spot-ohjaus). Tässä työpaketissa on havaittu, että spot-sähkötuotteet ja spot-ohjaus voivat olla tulevaisuudessa hyvin kiinnostavia tuotteita kiinteistöalalla.

Tämän paketin tulokset annettiin työpaketin 2 simulointiohjelmiston kehittämisen reunaehdoiksi, pilottikohteiden simulointien lähtötiedoksi ja työpaketin 3 toimintaympäristön laitteistosuunnittelun sekä algoritmikehityksen lähtötiedoksi.

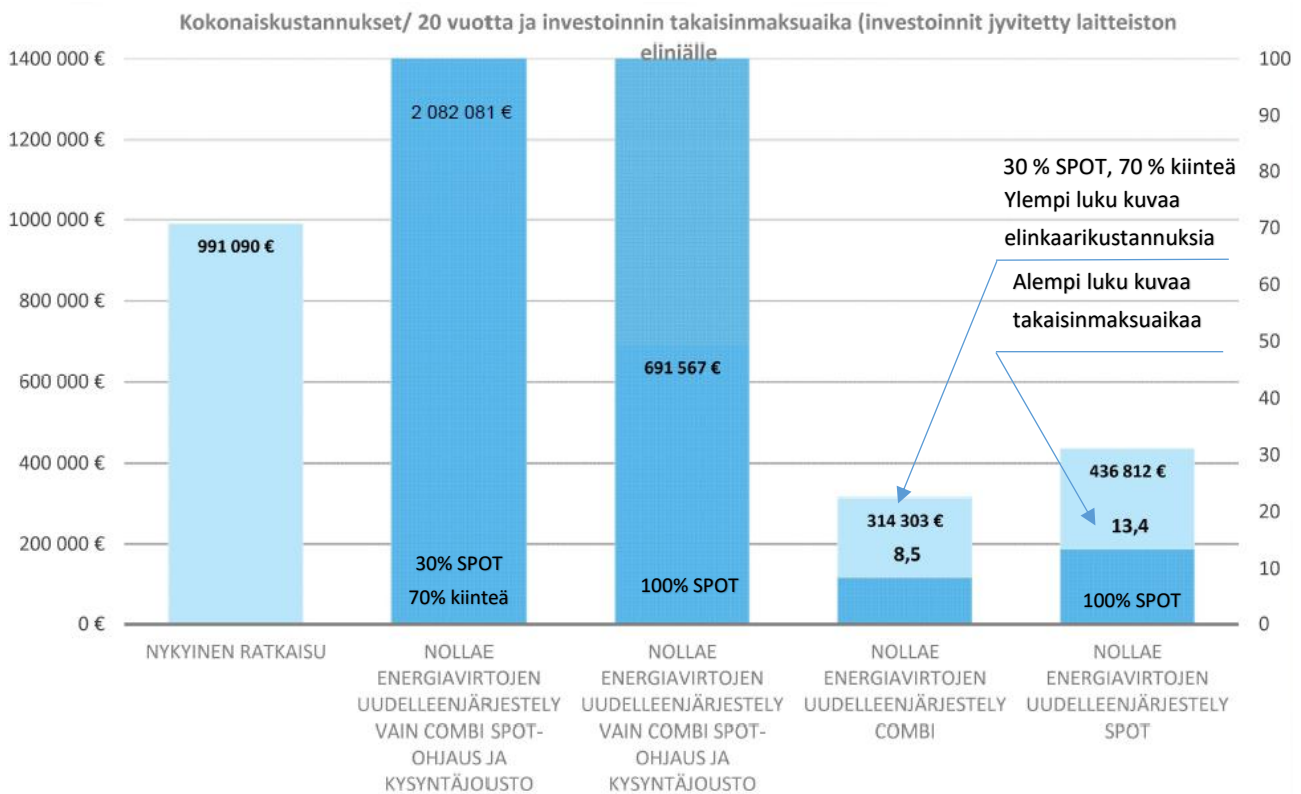
4.2 WP2 - Teknicaloudellinen toimintaympäristö

NollaE Oy:n ohjelmistolla voidaan luoda rakennuksen tietomalli ja simuloida energiavirrat sekä hakea parhaiten soveltuvat ratkaisut optimoinnin avulla. Tässä työpaketissa nollaE Oy kehitti tietomalli- ja simulointiohjelmistoaan rajapintoihin siten, että ohjelmiston uuden ominaisuuden avulla voidaan mallintaa kiinteistöjen sähkökuormat ja simuloida kuormien FCR-N ja spot-ohjauksen taloudelliset aspektit, kiinteistön termodynaaminen käyttäytyminen ja vaikutukset sisäilman laatuun huomioon ottaen. Ohjelmisto voi käyttää FCR-N- ja spot-markkinan historiadataa tai vaihtoehtoisesti ohjelmisto voi hakea rajapinnan avulla day-ahead-, FCR-N- ja spot-hinnat sekä sääennusteen laskentaa varten. Laskennan tuloksena ohjelma tuottaa seuraavan vuorokauden lämpöpumpun energian hankintahinta- ja sisäilmaolosuhdeoptimoidun toimintaohjeen (käyntiohjelma).

Ohjelmistokehitysvaiheen jälkeen tietomallinnettiin ja simuloitiin 8 TA Asumisoikeus Oy:n asuinkohdetta. Dynaamisissa simulaatioissa on laskettu spot- ja joustomarkkinalle (FCR-N) liittymiseen soveltuvat sähkökuormat, investointikustannukset ja inventointien kannattavuus muodostaen kokonaiskuva kiinteistöomistajan taloudellisesta hyödystä. Lisäksi simuloinneissa tarkasteltiin erikseen energiavirtojen uudelleenjärjestelyä. Simulointi perustui kiinteistöomistajan kysyntäjoustolaitteiston investointikustannuksiin ja kahteen sähkösopimusskenaarioon, joista toinen on 100 % spot-sopimus ja toinen kombinaatio 30 % spot- sekä 70 % kiinteähintaisesta sopimuksesta. Simulointi tehtiin vuoden 2022 spot- ja FCR-N markkinan toteutuneilla hintatiedoilla sekä vuoden 2022 säädatalla. Simulointi tehtiin rakennusmääräyskokoelman osassa D3-käyttöasteella, ja tarkastelujaksona oli 20 vuotta. Kaikissa kohteissa lämmitysjärjestelmänä on maalämpö. Kohteiden osoitteita ei voida julkaista.

Kohde 1

Kohde 1 on Turun seudulla sijaitseva, vuonna 2011 valmistunut kevytrakenteinen rivitalokohde, jossa on 31 asuntoa viidessä eri rakennuksessa. Kohteen energialuokka on C (2018) ja E-luku 138. Kohteen maalämpöpumppu on osatehomitoitettu (n. 50 %). Simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 3 ja koko raportti liitteessä 1.1.



Kuva 3. Kohde 1, simuloinnin tulokset.

Kuvan 3 vasemmanpuoleisin pylväs kuvaa kohteen talo- ja energiateknisiä elinkaarikustannuksia (991 090 €) 20 vuoden ajalta, jos kohteeseen ei tehdä investointeja.

Seuraava pylväs oikealle mennessä kertoo talotekniikan ja energian elinkaarikustannuksista (2 082 081 €) samalla ajanjaksolla, kun kohde varustetaan huoneistokohtaisilla sisäilmalaatusensoreilla, lämpöpumpun spot-ohjauksella ja kysyntäjoustoa mahdollistavalla ratkaisulla sekä lämminvesivaraajalla (investointikustannus 23 000 euroa alv 0 %, elinkaariaikaiset huoltokustannukset 12 000 euroa alv 0 %). Toimenpiteet ja kustannukset on esitetty tarkemmin liitteessä 1.1 s. 6 m – 10). Kiinteistön sähkönhankinta tapahtuu 30 % spot-hintaan ja 70 % kiinteään 139 €/MWh hintaan (laskelmissa käytetty sähkön hinta on esitetty kohdekohtaisissa raporteissa sivulla 10).

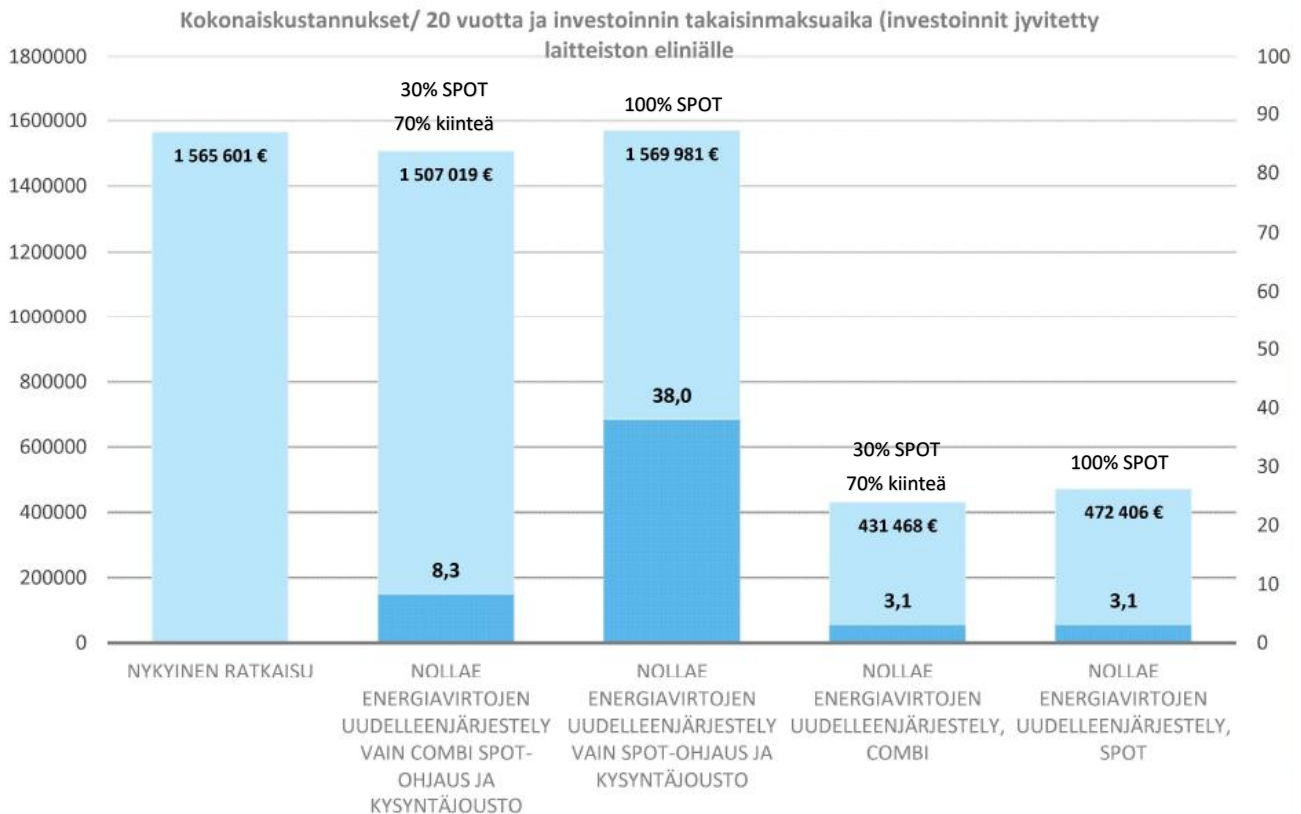
Keskimmäinen pylväs kertoo talotekniikan ja energian elinkaarikustannuksista (691 567 €), kun kohde varustetaan huoneistokohtaisilla sisäilmalaatusensoreilla, lämpöpumpun spot-ohjauksella ja kysyntäjoustoa mahdollistavalla ratkaisulla sekä lämminvesivaraajalla, mutta kiinteistön sähkönhankinta perustuu 100 % spot-sopimukseen.

Kaksi oikeanpuolista pylvästä kertovat tilanteesta, jossa kohde varustetaan huoneistokohtaisilla sisäilmalaatusensoreilla, lämpöpumpun spot-ohjauksella ja kysyntäjoustoa mahdollistavalla ratkaisulla; lisäksi kohteessa toteutetaan ilmanvaihdon optimointi, asennetaan vettä säästävät vesikalusteet ja säädetään lämmitysverkostoa toimimaan matalalla lämpötilalla (toimenpiteet ovat kuvattu tarkemmin liitteen 1.1 s. 6–11). Kuvan 3 oikeassa reunassa oleva pylväs (436 812 €) kuvaa tilannetta, jossa sähkö hankitaan 100 % spot-hintaan, jolloin toimenpiteiden takaisinmaksuaika on 13,4 vuotta (takaisinmaksuaika on esitetty pylväiden kohdalla alempana olevassa luvussa). Seuraava pylväs vasemmalle (314 303 €) kuvaa tilannetta, jossa 30 % sähköstä hankitaan spot-hintaisena ja 70 % kiinteään 139 €/MWh hintaan. Tässä tapauksessa toimenpiteiden takaisinmaksuaika on 8,5 vuotta.

Kohteessa 1 spot-hinta-ohjauksen ja FCR-N-ohjauksen taloudellinen kannattavuus oli ainoana toimenpiteenä huono, koska kohteen maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitettu ja joustovaraa ei juurikaan ollut. Toteuttamalla simuloinnissa esille tulleet energiatehokkuustoimenpiteet säästyy energiaa, ja lisäksi parempi energiatehokkuus mahdollistaa isomman jouston ja sitä kautta kannattavamman spot-hinta-optimoinnin sekä FCR-ohjauksen. Lisäksi sisäilmalaatua mittaavat huoneistokohtaiset sensorit mahdollistavat sisäilman laadun etävalvonnan, jolloin kiinteistöomistaja voi varmistaa terveelliset ja viihtyisät sisäilmaolosuhteet.

Kohde 2

Kohde 2 on Vantaalla sijaitseva, vuonna 1999 valmistunut viidestä rakennuksesta koostuva kevytrakenteinen rivitalokohde, jossa on 17 asuntoa. Kohteen energialuokka on D (2018) ja E-luku 161. Maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitettu (n. 60 %). Kohteen 2 simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 4 ja koko raportti liitteessä 1.2.



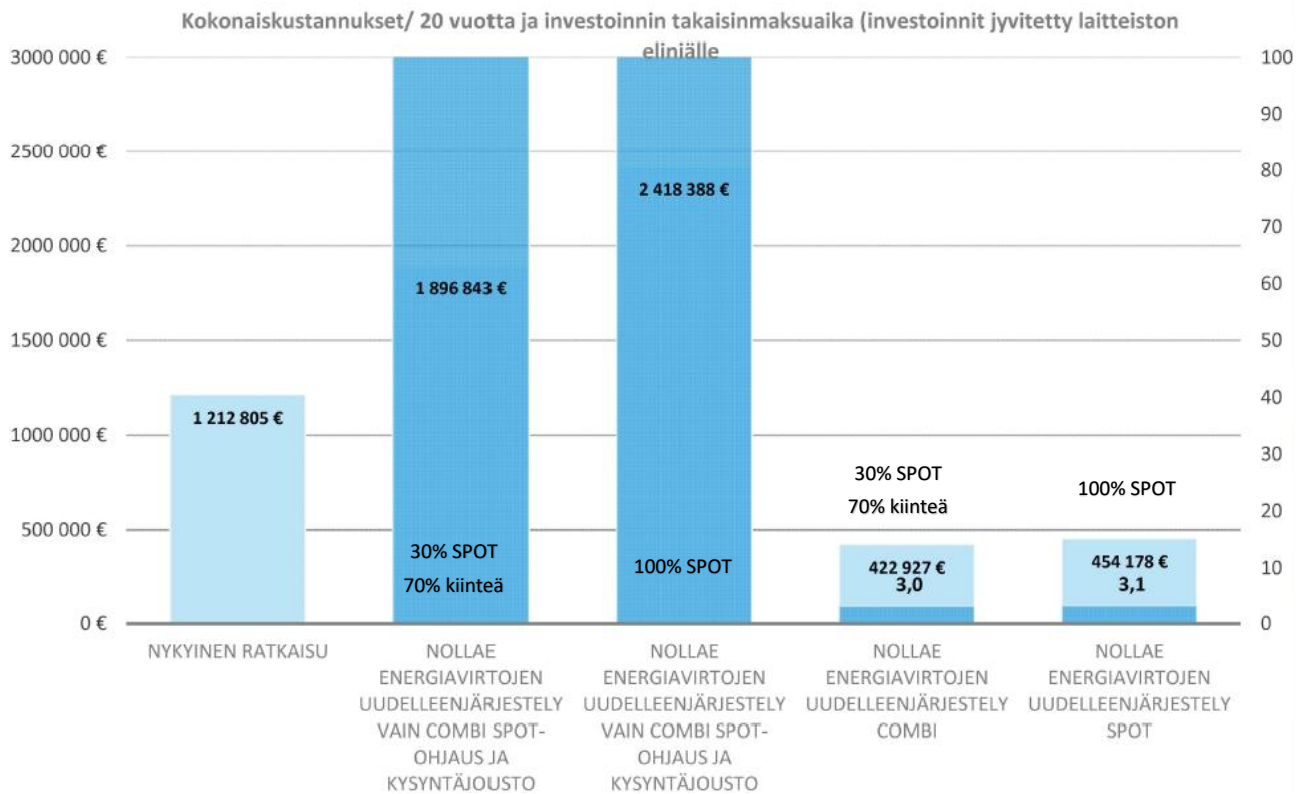
Kuva 4. Kohde 2, simuloinnin tulokset.

Kohteessa 2 spot-hinta-optimoinnilla ja FCR-N-markkinaa osallistumisella voidaan päästä 8,3 vuoden takaisinmaksuajaksi, kun kiinteistön sähkönhankinta tapahtuu 30 % spot-hintaan ja 70 % kiinteään 162 €/MWh hintaan. Kannattavuus heikkenee 38 vuoteen, jos sähköä hankitaan 100 % spot-hintaisena. Tämä johtuu siitä, että maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitu, jolloin järjestelmässä ei ole joustopotentiaalia.

Tekemällä simuloinnissa löydetty, taloudellisesti kannattavat energiatehokkuustoimenpiteet, takaisinmaksuaika laskee 3 vuoteen. Tämä johtuu siitä, että simuloinnin avulla on löydetty kannattavat energiatehokkuustoimenpiteet sekä siitä, että toimenpiteet parantavat kohteen energiatehokkuutta ja pienentävät lämmitystehontarvetta, ja sitä kautta lisäävät lämpöpumpun joustovaraa spot-hintaan sekä FCR-N-markkinaa. Toimenpiteet on esitetty tarkemmin liitteessä 1.2.

Kohde 3

Kohde 3 on Porvoossa sijaitseva vuonna 1998 valmistunut, kuudesta rakennuksesta koostuva kevytrakenteinen rivitalokohde, jossa on 25 asuntoa. Kohteen energialuokka on C (2018) ja E-luku 151. Maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitu (n. 50 %). Kohteen 3 simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 5 ja koko raportti liitteessä 1.3.

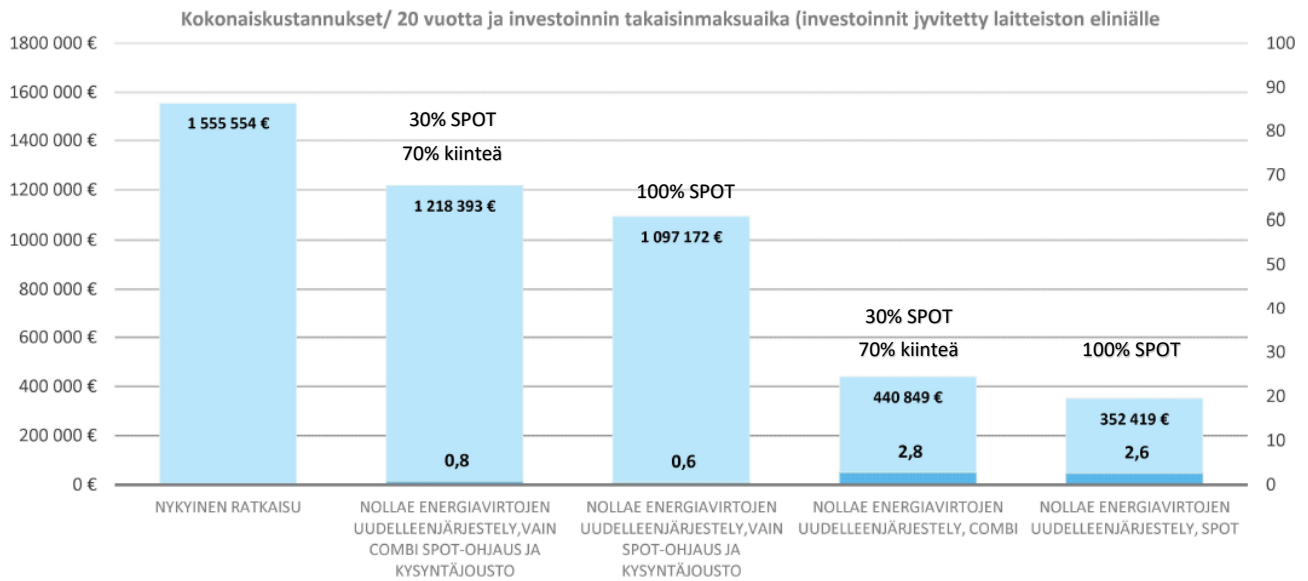


Kuva 5. Kohde 3, simuloinnin tulokset.

Myös kohteessa 3 lämpöpumppu on osatehomitoitettu. Kohteessa 3 vain spot-hinta-optimoinnilla ja FCR-N-markkinaan osallistumisella kohteen lämmitysjärjestelmän sähkövastusten käyttö lisääntyy. Tämä vaikutuksesta osallistuminen spot- ja reservimarkkinaan ei sellaisenaan kannata ollenkaan. Kuten kohteissa 1 ja 2, energiatehokkuutta parantavat lisätoimenpiteet toteuttamalla osallistuminen spot- ja reservimarkkinaan on kannattavaa, sillä lämpöpumpun joustokapasiteetti kasvaa. Toimenpiteet ovat laajat, joista merkittävin on koneellisen poistoilmanvaihdon (huoneistokohtaiset huippumurit) korvaaminen koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla (huoneistokohtaiset nestekiertoisilla LTO-laitteilla varustetut koneet). Toimenpiteet ovat kokonaisuudessa kuvattu liitteessä 1.3.

Kohde 4

Kohde 4 on Turun seudulla sijaitseva, vuonna 2018 valmistunut seitsemästä rakennuksesta koostuva kevytrakenteinen rivitalokohde, jossa on 30 asuntoa. Kohteen energialuokka on C (2013) ja E-luku 125. Kohteen maalämpöjärjestelmä on lähes täystehomitoitettu (96 %). Kohteen 4 simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 6 ja koko raportti liitteessä 1.4.

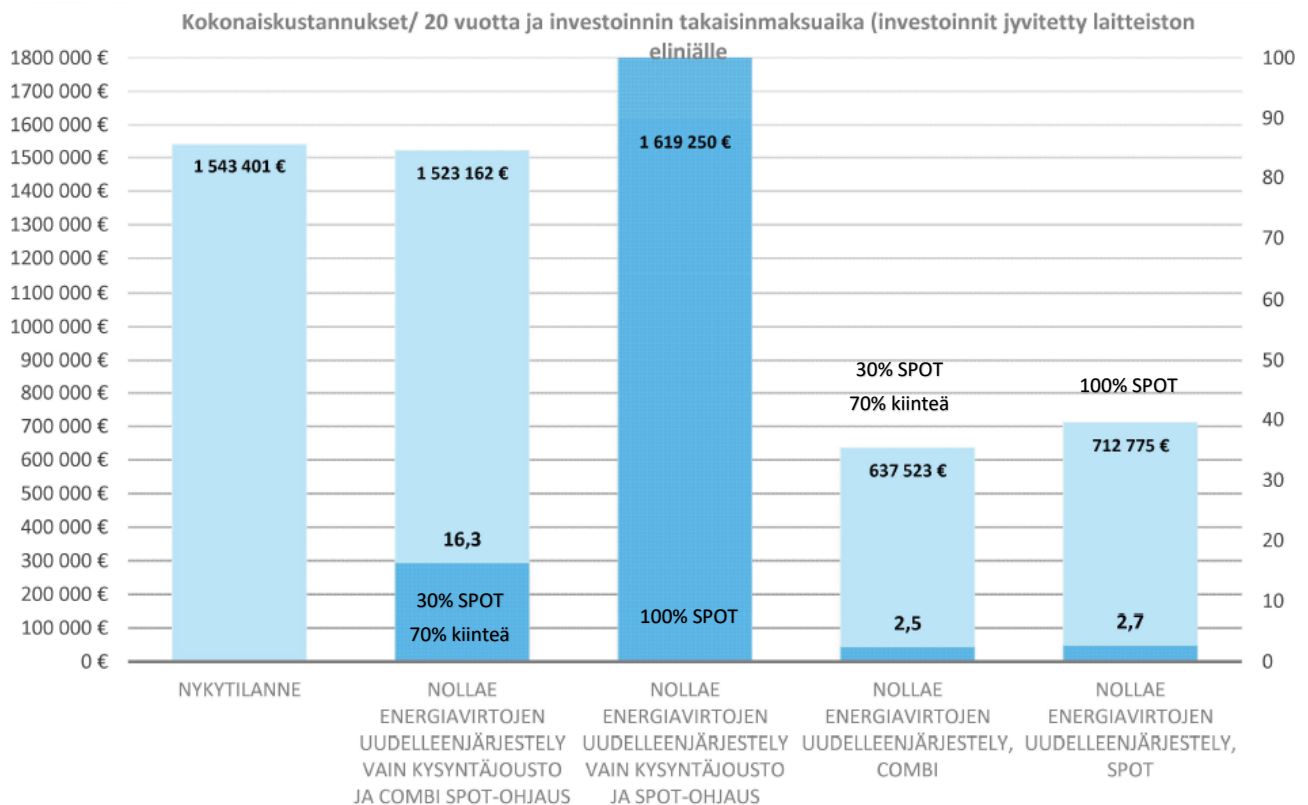


Kuva 6. Kohde 4 simuloinnin tulokset.

Kohteessa 4 spot-hinta-ohjauksen sekä FCR-N-markkinaan osallistumisen takaisinmaksuaika on alle vuoden, joten toimenpiteet ovat kannattavia. Kaiken parhaiten kannattaa spot-optimointi, FCR-N ja pörssisähkö, jossa takaisinmaksuaika on 0,6 vuotta. Kohteessa lämpöpumppu on täystehomitoitettu.

Kohde 5

Kohde 5 on pääkaupunkiseudulla sijaitseva, vuonna 2000 valmistunut neljästä rakennuksesta koostuva kevytrakenteinen rivitalokohde, jossa on 21 asuntoa. Kohteen energialuokka on D (2018) ja E-luku 173. Maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitettu (50 %). Kohteen 5 simuloinnin tulokset ovat esitetty kuvassa 7 ja koko raportti liitteessä 1.5.

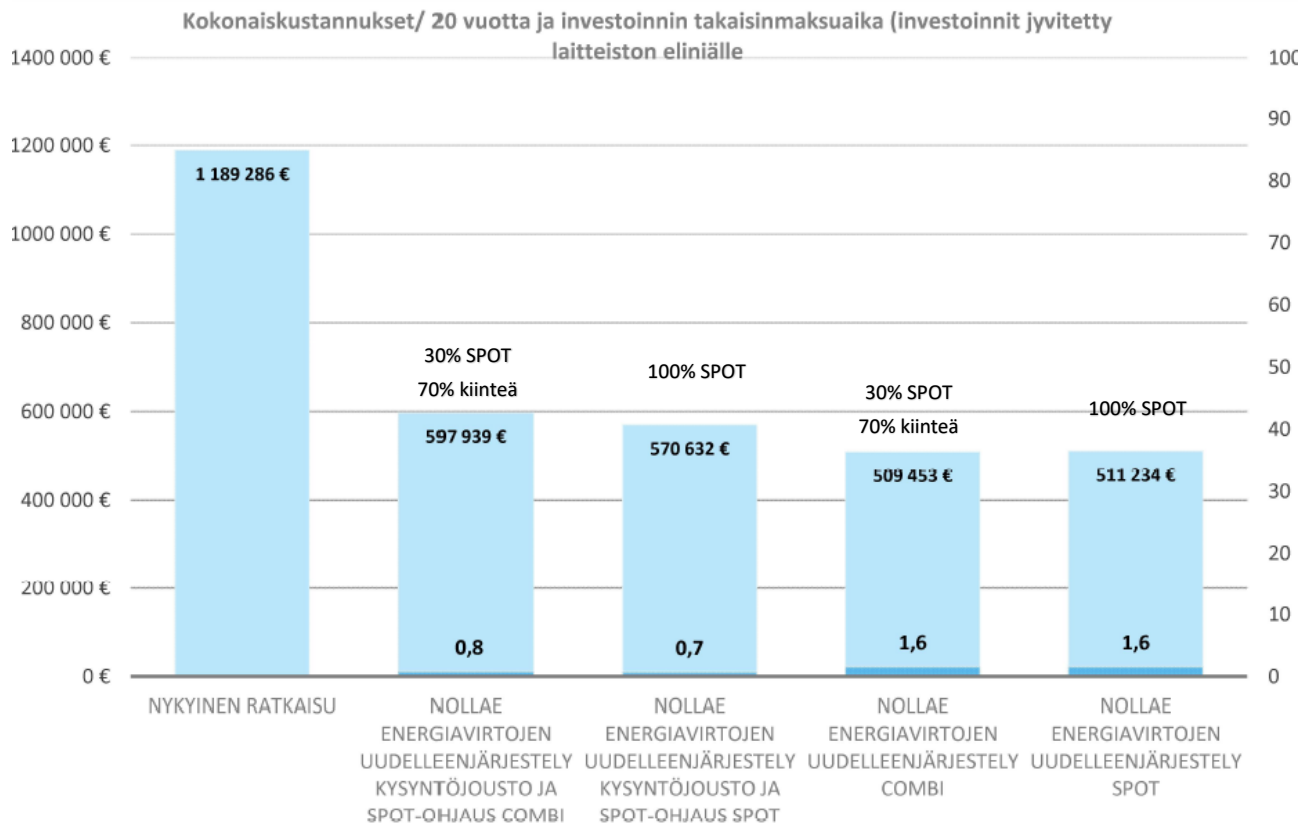


Kuva 7. Kohde 5, simuloinnin tulokset.

Tässäkin kohteessa on osatehomitoitettu maalämpöjärjestelmä. Lisäksi joustoon osallistuminen vaatisi investointia lämminvesivaraajaan. Spot-hintaohjaus ja FCR-N eivät kannata ainoina toimenpiteinä. Tässäkin kohteessa lämmitysjärjestelmän joustokapasiteettiä voidaan lisätä tekemällä energiatehokkuutta parantavat investoinnit, jotka on esitetty kohteen raportissa (liite 1.5). Tällöin osallistuminen spot- ja FCR-N-markkinaan on kannattavaa, investointien takaisinmaksuaika on lyhyt, alle kolme vuotta.

Kohde 6

Kohde 6 on Helsingissä sijaitseva, vuoden 2021 loppupuolella valmistunut kahden kerrostalon kohde, jossa on 64 asuntoa. Kohteen rakennejärjestelmä on massiivinen (sandwich-seinäelementit, ontelolaattaväli-pohjat), ja se kykenee varamaan lämpöä hyvin. Kohteen energialuokka on A (2018) ja E-luku 70. Kohteen maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitettu, mutta mitoitusaste on silti korkea 82 %. Kohteen 6 simuloinnin tulokset on esitetty kuvassa 8 ja koko raportti liitteessä 1.6.

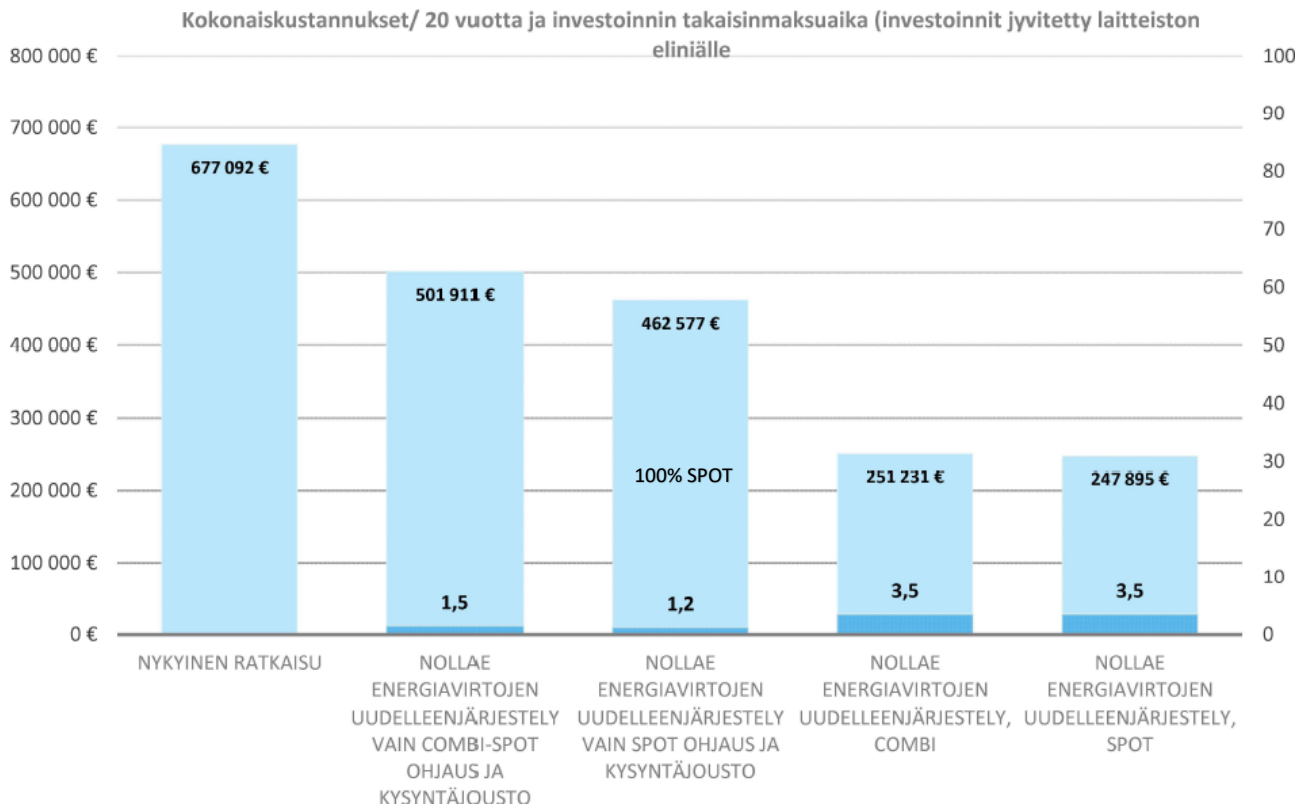


Kuva 8. Kohde 6, simuloinnin tulokset.

Kohteessa 6, joka on poikkeuksellisen energiatehokas ja suhteellisen uusi kohde, on maalämmön lisäksi aurinkolämpökeräimet. Vaikka maalämpö on osatehomitoidettu, mitoitustase on kuitenkin korkea. Tässä kohteessa spot-hinta-ohjaus sekä FCR-N markkinaan osallistuminen on kannattava. Kummassakin sähköhankintasopimusvaihtoehdossa (100 % spot-sopimus, 30 % sähköenergiasta spot-hintaan ja 70 % sähköenergiasta kiinteään 146 €/MWh hintaan) on alle vuoden takaisinmaksuaika.

Kohde 7

Kohde 7 on Turussa sijaitseva kerrostalo, joka valmistui vuonna 2022. Kohteen rakennejärjestelmä on massiivinen (sandwich- seinäelementit, ontelolaattavälijohdat), ja kykenee varamaan lämpöä hyvin. Kohteessa on 30 huoneistoa. Kohteen energialuokka on A (2018) ja E-luku 72. Kohteen maalämpöjärjestelmä on osatehomitoidettu 61 %:iin, mutta pumpun optimoinnilla mitoitusta on mahdollista nostaa 73 %:iin. Kohteen simulointi on tehty maalämmön optimoidulla mitoituksella. Simuloinnin raportti on esitetty liitteessä 1.7. Kuvassa 8 on esitetty kohteen 1 simuloinnin elinkaarikustannustulokset.

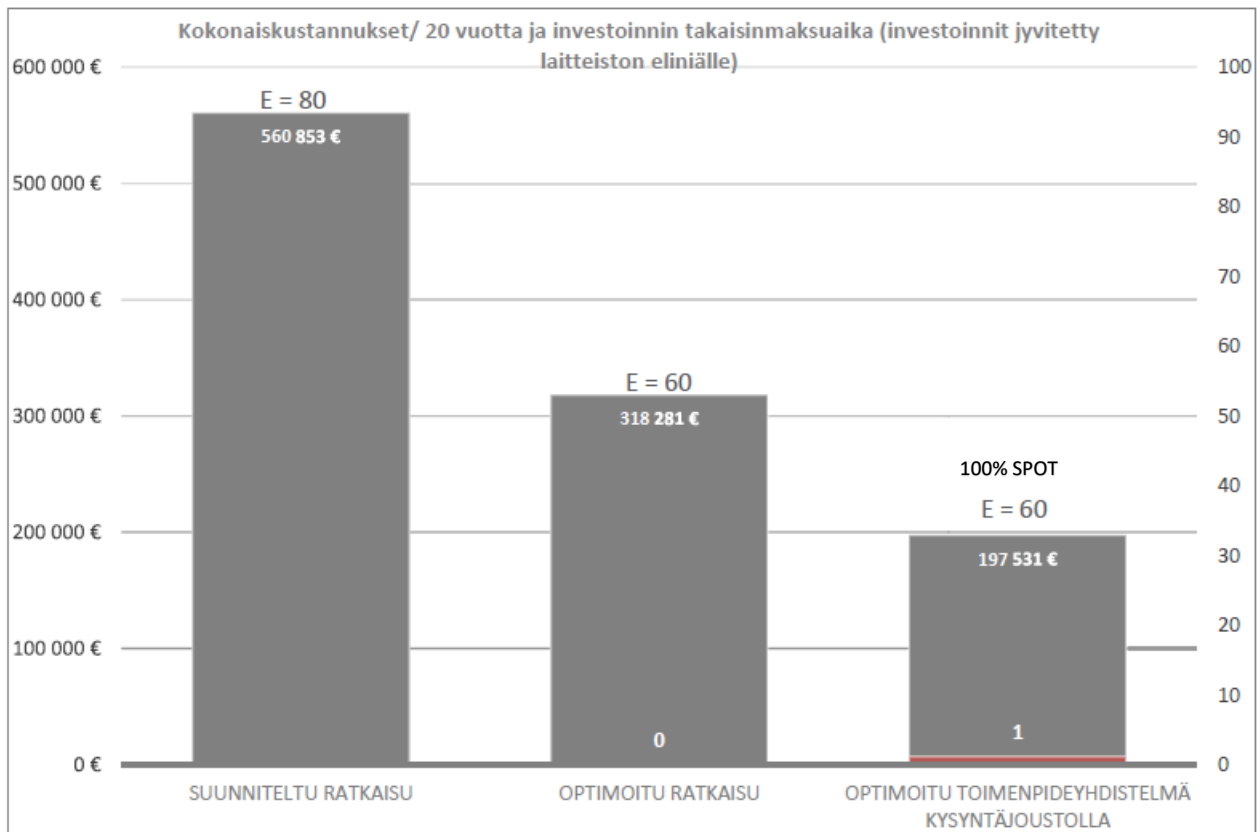


Kuva 8. Kohde 7, simuloinnin tulokset.

Kohde 7, on energiatehokas ja suhteellisen uusi kohde, jossa on osatehomitoitettu maalämpö ja aurinkolämpökeräimet. Tässä kohteessa spot-hinta-ohjaus sekä FCR-N markkinaa osallistuminen on kannattavaa. Kummassakin sähköhankintasopimusvaihtoehdossa (100 % spot-sopimus, 30 % sähköenergiasta spot-hintaan ja 70 % sähköenergiasta kiinteään 146 €/MWh hintaan) on alle kahden vuoden takaisinmaksuaika.

Kohde 8

Kohde 8 on Turun seudulla sijaitseva kahden kerrostalon kohde, joka oli hankkeen aikana rakentamisvaiheessa ja valmistui vuoden 2024 lopussa. Kohteessa on 45 huoneistoa. Kohteen energialuokka on A (2018) ja E-luku 71. Kohteen simulointiraportti on esitetty liitteessä 1.8. Kuvassa 9 on esitetty kohteen 8 simuloinnin elinkaarikustannustulokset. Tämän kohteen simulointi tehtiin siten, että ensin simuloitiin tilanne, jossa on esitetty kannattavat energiatehokkuustoimenpiteet ja toisessa simulaatiossa ratkaisu täydennettiin maalämpöjärjestelmän ja asuntojen kodinkoneiden (astianpesukoneet, pyykkienpesukoneet) spot-ohjauksella ja kysyntäjoustolla. Kohteen maalämpö mitoitettiin mahdollisimman optimaaliseksi ja simulaatio tehtiin 100 % spot-sähkösopimustapauksesta.



Kuva 9. Kohde 8, simuloinnin tulokset.

Kuvan 9 vasen pylväs kuvaa kohteen talotekniikan ja energian elinkaarikustannuksia 20 vuoden ajalta, jos kohteen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa ei tehdä muutoksia. Kuvan 9 keskimmäisen pylvään tulos kertoo tilanneesta, jossa kohteen suunnitteluratkaisut korvataan energiatehokkuutta parantavilla vaihtoehtoisilla suunnitteluratkaisuilla, jotka on kuvattu liitteen 1.8 sivuilla 7-9. Kuvan 9 oikeanpuoleisesta pylväästä nähdään, että mikäli energiatehokkuutta parantavien vaihtoehtoisien suunnitteluratkaisujen lisäksi kohde varustetaan spot-ohjausratkaisulla ja kysyntäjoustokyvykkyydellä, kohteen elinkaarikustannukset laskevat alle 200 000 euroon ja toimenpiteiden takia lisääntyneiden rakentamiskustannusten takaisinmaksuaika on yksi vuosi.

Kuvassa 9 simulointitilanteiden kuvaavien pylväiden yläpuolella on merkattu tilanteen E-luku. Suunnitellun ratkaisun E-luku on 80. Energiavirtojen uudelleenjärjestelyllä E-luku laskee 60 ja elinkaarikustannukset lähes puolittuvat. Laskelmassa on arvioitu, että uudelleenjärjestely ei rakentamisvaiheessa aiheuttaisi lisäkuluja, joten toimenpiteet tuottaisivat heti. Laskennan tuloksista myös nähdään, että spot- ja kysyntäjousto ei vaikuta E-lukuun.

Työpaketin yhteenveto

Lämpöpumppujen kysyntäjoustoinvestointi toimii kannattavammin, kun kysyntäjousto täydennetään lämpöpumpun spot-ohjauksella ja kiinteistönomistajalle lisäarvoa tuottavilla palveluilla, kuten esimerkiksi huoneistojen sisäilmaolosuhteiden teknisellä valvonnalla. Nykyhetken tiedon valossa spot-ohjaus on itsessään kaksi kertaa kysyntäjoustoa kannattavampi ratkaisu mutta tilanne voi muuttua energiamurroksen aikana. Myös kiinteistöomistajan sähkönsopimus (kiinteähintainen sopimus, spot-sopimus, kombinaatio) vaikuttaa kannattavuuteen.

Simulointien perusteella voidaan todeta, että uudemmissa ja energiatehokkaammissa kohteissa kysyntäjousto ja spot-ohjaus ovat taloudellisesti kannattavampi ratkaisu, kun energiatehokkuudeltaan huonoimmissa kohteissa, jotka ovat iältään useimmiten vanhempia kohteita. Energiatehokkuudeltaan huonoimmissa kohteissa on pienempi lämmitystehojoustokapasiteetti. Lisäksi osatehomitoitettujen lämpöpumppujärjestelmät ovat jouston kannalta huonompia, kun täystehomitoitettujen järjestelmät, koska osatehomitoitettussa lämpöpumpussa on pienempi joustokapasiteetti ja spot-ohjauskapasiteetti.

Myös energiatehokkuudeltaan huonommissa kohteissa ja osatehomitoitetuilla lämpöpumpuilla varustettujen kohteiden kysynnänjoustoa ja spot-ohjausta mahdollistavat investoinnit muuttuvat kannattavimmiksi, mikäli samassa yhteydessä investoidaan energiatehokkuuteen, koska energiatehokkuusinvestoinnit pienentävät lämmitystehontarvetta. Joustoa mahdollistavat ja energiatehokkuutta parantavat investoinnit voidaan toteuttaa osana laajempaa kohteen korjausta.

Maalämmöllä varustetut uudiskohteet soveltuvat parhaiten kysyntäjousto- ja spot-ohjaukseen. Uudis- ja korjausrakentamisessa on hyvää vähintäänkin varautua lämpöpumpun kysyntäjousto- ja spot-ohjaukseen ja jo kohteen suunnitteluvaiheessa selvittää markkinoilla olevat, jousto- ja spot-ohjauksia tuottavat toimijat.

Kevytrakenteiset kohteet eivät varastoi rakenteisiin lämpöä yhtä tehokkaasti kuten esimerkiksi sandwich-elementtinen kerrostalo. Kevytrakenteiset kohteet saattavat tarvita lämmitysvarusteininvestointeja, jotta spot- ja reserviohjaus olisi varteenotettava ratkaisu.

Jokainen kiinteistö on yksilönsä; ratkaisut, jotka toimivat taloudellisesti yhdessä kiinteistössä, eivät välttämättä toimi toisessa. Suosituksena on, että kysyntäjousto- ja spot-ohjauksen kyvykkyydet tarkastellaan aina kiinteistökohtaisesti, ja samassa yhteydessä tarkastellaan mahdollisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä. Lisäksi on hyvää ymmärtää, että kysyntäjousto ja spot-ohjaus eivät vaikuta kohteen E-lukuun tai energialuokkaan.

Tämän työpaketin mallinnusten tulosten pohjalta päätettiin neljässä kohteessa toteuttaa käytännön pilottiympäristö. Valitut kohteet ovat kohde 1, kohde 4, kohde 6 ja kohde 7.

4.3 WP3 – Pilotti

Tässä työpaketissa uudisrakentamista ja pilottia varten on TA-Asumisoikeus Oy:n toimesta tehty selvitystyötä sopivan tontin saamiseksi. Tonttiselvitystyössä on kartoitettu tontteja Tuusulassa, Järvenpäässä, Helsingissä, Espoossa, Vantaalla, Turussa, Tampereella, Kirkkonummella ja Hämeenlinnassa. Selvitystyössä on käyty vuoropuhelua kaupunkien kanssa.

Selvityksen pohjalta on löydetty sopiva tontti Tampereen Hiedanrannan alueella. Tontin luovutuksesta ja aluekehityksestä vastaa Tampereen kaupungin omistama yhtiö Hiedanrannan kehitys Oy. TA-Asumisoikeus Oy ilmoittautui tonttiluovutuskilpailuun ja jätti tonttitarjouksen syksyllä 2023. Tarjous sisälsi pilottikonseptin kuvauksen. Rakennusliikekumppaniksi valikoitui Skanska Oy, joka vastaisi varsinaisesta rakentamisesta.

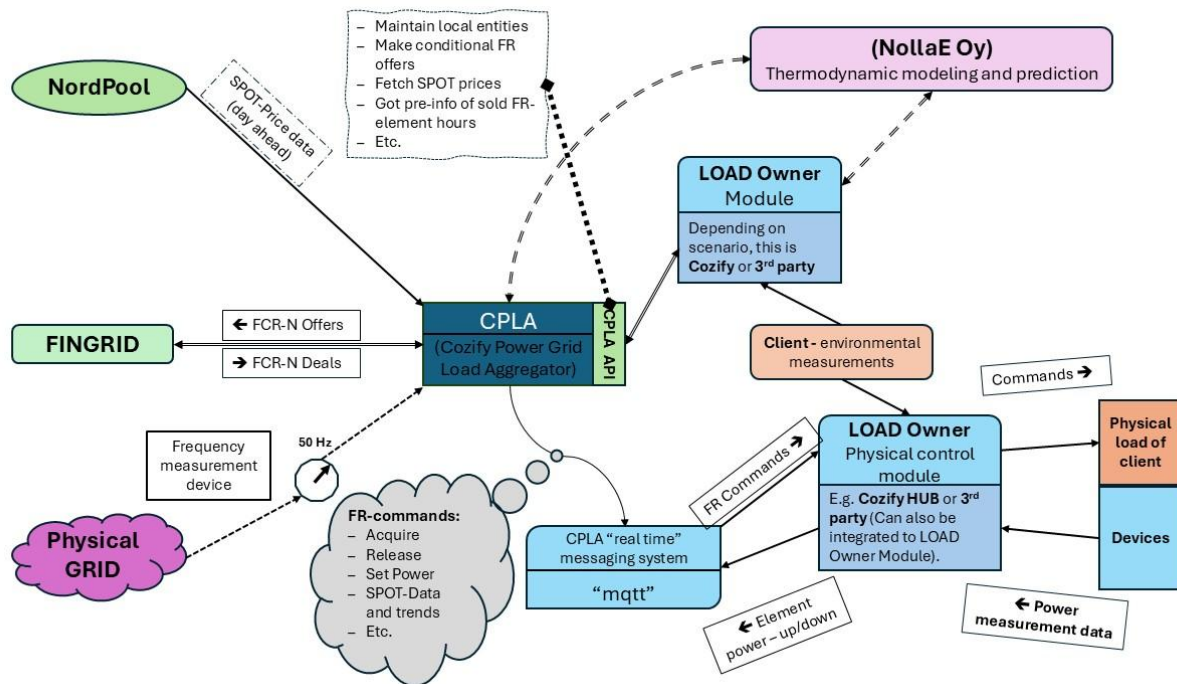
Lokakuussa 2023 TA-Asumisoikeus Oy ja Hiedanrannan kehitys Oy kävivät tonttineuvotteluja. Tontinluovutuskilpailun voittaja julistettiin joulukuussa 2023. TA-Asumisoikeus Oy ei saanut tonttia pilottia varten.

Tontin saatavuuteen ja uudisrakentamispilottiin liittyvä riski on osattu tunnistaa jo hankkeen alussa. Koska uudisrakentamiseen liittyvä pilotti ei toteutunut, hankkeessa fokuoitiin olemassa oleviin asuinrakennuksiin, sekä kerrostaloihin että rivitaloihin. Pilottiympäristöksi valittiin työpakettin WP2 kohteet 1, 4, 6 ja 7. Lisäksi pilottiympäristöksi valittiin WP4-paketin ulkopuolinen kohde 9, joka on kohteen 4 naapurikiinteistö ja on identtinen kohteen 4 kanssa. Kohteen 9 omistaa TA-Asumisoikeus Oy. Otanta edustaa sekä kevytrakenteisia rivitalokohteita että massiivisia kerrostalokohteita. Kohteiden 4, 6 ja 7 maalämpöjärjestelmän mitoitusaste on korkea ja simuloinnin tuloksista nähdään, että kohteiden osallistuminen spot- ja reservimarkkinaan on taloudellisesti kannattavaa. Vaikka kohteen 1 maalämpöjärjestelmä on osatehomitoitettu ja kohteen osallistuminen spot- ja reservimarkkinaan ilman energiatehokkuutta parantavia lisäinvestointeja osoittautui taloudellisesti kannattamattomaksi, kohde päätettiin kokeilumielessä ottaa pilottiin mukaan. Työpaketissa arvioitiin, että Suomessa valtaosa maalämpöjärjestelmistä ovat osatehomitoitettuja ja pientalot ovat suurimmaksi osaksi kevytrakenteisia.

Pilottien suunnittelu käynnistettiin syksyllä 2023. Pilottiympäristön järjestelmäkaavio ja toimintaselostus ovat esitetty liitteessä 2.

Pilottien asennukset toteutettiin joulukuussa 2023. Tammikuussa 2024 käynnistettiin pilottikohteiden reaaliaikaisen mittausdatan keruu ja tallennus Cozify Oy:n järjestelmiin. Kohteista mitattiin sisäilman olosuhdedataa (lämpötila, kosteus), lämmitysjärjestelmän käyntitiedot ja energiankäyttö. Mittausdataa käytettiin myöhemmin hyväksi LUT-yliopiston hiilijalan- ja hiilenkädenjäljen tieteellisessä tutkimuksessa. Kysyntäjoustoon osallistuvien kuormien tehon mittaaminen ja mittausdatan tallentaminen on ehdotonta, mikäli kuormat osallistuvat taajuusohjatun käyttö- ja häiriöreservi (FCR-N, FCR-D ylös ja FCR-D alas) markkinaan.

Tammikuussa 2024 Cozify Oy käynnisti aggregaattori-ohjelmiston kehityksen. Lisäksi helmikuussa 2024 Cozify Oy ja Coba International Oy sekä nollaE Oy käynnistivät API-rajapintojen kehitystyön. Rajapintojen kehitystyö koski talotekniikkaa, lämpöpumppuja, Cozify Oy:n laitteistoa ja ohjelmistoa sekä nollaE Oy:n ohjelmistoa. Rajapintojen tarkoituksena on yhdistää keskenään erilaiset talotekniset laitteet eli sähkökuormat ja ottaa tietoja kiinteistöjen tarjoamista kuormista. Lisäksi rajapintojen välityksellä aggregaattori voi lähettää ohjauskomentoja kiinteistöjen kuormille. Aggregaattorin ohjelmisto on geneerinen ja voi ohjata API-rajapinnan kautta lähes mitä vain sähköä kuluttavaa elementtiä. Kuvassa 10 on esitetty kehitetyn aggregaattorin havainnekuva rajapintoihin.



Kuva 10. Aggregaattorin (CPLA – Cozify Powe Grid Load Aggregator) havainnekuva.

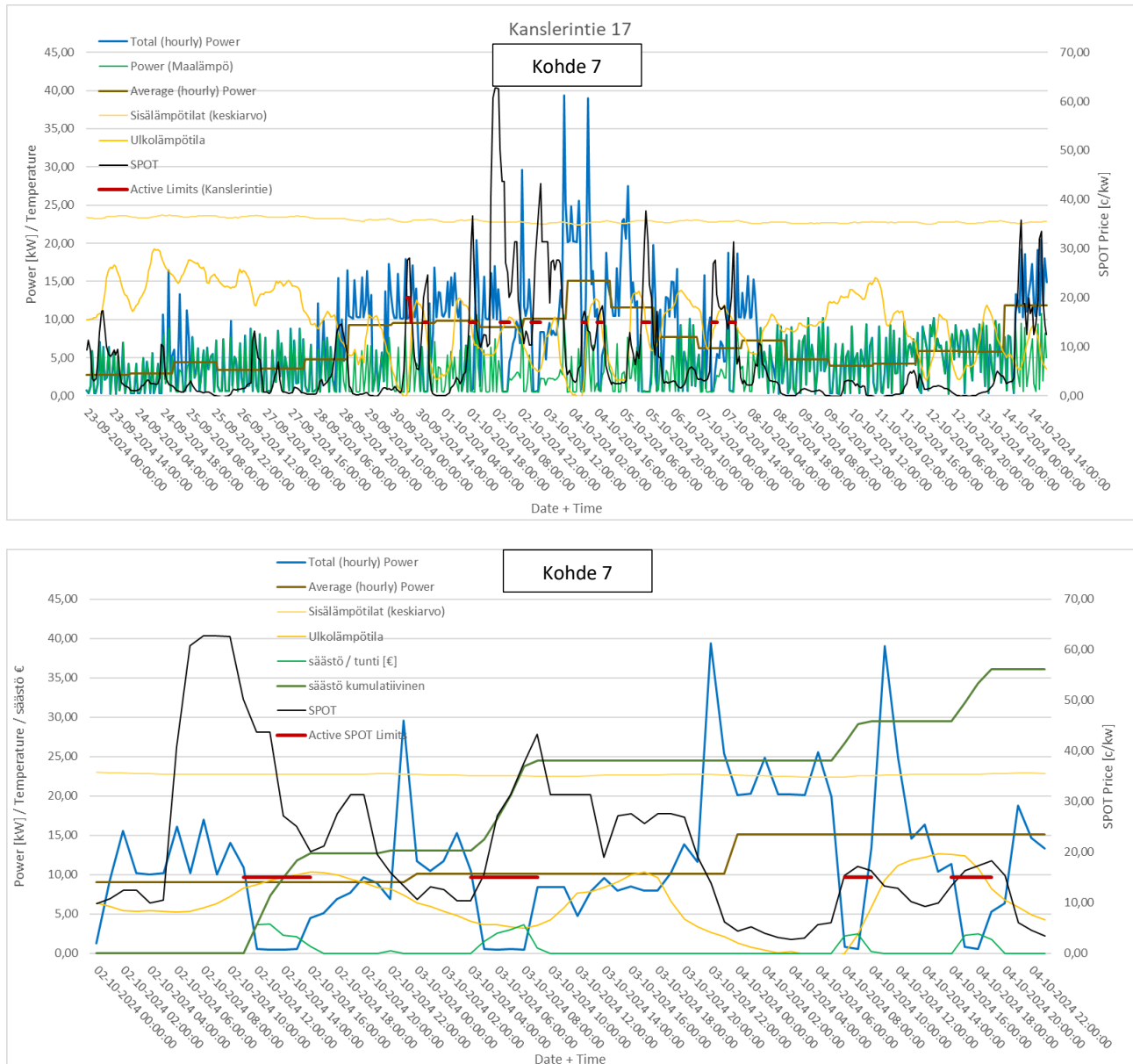
Keväällä 2024 varmistui, että pilottikohteiden yhteenlaskettu aggregointiin soveltuva sähkökuorma ei ollut teholtaan riittävän suuri Fingridin FCR-N markkinalle. Lisäksi Fingrid ei antanut lupaa pienemmän kuorman kaupallisia kokeiluja. Hankkeen puitteissa ei onnittu löytämään markkinoilla toimivaa sopivaa kaupallista operaattorikumppania. Hankkeessa päätettiin keskittyä teknisen aggregaattorin kehitykseen. Lisäksi Cozify Oy käynnisti kaupallista ulkopuolista aggregointia mahdollistavan ohjelmaosan kehityksen.

Syyskuussa 2024 aloitettiin aggregaattorin käytännön testit pilottikohteissa. Testauksessa on edetty vaiheittain, jotta kehitetyn aggregaattorin eri toiminnallisuudet voitaisiin systemaattisesti todentaa ja tutkia.

Ensimmäisessä testissä ohjausmekanismeja testattiin vain spot-hinta-ohjauksella ja pitkällä testijaksolla syys-lokakuussa 2024. Ensimmäisten testijaksojen tavoitteena oli tutkia aggregaattorin spot-ohjauksen toiminnallisuutta ja kerätä mittaustietoa järjestelmän toiminnasta sekä kohteiden termodynaamisesta käyttäytymisestä. Lisäksi testin tarkoituksena on ollut havaita ohjauksen vaikutukset sisäilman laatuun. Ensimmäiset testit tehtiin kiinteästi asetetuilla spot-hinnan rajalla, joka oli 15 c/kWh. Kiinteä spot-raja tarkoittaa sitä, että mikäli tietyn tunnin spot-hinta ylittää 15 c/kWh, aggregaattori ei anna lämmitysjärjestelmälle käyntilupaa, eli kohde alkaa jäähtyä. Koska kohteet olivat asutettuja, valitulla testimenetelmällä pyrittiin pitämään kohteiden sisäilmaolosuhteet hyvällä tasolla ja siksi päädyttiin kyseiseen spot-hinnan rajaan.

Ennen testin varsinaista aloitusta hankkeen ohjusryhmä tunnisti aikatauluriskin. Koska hankkeelle varattu aika oli loppumassa ja hankkeessa tavoiteltiin mahdollisimman pitkälle kehitettyä ratkaisua, ohjasryhmä päätti keskittää resurssit vain yhden kohteen käytännön pilotointiin.

Testeihin valittiin kohde 7, koska kyseessä oli rakenteiltaan massiivinen kerrostalo, jossa oli osatehomoitettua maalämpöä ja jonka energiatehokkuus sekä ratkaisut vastasivat tämän ajanhetken uudisrakentamisen normaalia. Kuvassa 11 on esitetty kohteen 7 ensimmäisen testijakson tulokset.



Kuva 11. Kohteen 4 ensimmäisen testijakson mittausdata jaksolta 23.9.2024–14.10.2024.

Kuvasta 11 voidaan havaita asetettu spot-hintaraja (Active SPOT Limits), joka on 15 c/kWh. Kuvan 11 Total Power -käyrä esittää lämmitysjärjestelmän sähkötehoikäyttäytymistä. Kuvaajasta voidaan havaita, että aggregaattori ohittaa lämmitysjärjestelmän paikallisen ohjauksen ja poistaa lämmitysjärjestelmän käyntiluvan, jolloin järjestelmän sähköteho on lähes nolla. Huoneistojen sisälämpötilojen keskiarvo on esitetty keltaisella käyrällä ja ulkolämpötila oranssilla käyrällä. Testijakso osoitti, että lämmitysjärjestelmän ohjaaminen spot-hinnalla ei heikennä haitallisesti kohteen asuntojen sisäilmaolosuhteita. Tosiasia kuitenkin on, että pilottikohde on rakenteiltaan massiivinen ja energiatehokas.

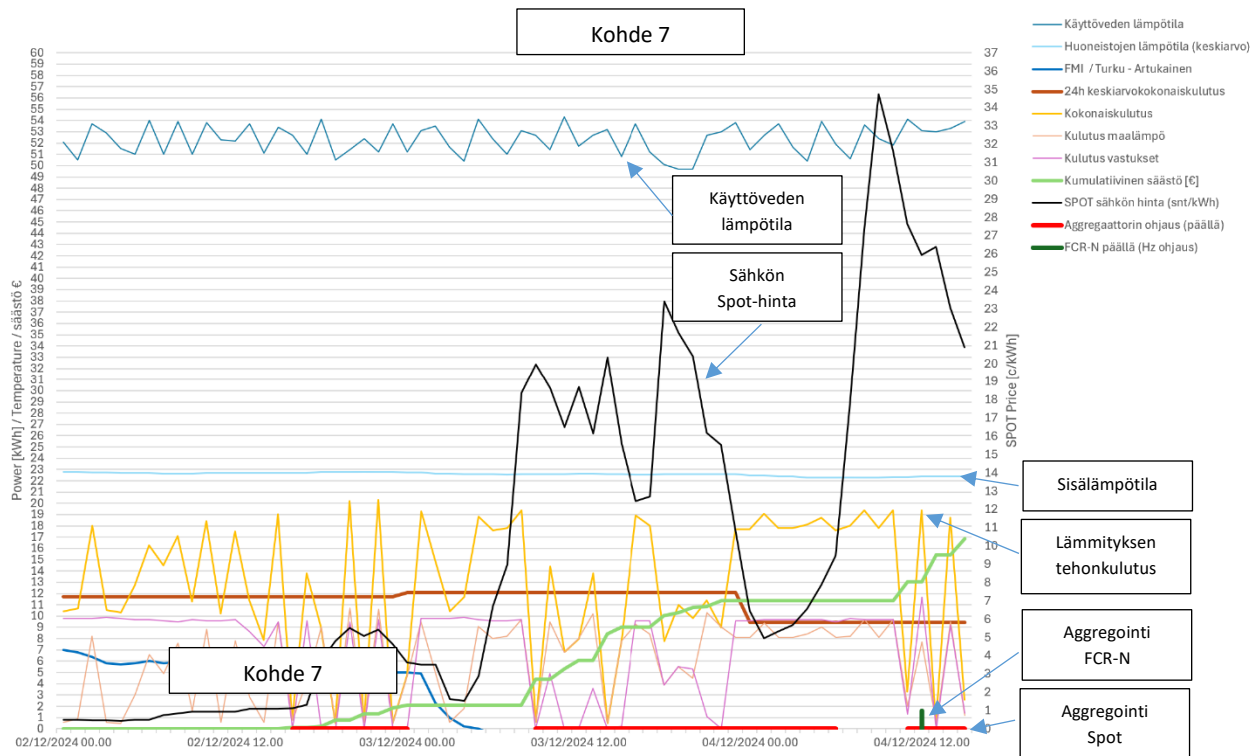
Toisessa testijaksossa koekäytettiin aggregaattorihjelmiston taajuusohjausominaisuutta. Testi tehtiin yhden tunnin aikana ja vain kohteessa 7 tiistaina 12.11.2024. Taajuusohjauksessa käytettiin todellista kantaverkon taajuutta. Kuvassa 12 on esitetty aggregaattorin (CPLA - Cozify Power Grid Load Aggregator) testijaksolla tuottamaa lokidataa. Kuvassa 12 lokidata on esitetty vain yhden minuutin jaksolta, koska koko lokidata sisältää tuhansia tietorivejä.

cpla-20241112.log		
1	cozy	2024-11-12 12:59:58 current response is not actionable
2	cozy	2024-11-12 12:59:59 current response is not actionable
3	cozy	2024-11-12 13:00:00: minute cron 28856940 (2024-11-12 13:00:00)
4	cozy	2024-11-12 13:00:00: quarter cron 1923796 (2024-11-12 13:00:00)
5	cozy	2024-11-12 13:00:00 Reserve market hour has changed: 480948 -> 480949
6	cozy	2024-11-12 13:00:00 We are outside of the required zone (f=50.0551)
7	cozy	2024-11-12 13:00:00 adjust (raw) 5c701e0d-6c9f-428a-830d-fd25c445998d 10000 -> 30000 curr 10000 -> 30000 tgt 31500
8	cozy	2024-11-12 13:00:00 Leaving steady state
9	cozy	2024-11-12 13:00:00 Adjusted
10	cozy	2024-11-12 13:00:00 current setup: 30000 (30000 ... 31500 ... 33000) reported: 0 REPORTED RESPONSE OUT OF BOUNDS!
11	cozy	SPOT PRICES REFRESHED
12	cozy	2024-11-12 13:00:00: hour cron 480949 (2024-11-12 13:00:00)
13	cozy	Spot automation hour has changed: 480948 -> 480949
14	cozy	2024-11-12 13:00:10 We are outside of the required zone (f=50.05591)
15	cozy	2024-11-12 13:00:10 Adjusted
16	cozy	2024-11-12 13:00:10 current setup: 30000 (30200 ... 31700 ... 33200) reported: 19500 REPORTED RESPONSE OUT OF BOUNDS!
17	cozy	2024-11-12 13:00:20 We are outside of the required zone (f=50.05643)
18	cozy	2024-11-12 13:00:20 Adjusted
19	cozy	2024-11-12 13:00:20 current setup: 30000 (30200 ... 31700 ... 33200) reported: 19500 REPORTED RESPONSE OUT OF BOUNDS!
20	cozy	2024-11-12 13:00:30 We are outside of the required zone (f=50.05602)
21	cozy	2024-11-12 13:00:30 Adjusted
22	cozy	2024-11-12 13:00:30 current setup: 30000 (30200 ... 31700 ... 33200) reported: 19500 REPORTED RESPONSE OUT OF BOUNDS!
23	cozy	2024-11-12 13:00:40 No adjustment needed (f=50.05401)
24	cozy	2024-11-12 13:00:40 current setup: 30000 (29600 ... 31100 ... 32600) reported: 19500 REPORTED RESPONSE OUT OF BOUNDS!
25	cozv	2024-11-12 13:00:50 No adjustment needed (f=50.05047)

Kuva 12. Aggregaattorin taajuustestin lokidata.

Aggregoinnin näkökulmasta on tärkeää seurata myös kohteen kuormien reagointia (eli mitata ohjattavien kuormien tehoa reaaliajassa), sillä niiden pitää tietyissä aikarajoissa seurata oikein vaadittua kulutustasoa. Tämä reagointidata on myös kriittistä, jos ja kun osallistutaan Fingridin taajuusohjattuun käyttöreservimarkkinaan (FCR-N), jossa tulee raportoida, miten aggregoidut kohteet vastasivat vaadittuun kuorman tasoon.

Kolmas testijakso suoritettiin 02.12.2024 – 04.12.2024 välisenä aikana kohteessa 7. Tässä testissä ajoimme aggregaattorin ohjaamana sekä kehittyneempää spot-rajoitusten käyttöä että itse taajuusohjattuun käyttöreservimarkkinaan (FCR-N) osallistumista yhden tunnin ajan käyttäen todellista ja mitattua kantaverkon taajuutta. Kohteessa 7 suoritettujen testien tulokset ovat esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kohteen 7 testituloksen mittausdata.

Kuvasta 13 voidaan nähdä Kohteen 7 testituloksen mittausdata, joka on melko analoginen kuvan 11 kanssa. Erona testissä kolme on kuitenkin se, että käytössä on aggregaattorin kehittyneempi versio spot-ohjauksesta, joka ei perustu vain kiinteästi asetettaviin spot-hintarajoihin, vaan muun muassa myös hinnan kehityksen ennusteisiin. Kuvasta 13 nähdään, että spot-aggregoinnin aikana (jaksot ovat merkattu kuvassa 13 tekstillä "Aggregointi Spot") lämmitysjärjestelmän teho (lämmitysjärjestelmän tehonkulutus merkattu kuvassa 13 tekstillä "Lämmitysjärjestelmän tehonkulutus") säätyy eri tavalla kuin tunteina, joiden aikana spot-aggregointi ei ole aktiivinen ja lämmitysjärjestelmä säätyy paikallisella automaatiolla.

FCR-N taajuusohjattu testijakso nähdään kuvassa 13 04.12.2024 klo 12.00–13.00 välisenä aikana (jakso on merkattu kuvassa 13 tekstillä "Aggregointi FCR-N"). FCR-N ohjauksen vaikutus voidaan havaita siten, että spot-ohjaus ei ole testitunnin aikaan aktiivinen, ja lämmitysjärjestelmän sähköteho nousee kyseisen tunnin aikana kantaverkon taajuuden ohjaamana lähemmäksi järjestelmän normaalia tehoa koska verkon taajuus on tuolloin noin 50 Hz. Vaikka FCR-N-testitunnista ei virallisesti jätetty tarjousta Fingridille, testi osoitti, että lämmitysjärjestelmän teho säätyi kanavaverkon taajuudella, ja kyseinen tunnin teho olisi voinut myydä reservimarkkinalle. Mikäli kyseistä tuntia ei olisi ohjattu taajuuden mukaan, lämmitysjärjestelmän sähköteho olisi ollut alhaisempi, koska kyseisen tunnin spot-hinta oli korkealla tasolla.

Myös kuvasta 13 voidaan nähdä, että ohjaukset eivät heikentäneet sisäilmaolosuhteiden laatua, ja sisäilman lämpötila pysyi tasaisena. Myös lämpimän käyttöveden lämpötila pysyi yli 50 °C.

Testijaksojen aikana havaittiin, että energiankäytön parantamiseksi kohteen 7 lämmitysjärjestelmä voidaan optimoida lisää. Kolmannen testijakson aikana spot-ohjaus tuotti noin 17 euron säästöt, mikäli kohteen sähkösopimuksena olisi 100 % spot-sopimus, eikä kohteessa tehtäisi lämmitysjärjestelmän optimointia. Taloudellista tulosta ei voida luotettavasti yleistää, koska tulos perustuu vain yhteen mittausjakson tulokseen. Hankkeen puitteissa ei ehditty tehdä pitempiä testejä, ja tämä jää hankkeeseen osallistuvien yritysten tehtäväksi tuotteiden kaupallistamisen yhteydessä.

Työpaketin yhteenveto

Tässä työpaketissa kehitettiin ja asennettiin fyysinen toimintaympäristö viiteen TA-Asumisoikeus Oy:n asuinkohteeseen. Työpaketissa kehitettiin ja testattiin aggregaattorin algoritmin ensimmäinen versio, joka ohjaa lämmitysjärjestelmää spot-hinnan ja taajuuden mukaisesti. Lisäksi työpaketissa kehitettiin API-rajapinnat nollaE Oy:n ohjelmiston eli pilotoitavien kohteiden tietomallin ja aggregaattorin sekä talotekniikan välille.

Työpaketissa nollaE Oy:n ohjelmistoa kehitettiin siten, että kohteen tietomallin laskenta kykenee tuottamaan rakennuksen seuraavan vuorokauden energiakustannusoptimoidun lämmitysjärjestelmän toimintaohjeen (katso liitteen 2 toimintaselostus). Kehitettyjen rajapintojen välityksellä nollaE:n tietomalli saa kohteiden mittausdatan (mm. sisäilman olosuhteet) lähes reaaliajassa ja hyödyntää mittausdatan seuraavan vuorokauden lämmitysjärjestelmän toimintaohjeen laskelmassa. Työpaketissa testattiin onnistuneesti toimintaohjeen välittämistä rajapinnan välityksellä aggregaattisille. Hankkeen aikana ei kuitenkaan ehditty testaamaan lämmitysjärjestelmän ohjausta nollaE:n tietomallin toimintaohjeen mukaisesti.

Aggregaattorin testauksessa havaittiin, että lämmitysjärjestelmän ohjaus ei olennaisesti vaikuta sisäilmalämpötiloihin. Tässä on kuitenkin huomioitava se, että testaus on tehty vain yhdessä energiatehokkaassa asuinkohteessa ja vuoden 2024 testijakson sää oli normaalia lämpimämpi. Nykyaikaisten energiatehokkaiden rakennusten sisäilmaolosuhteet eivät reagoi kovin herkästi spot- ja reservimarkkinaohjauksiin.

Aggregaattori kykenee ohjamaan suorasähköelementit helposti. Näin ollen sähkölämmitteiset talot ja sähkövastuksilla toimivat lämminvesivaraajat ovat potentiaalisia aggregoitavia sähkökuormia. Lämpöpumppujen osalta ohjaus on osoittautunut haastavammaksi, koska laitteiden rajapinnat ovat laitevalmistajakohtaisia ja mahdollisuudet ohjata lämmitystä ulkoisen ohjauksen perusteella vaihtelee. Rajapintojen tekeminen eri lämpöpumppuvalmistajien laitteisiin on vaatinut enemmän aikaa, kun alun perin on suunniteltu. Tämän takia pilotointivaiheen käynnistys viivästyi ja pilotoinnille muodostui aikataulupaine.

Aggregoinnin lisäksi kohteiden tekninen valvonta koettiin hyödylliseksi. Teknisen valvonnan avulla voidaan varmistaa lämmitysjärjestelmän optimaalinen toiminta, ja sisäilman pysyvyys terveellisellä ja viihtyisällä tasolla. Näin olleen voidaan varmistaa asukkaiden tyytyväisyys ja optimaalinen energiankäyttö.

Aggregaattorin ohjelmisto on saatu valmiiksi ja käytössä olevien API-rajapintojen avulla aggregaattori voi vastaanottaa sekä tietomallista saatavaa tietoa että tietoja suoraan kiinteistöistä. Aggregaattori kykenee ohjaamaan sekä spot-hintadataan että taajuusdataa perustuen joko suoraan kiinteistöjen kuormiin tai se voi lähettää ne nollaE:n tietomalliohjelmistolle, joka puolestaan käyttää aggregaattorin antamaa tietoa.

Tässä työpaketissa todettiin, että aggregaattori-liiketoiminnan käynnistäminen vaatii liiketoiminnan alkumetreillä reservioperaattorikumppanin, koska pilottikohteiden teho ei ollut reservimarkkinalle riittävän suuri. Operaattorin puuttuessa kokeilussa keskityttiin tekniseen testaukseen, sillä varsinaista kaupallista kokeilua ei voitu tehdä.

Pilottikohteista on kerätty kattavaa mittausdataa kohteista. Mittausdata on hyödynnetty LUT-tutkimuksessa, joka on kuvattu WP5-työpaketissa.

4.4 WP4 – Kulutusjouston arvovirrat ja kädenjälki

Työpaketissa tehtiin tieteellinen tutkimus, jonka toteutuksesta vastasi LUT-yliopisto. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää aggregoinnin arvovirrat ja arvioida hiilijalanjälki sekä -kädenjälki. Hiilenjalanjäljen ja kädenjäljen arvioinnissa on käytetty Fingridin avointa dataa sekä pilottikohteissa simuloitua ja mitattua dataa.

Tutkimusraportti on tutkimusmenetelmineen ja tuloksineen on esitetty liitteessä 3.

5. Hankkeen vaikuttavuus

Hankkeessa on kehitetty kaupallinen ohjelmisto, jolla voidaan tehdä rakennusten tietomalli ja simuloida taloteknisten kuormien spot- ja kysynnänjousto-ohjaus sekä arvioida ohjausten taloudelliset hyödyt. Kaupallisen ohjelmiston ja laskentametodin olemassaolo on edellytys sille, että spot- ja kysyntäjousto yleistyy rakennus- ja kiinteistöalalla.

Hankkeessa on kehitetty ja pilotoitu aggregointiympäristö. Hankkeessa kehitetty aggregaattori osoitti, että spot- ja kysyntäjousto on mahdollista toteuttaa kohtuullisilla kustannuksilla uudiskohteissa ja olemassa olevissa kiinteistöissä.

Hankkeen tuloksilla on merkittävä potentiaali mullistaa sähköenergiajärjestelmää vaikuttamalla siihen, että erityisesti lämpöpumpuilla varustetut kiinteistöt muuttuvat aktiivisiksi osasiksi energijärjestelmässä. Hankkeen tuloksia voidaan verrata markkinoilla jo vakiintuneeseen rakennusten kaukolämmön kysyntäjousto.

Hankkeessa on positiiviset ympäristövaikutukset. LUT-yliopiston tutkimuksessa on selvinnyt, että lämpöpumppujen spot-ohjauksella on mahdollista parantaa lämpöpumppujen energiankäyttöä ja sitä kautta vähentää päästöjä. Pilottikohteissa kulutuksen siirto halvimmille spot-tunneille tuottaa arvioltaan:

- 26–38 % energiansäästön;
- 20–44 % hiilikädenjälkipotentiaalin.

Tutkimuksessa havaittiin, että spot-ohjauksen ansiosta voidaan saavuttaa merkittävän energiansäästön mikä puolestaan vaikuttaa hiilikädenjälkeen. On arvioitu, että energiansäästö ja kädenjälki muodostuu siitä, että lämpöpumppujen optimointi yhdessä spot-ohjauksen kanssa pienentävät lämmitysjärjestelmän sähkövastusten käyttöä merkittävästi. Yksi selittävä tekijä on se, että halvimmat spot-tunnit toteutuvat tyypillisesti yön aikana. Tällöin lämpimän käyttöveden käyttö on minimaalinen. Kalliimpina spot-tunteina lämmintä vettä saatetaan käyttää hyvinkin paljon (erityisesti aamu- ja ilta-aika) mutta tuolloin kiinteistöä ei lämmitetä. On arvioitu, että tämä ilmiö vähentää optimoidun lämmitysjärjestelmän sähkövastusten käyttöä ja säästää energiaa.

Lämpöpumppujen FCR-N markkinaan osallistumisesta ei arvioitu muodostuvan suoria positiivisia ympäristövaikutuksia, mutta lämpöpumppujen kulutusjoustolla voidaan vähentää akkujen valmistuksesta johtuvia ympäristövaikutuksia 25–59 tCO₂e/MW akkukapasiteetti.

Pelkän lämmitysjärjestelmien energiaa kuluttavien komponenttien monitoroinnin avulla voidaan löytää lämmitysjärjestelmiä, jotka voidaan optimoida paremmin, ja joiden energiankulutusta ja päästöjä voidaan vähentää vain konfiguroinnilla.

6. Tulosten kestävyys, hyödyntäminen ja suositukset

Hankkeessa saadut tulokset ovat konkreettisia ja mahdollistavat uusia kannattavia käytännön investointeja rakennus- ja kiinteistöalalla. Tulosten avulla on havaittavissa uusia liiketoimintamahdollisuuksia, jotka tuottavat taloudellista hyötyä alan eri toimijoille kiinteistösektorin ympäristövaikutuksia pienentäen.

Hankkeen loppupuoolella nollaE Oy:n kehittämä ohjelmisto on ollut kaupallisessa käytössä ja ohjelmistoa hyödynnetään sekä rakentamishankkeissa että olemassa olevissa kiinteistöissä Suomessa ja muissa Euroopan maissa.

Käytännön aggregointiratkaisu on kehitetty ja pilotoitu. Vaikka käytännön pilotointi jäi kolmeen testijaksoon, hankkeen osapuolet eivät näe teknologiaan tai markkinaan tai lainsäädäntöön liittyviä haasteita tai riskejä.

Aggregoinnin yleistyminen vaatii kehitetyn teknisen tuotteen kaupallistamista. Lisäksi alalle tarvitaan kaupallisia operaattoreita, jotka kykenevät aggregoimaan kiinteistösalkkuja. On kuitenkin muistettava se, että tällä hetkellä suurin taloudellinen hyöty muodostuu spot-ohjauksella mutta markkina voi muuttua kysyntäjoustotarpeen kasvaessa. Lisäksi kysyntäjoustomarkkinoilla olevien toimijoiden ja kuormien määrän arvioidaan tulevaisuudessa kasvavan, mikä voi vähentää kysyntäjoustomarkkinoilta saatua taloudellista hyötyä. Aggregoinnin ja operoinnin investointi- ja palvelukustannusten tulisi olla sellaisia, että kiinteistönomistajalle laskennallisesti esitetty hyöty toteutuu käytännössä reservimarkkinan kehitystrendit huomioon ottaen.

Huomioon arvoista on se, että spot-ohjaus ja kysynnänjousto ei vaikuta E-lukuun, joten aggregoinnin yleistyminen on tällä hetkellä täysin markkinaehtoinen ilmiö.

Hankkeen alkuperäinen tavoite uudisrakentamisen muodossa ei toteutunut. Uudisrakennushanke olisi mahdollistanut laajemman kokeilun ja olisi pitänyt sisällään lämmitysjärjestelmän lisäksi myös muita kiinteistökuormia ja kodinkoneita. Konsortio kannustaa kaupungeja, kuntia ja muita tonttien luovuttajatahoja tukemaan entistä enemmän innovatiivisia kokeiluja.

7. Viestintä

Sidosryhmä- ja viestintätyötä on tehty pääsääntöisesti työpaketeissa tehtävien töiden yhteydessä ja hankkeen edistämiseksi.

Pilottia varten haettavan tontin yhteydessä hanketta ja konseptia on esitetty Vantaan kaupungille ja Tampereen kaupungin omistamalle Hiedanrannan kehitys Oy:lle. Lisäksi mahdollisesta yhteistyöstä on käyty keskustelua Tuusulan kunnan ja Espoon kaupungin kanssa.

Kaupallista kysyntäjousto-operaattoria etsiessä hanketta ja konseptia on esitetty Fortum Oyj:lle, Fingrid Oyj:lle ja Fusebox Energy Oyj:lle.

Hanketta on esitetty KiraHub tilaisuuksissa ja DataMust-hankkeen työryhmissä sekä Nordic Data Festival 2024 -tapahtumassa (VTT & Sitra).

Hanke edetessä hanketta edustettiin ständillä kahdessa ympäristöministeriön järjestämässä KIRAllmasto-tulostilaisuudessa. Hankkeen tulokset esitettiin ympäristöministeriön 13.12.2024 järjestämässä KIRAllmasto-tulostilaisuudessa.

Yllä olevien tapahtumien lisäksi nollaE Oy on Teams- ja läsnä kokouksissa esitellyt hanketta sadoille kiinteistönomistajille hankkeen aikana. Kiinteistöjen omistajien kiinteistöille on nollaE-ohjelmiston avulla laskettu spot-hintaohjauksella syntyvä säästö lämmityskustannuksissa. Näistä kiinteistönomistajista selvä enemmistö on kiinnostunut spot-hintaohjauksesta ja odottavat tällä hetkellä, että aggregaattoripalvelu tuodaan markkinoille. Alustavan suunnitelman mukaan se tulee tapahtumaan syksyllä 2025.

Viestintä on palvelut hankkeen tuloksia arvioitua paremmin ja tukenut hankkeen etenemistä. Osa hankkeen tuotoksista on jo kaupallisessa käytössä.

8. Talous

Hanke ei toteutunut alkuperäisen laajuuden mukaisena. TA-Asumisoikeus Oy:n budjetti, jotka olivat varattu uudisrakennuksen liittyvään lisäsuunnitteluresursointiin ei toteutunut. TA-Asumisoikeus Oy:n budjetti alittui.

Cozify Oy:n, nollaE Oy:n ja Coba International Oy:n budjetit ylittyivät. Ylitys johtuu pääosin siitä, että ohjelmisto- ja rajapintakehitys ovat vaatineet enemmän resursseja, kun on alun perin budjetoitu. Nämä ylitykset jäivät yhtiöiden omiksi kustannuksiksi.

Talousraportti toimitetaan ympäristöministeriölle erikseen.

9. Yhteenveto

Koska hankkeen pilottiympäristöksi ei onnistuttu löytämään sopivaa uudisrakennuskohdetta, joka mahdollistaisi kokonaisvaltaisen virtuaalivoimalan kokeilun, hankkeessa keskityttiin TA-Asumisoikeus Oy:n olemassa olevan kiinteistösalkun rivitalo- ja kerrostalokohteisiin. Hankkeen pilottiympäristöksi valittiin asuinkiinteistöjen sähkökuormista teholtaan ja energiankäytöltään merkittävin, joka on lämmitysjärjestelmä eli pilotin tapauksessa lämpöpumput. Lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmitysjärjestelmissä on viime vuosien aikana yleistynyt. Tämä trendi näkyy myös TA-Asumisoikeus Oy:n uudis- ja korjausrakentamisessa sekä kiinteistökehityksessä.

Hanke jaettiin työpaketteihin:

- WP1 – Markkina ja liiketoimintaympäristö
- WP2 – Teknistaloudellinen toimintaympäristö
- WP3 – Pilotti
- WP4 – Kulutusjouston arvovirrat ja kädenjälki

Työpaketissa WP1 päädyttiin, että day ahead eli sähkön spot-markkinapaikka on FCR-N-reservimarkkinan lisäksi soveltuva markkinapaikka. Uudet sähkösovimusmallit voivat muuttaa sähkönostajan toimintatapoja siten, että sähköenergian hankintakustannusten optimoimiseksi sähkönostajan on osattava ennustaa kulutuksensa nykyistä tarkemmin ja/tai osattava automaattisesti sopeuttaa omaa kulutustaan (sähkökuormien spot-ohjaus). Tässä työpaketissa on havaittu, että spot-sähkötuotteet ja spot-ohjaus voivat olla tulevaisuudessa hyvin kiinnostavia tuotteita kiinteistöalalla.

Työpaketissa WP2 nollaE Oy kehitti kaupallisen tietomalli- ja simulointiohjelmistoaan rajapintoihin siten, että ohjelmiston uuden ominaisuuden avulla voidaan mallintaa kiinteistöjen sähkökuormat ja simuloida kuormien FCR-N ja spot-ohjauksen taloudelliset aspektit, kiinteistön termodynaaminen käyttäytyminen ja vaikutukset sisäilman laatuun huomioon ottaen. Ohjelmistokehitysvaiheen jälkeen tietomallinnettiin ja simuloitiin 8 TA Asumisoikeus Oy:n asuinkohdetta.

Simulointien pohjalta ja nykyhetken tiedon valossa todettiin, että spot-ohjaus on itsessään kaksi kertaa kysyntäjoustoa kannattavampi ratkaisu mutta tilanne voi muuttua energiamurroksen aikana. Kannattavuuteen vaikuttaa kiinteistöomistaja sähkösovimus, rakennuksen energiatehokkuus ja ikä, lämpöpumpun mitoitusaste ja rakenteiden lämmönvarauskyky sekä sähkö- ja reservimarkkinan kehitys. Nyrkkisääntönä voidaan pitää sen, että energiatehokkuudeltaan paremmat ja rakenteiltaan massiiviset rakennukset ovat parempia spot-ohjauksen ja kysyntäjouston kannalta. Lisäksi täystehomitoitetut lämpöpumput soveltuvat paremmin spot-ohjauksen ja kysyntäjouston, kun osatehomitoitetut ratkaisut.

Työpaketissa WP3 Cozify Oy, nollaE Oy ja Coba International Oy kehitti aggregaattori-ohjelmiston ensimmäisen teknisen version ja tarvittavat API-rajapinnat. Työpaketissa nollaE Oy:n ohjelmistoa kehitettiin siten, että kohteen tietomallin laskenta kykenee tuottamaan rakennuksen seuraavan vuorokauden energiakustannusoptimoidun lämmitysjärjestelmän toimintaohjeen. Aggregointiympäristö asennettiin viiteen TA-Asumisoikeus Oy:n asuinkohteeseen, josta kaksi olivat kerrostaloja ja loput rivitaloja.

Ajanpuutteen takia aggregointia testattiin vain yhdessä kohteessa syksyn ja alkutalven 2024 aikana. Testit osoittivat, että aggregointi toimii ja kehitetty ympäristö kykenee toimimaan teknisenä virtuaalivoimalaitoksena. Aggregaattorin testauksessa havaittiin, että lämmitysjärjestelmän ohjaus ei olennaisesti vaikuta sisäilmalämpötiloihin tai lämpimän käyttöveden lämpötiloihin. Tässä on kuitenkin huomioitava se, että testaus on tehty vain yhdessä energiatehokkaassa asuinkohteessa ja vuoden 2024 testijakson sää oli normaalia lämpimämpi. Testijakson aikana muodostui myös taloudellista hyötyä (17 euroa kahden ja puolen vuorokauden aikana), joka perustuu siihen, että lämpöpumpun käyttöä halvensi spot-tunteina.

Hankkeen edetessä ilmeni, että FCR-N-reservimarkkinoille hyväksyttävä vähimmäiskuorma on 100 kW, joka on yksittäisen asuinkiinteistön kohdalla isohko sähkökuorma. Yksittäistä rakennusta ei ole teknisesti ja taloudellisesti mielekäästä asettaa FCR-N-reservimarkkinalle, vaan rakennuksen tulisi olla osa isompaa kiinteistösalkkua ja reservimarkkinoille asetettava teho tulisi aggregoida salkkukohtaisesti. Salkkuhallinta tulisi huomioida joustoalgoritmin kehityksessä, sillä algoritmin tulisi tuntea salkussa olevien kiinteistöjen joustoon soveltuva tehopotentiali, tuntea joustohetkellä salkussa käytettävissä oleva todellinen jaostopotentiali sekä ohjata kiinteistön sähkökuormat siten, että FCR-N-markkinoille tarjottu potentiali ja saavutettu jousto toteutuvat ilman sanktioita. WP3 työpaketissa todettiin, että aggregaattori-liiketoiminnan käynnistäminen vaatii liiketoiminnan alkumetreillä reservioperaattorikumppanin.

WP4 työpaketissa LUT-yliopisto määrittä aggregoinnin arvovirrat ja arvioi hiilijalanjälki sekä -kädenjäljet. LUT-yliopiston tutkimuksessa on selvinnyt, että lämpöpumppujen spot-ohjauksella on mahdollista parantaa lämpöpumppujen energiankäyttöä ja sitä kautta vähentää päästöjä. Pilottikohteissa kulutuksen siirto halvimmille spot-tunneille tuottaa arvioltaan:

- 26–38 % energiansäästö;
- 20–44 % hiilikädenjälkipotentiaalin.

On arvioitu, että energiansäästö ja kädenjälki muodostuu siitä, että lämpöpumppujen optimointi yhdessä spot-ohjauksen kanssa pienentävät lämmitysjärjestelmän sähkövastusten käyttöä merkittävästi. Yksi selittävä tekijä on se, että halvimmat spot-tunnit toteutuvat tyypillisesti yön aikana. Tällöin lämpimän käyttöveden käyttö on minimaalinen. Kalliimpina spot-tunteina lämmintä vettä saatetaan käyttää hyvinkin paljon (erityisesti aamu- ja ilt-aika) mutta tuolloin kiinteistöä ei lämmitetä.

Lämpöpumppujen FCR-N markkinaan osallistumisesta ei arvioitu muodostuvan suoria positiivisia ympäristövaikutuksia, mutta lämpöpumppujen kulutusjoustolla voidaan vähentää akkujen valmistuksesta johtuvia ympäristövaikutuksia 25–59 tCO₂e/MW akkukapasiteetti.

Huomion arvoista on se, että spot-ohjaus ja kysynnänjousto ei vaikuta E-lukuun, joten aggregoinnin yleistyminen on tällä hetkellä täysin markkinaehtoinen ilmiö.

Hankkeen alkuperäinen tavoite uudisrakentamisen muodossa ei toteutunut. Uudisrakennushanke olisi mahdollistanut laajemman kokeilun ja olisi pitänyt sisällään lämmitysjärjestelmän lisäksi myös muita kiinteistökuormia ja kodinkoneita. Konsortio kannustaa kuntia, kuntia ja muita tonttien luovuttajatahoja tukemaan entistä enemmän innovatiivisia kokeiluja.

Jokainen kiinteistö on yksilönsä; ratkaisut, jotka toimivat taloudellisesti yhdessä kiinteistössä, eivät välttämättä toimi toisessa. Suosituksena on, että kysyntäjousto- ja spot-ohjauksen kyvykkyydet tarkastellaan aina kiinteistökohtaisesti, ja samassa yhteydessä tarkastellaan mahdollisia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä.

Conclusions

As a suitable new construction project could not be found for the pilot environment, which would have enabled a comprehensive virtual power plant trial, the project focused on the existing portfolio of row and apartment buildings owned by TA-Asumisoikeus Oy. The most significant electrical load in terms of power and energy consumption in residential properties—namely the heating system—was selected as the target for the pilot. In this case, it meant the heat pumps. The use of heat pumps in residential heating systems has become increasingly common in recent years, which is also evident in TA-Asumisoikeus Oy's new construction, renovation, and property development activities.

The project was divided into the following work packages:

- WP1 – Market and business environment
- WP2 – Techno-economic operational environment
- WP3 – Pilot
- WP4 – Value streams and carbon handprint of demand-side flexibility

In WP1, it was concluded that in addition to the FCR-N reserve market, the day-ahead (spot) electricity market is also a suitable environment. New electricity contract models may shift buyer behavior, requiring consumers to forecast their electricity use more accurately and/or automatically adapt their consumption (spot-based control of electrical loads) to optimize energy procurement costs. Spot-based electricity products and control mechanisms were identified as potentially highly attractive in the real estate sector in the near future.

In WP2, nollaE Oy developed its commercial information modeling and simulation software, including interfaces, so that it could model property-level electrical loads and simulate the economic impact of FCR-N and spot-based control, considering both the building's thermodynamic behavior and indoor air quality. After the development phase, eight properties owned by TA-Asumisoikeus Oy were modeled and simulated.

Based on the simulations and current information, spot-based control appears to be about twice as profitable as demand response for reserve markets, although this may change as the energy transition evolves. Profitability depends on factors such as the electricity contract, building energy efficiency and age, heat pump sizing, thermal mass of the structures, and the development of electricity and reserve markets. Generally, buildings with higher energy efficiency and more massive structures are better suited for both spot-price-based control and demand response. Heat pumps sized to cover the full heating load of the building are more compatible with both spot control and demand response than undersized or partially dimensioned systems.

In WP3, Cozify Oy, nollaE Oy, and Cobra International Oy developed the first technical version of an aggregator software and the required APIs. The software by nollaE Oy was further developed to calculate next-day energy cost-optimized heating system schedules based on building information models. The aggregator platform was installed in five of TA-Asumisoikeus Oy's residential buildings (two apartment buildings and three row houses).

Due to time constraints, the system was only tested in one site during autumn and early winter 2024. The tests demonstrated that the aggregator works and the developed system is technically capable of functioning as a virtual power plant. The tests also showed that controlling the heating system did not significantly affect indoor temperatures or domestic hot water temperatures. However, this result is based on one energy-efficient site, and the 2024 test period had warmer-than-average weather. Despite the short test period, financial benefits were already realized (€17 over 2.5 days), based on operating the heat pump during cheaper spot price hours.

During the project, it became apparent that the minimum acceptable load for participation in the FCR-N market is 100 kW, which is relatively large for an individual residential building. From both technical and economic perspectives, it is not feasible to offer a single building individually to the FCR-N reserve market. Instead, each building should be integrated into a larger property portfolio, and the reserve capacity offered to the market should be aggregated at the portfolio level. Portfolio management must be considered in the development of the flexibility control algorithm, as the algorithm should be capable of identifying the flexibility potential of each property in the portfolio, determining the actual available flexibility at the time of response, and managing the building loads accordingly to ensure that the offered reserve capacity and the realized response are delivered reliably and without incurring penalties.

As concluded in WP3, launching an aggregator business requires, at least in the initial phase, a partnership with a certified reserve service provider.

In WP4, LUT University defined the aggregator's value streams and evaluated the carbon footprint and handprint. Their research confirmed that spot-based control of heat pumps can optimize their energy use and reduce emissions. In pilot sites, shifting consumption to cheaper spot hours resulted in:

- Estimated 26–38 % energy savings
- Estimated 20–44 % carbon handprint potential

These outcomes are primarily due to reduced reliance on electric resistive heating, achieved by optimizing heat pump operation with spot-based control. One key factor is that the cheapest spot prices typically occur at night, when hot water use is minimal. During high-price periods—often in the mornings and evenings—hot water use tends to be high, but the building heating demand is lower.

While no direct environmental benefit was observed from participating in the FCR-N market using heat pumps, demand response with heat pumps can reduce the environmental impacts associated with battery production by an estimated 25–59 tCO₂e per MW of avoided battery capacity.

It is worth noting that spot-based control and demand-side flexibility do not affect the building's official energy efficiency rating (E-number), so the adoption of aggregation remains a market-driven phenomenon.

The original objective of the project, which involved implementing the pilot in the context of a new residential construction project, was not realised. A new building project would have enabled a more comprehensive demonstration, including not only the heating system but also other building loads and household appliances. The project consortium encourages municipalities and other land allocation authorities to provide stronger support for innovative pilot projects in future developments.

Each property is unique; solutions that are economically viable in one building may not be applicable in another. It is therefore recommended that the feasibility and potential of demand response and spot market control be assessed on a case-by-case basis, alongside a review of possible energy efficiency improvement measures.

Liitteet

Liitteet 1.1–1.8. NollaE Oy:n kohdekohtaiset raportit

Liite 2. Pilottiympäristön järjestelmäkaavio ja toimintaselostus

Liite 3. LUT-yliopiston loppuraportti