


strateginen TUTKIMUS



Ratkaisuja
energiamurrokseen: Reilu,
joustava ja resilientti
energiajärjestelmä
(Flaire)

Tilannekuvaraportti 2024



SUOMEN AKATEMIA

1. Tiivistelmä

Suomen energiajärjestelmän kestävyysmurros vaatii siirtymistä fossiilivapaaseen sähköntuotantoon, mikä tarkoittaa lisääntyvää sääriippuvaista tuuli- ja aurinkovoiman tuotantoa. Kulutusjousto viittaa sähkön kysynnän hallintaratkaisuihin, joiden avulla voidaan vähentää kokonaiskulutusta ja siirtää sitä halvempiin ja vähemmän kuormitettuihin aikoihin sähköverkossa. Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat, että kulutusjousto parantaa edellytyksiä uusiutuvan energian tuotannon laajentamiselle, mutta sen käyttöönottoon liittyy teknisiä, taloudellisia ja sosiaalisia haasteita, jotka vaativat monitahoisia ratkaisuja.

Flaire-hankkeen tavoitteena on edistää sähkön kulutusjouston laajamittaista hyödyntämistä kotitalouksissa ja kunnissa monipuolisten työpakettien avulla, jotka kattavat tekniset, taloudelliset ja sosiaaliset näkökulmat sekä energiajärjestelmän mallinnuksen ja tulevaisuuspolkujen luomisen. Hanke lisää ymmärrystä kulutusjoustoratkaisujen potentiaalista hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä ja edistää oikeudenmukaista energiasiirtymää arvioimalla ratkaisujen toteutettavuutta ja hyväksyttävyyttä loppukäyttäjien näkökulmasta sekä kehittämällä työkaluja ja kokeilemalla erilaisia ratkaisuja eri sosiaalisten ryhmien parissa. Hankkeessa tutkitaan sekä kuluttajien omaehtoisia toimia että automatisoituja ratkaisuja kulutusjouston mahdollistamiseksi.

Flairen monitieteinen konsortio yhdistää energiateknologian, -talouden ja kulutustutkimuksen asiantuntemuksen, tarjoten monipuolisen lähestymistavan kestävyys siirtymän ymmärtämiseen ja edistämiseen, hyödyntäen kyselytutkimuksia, haastatteluja, kotitalouskokeiluita, mallinnusta ja kansalaiskeskustelumenetelmiä.

Kulutusjoustoratkaisujen omaksumista ja hyväksyttävyyttä kotitalouksissa ja kunnissa edistetään tutkimuksella, viestinnällä ja kansalaiskokouksilla, keskittyen teknis-taloudellisten ratkaisujen selittämiseen ja yhteistyöhön.

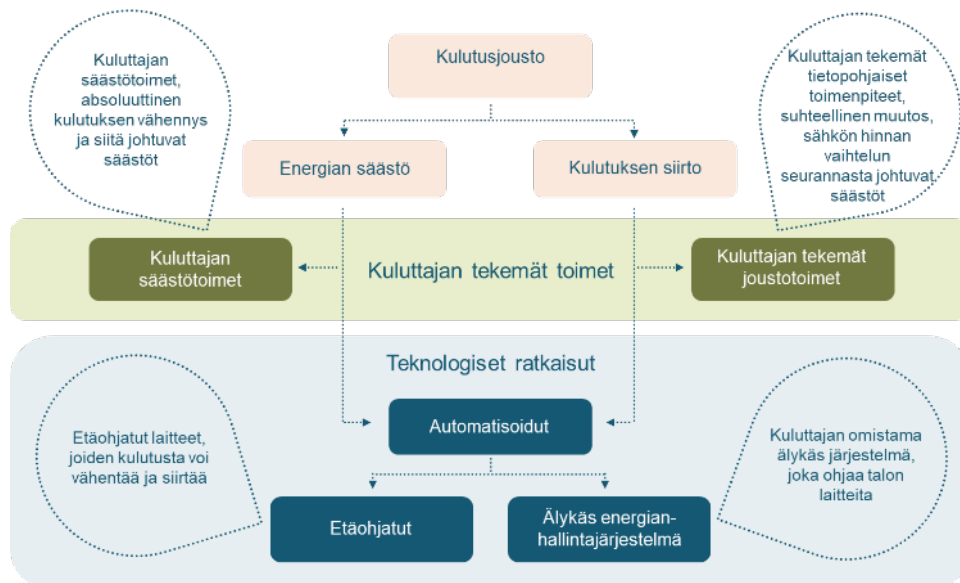
Lisäksi energiapolitiikan hyväksyttävyyttä sekä osallistumista edistetään kansalaiskokousten ja murrosareenan avulla yhteistyössä ministeriöiden ja muiden energiatoimijoiden kanssa sekä herätetään laajempaa keskustelua oikeudenmukaisesta energiamurroksesta.



2. Yhteiskunnallinen haaste

Kestävyyismurros edellyttää fossiilivapaaseen energiantuotantoon siirtymistä. Suomen energiajärjestelmä on sähköistymässä ja uusiutuvan energian osuuden ennustetaan kasvavan. Tämä vähentää hiilidioksidipäästöjä, mutta sääriippuvaisen tuuli- ja aurinkoenergian lisääntyminen aiheuttavat haasteita sähköjärjestelmän kysynnän ja tarjonnan tasapainolle. Samaan aikaan joustavan, polttoon perustuvan kapasiteetin määrä on laskussa. Tarjontapuolen lisääntynyt joustamattomuus edellyttää entistä enemmän kysyntäpuolen joustoa eli sähkövarastoja ja sähkönkulutuksen joustoa, joiden avulla voidaan ylläpitää tasapainoa ja leikata kulutushuippuja.

Hankkeessa keskitytään kysynnän hallinnan ratkaisuihin (demand-side management), joita voidaan tehdä asiakaspuolella sähkön kokonaiskulutuksen vähentämiseksi tai kulutuksen siirtämiseksi sähköverkon pienemmän kuormituksen ja edullisemman hinnan tunneille. Selkeyden ja yhtenäisyyden vuoksi hankkeen tuloksista viestittäessä puhutaan kulutusjoustosta. Hankkeessa keskitytään sekä sähkön loppukäyttäjien omiin ennakoiviin toimiin että automatisoituihin ratkaisuihin kulutusjouston toteuttamiseksi (Kuva 1).



Kuva 1. Projektissa tutkitut kulutusjoustoratkaisut sisältävät sekä energiansäästöä että kulutuksen siirtoa niin omatoimisesti kuin automatisoidusti etäohjattavien laitteiden tai älyjärjestelmän avulla.

Kulutusjoustojen tehokas hyödyntäminen voi myös lisätä kotitalouksien aktiivista energiakansalaisuutta ja resilienssiä eli muutosjoustavuutta. Siksi kulutusjoustoratkaisuilla ja kansalaisten valmiudella osallistua kulutusjoustoon on tärkeä rooli oikeudenmukaisen ja reilun energiasiirtymän edistämässä.

2.1. Mihin STN -ohjelman vaikuttavuustavoitteisiin sen ratkaiseminen vastaa ja miten?

Flaire-hankkeen tavoitteena on edistää sähkön kulutusjouston laajamittaista hyödyntämistä kotitalouksissa ja kunnissa. Flaire analysoi kulutusjoustoratkaisujen teknistaloudellisia edellytyksiä ja mahdollisuuksia (työpaketti 1) sekä ratkaisujen hyväksyttävyyttä ja toteuttamiskelpoisuutta kotitalouksien näkökulmasta (työpaketti 2). Kansalaiskokous selvittää kansalaisten näkökulmia ajankohtaisiin energiaviisasta asumista koskeviin ratkaisuihin ja politiikkatoimiin (työpaketti 3). Hankkeessa tehdään myös kohdennettuja kokeiluja tiedolliseen ohjaukseen ja kotiautomaatiojärjestelmiin perustuvien kulutusjoustoratkaisujen toiminnasta erilaisissa kotitalouksissa sekä laajoja kokeiluja energiayhtiöiden ja julkisen rakennuskannan kulutuksen ohjauksesta (työpaketti 4). Kulutusjoustoratkaisujen vaikutuksia laajempaan energiajärjestelmään tarkastellaan mallinnuksen avulla (työpaketti 5) ja murrosareenamenetelmän avulla luodaan tulevaisuuspolkuja kulutusjoustoratkaisujen vauhdittamiseksi ja valtavirtaistamiseksi (työpaketti 6). Työpaketti 7 vastaa ulkoisen viestinnän ja vuorovaikutuksen koordinoinnista ja työpaketti 8 hankehallinnosta ja hankkeen sisäisestä koordinaatiosta.

2.2. Miten hankkeessa tehtävä tutkimus pyrkii edistämään haasteen ratkaisemista?

Hankkeessa tavoitellaan seuraavia yhteiskunnallisia vaikutuksia:



Kulutusjoustoratkaisuja omaksutaan laajemmin kotitalouksissa ja kunnissa



Parannetaan tietoisuutta kulutusjouston mahdollisista hyödyistä ja haasteista osana muutosjoustavaa ja reilua energiasiirtymää



Luodaan kansalaisille mahdollisuuksia osallistua energiapolitiikan valmisteluun



Tunnistetaan muutospolkuja, jotka edistävät kulutusjoustoratkaisujen vauhdittamista

2.2.1. Kulutusjoustoratkaisujen omaksuminen

Flaire lisää ymmärrystä kulutusjoustoratkaisuista ja niiden potentiaalista sähköntuotannon hiilidioksidipäästöjen vähentämisessä sekä oikeudenmukaisen energiasiirtymän edistämisessä. Se arvioi näiden ratkaisujen toteutettavuutta ja oikeudenmukaisuutta loppukäyttäjien näkökulmasta mm. kyselyjen ja haastattelujen avulla ja etsii tapoja lisätä energiankäyttäjien

tietoisuutta ja luottamusta kulutusjoustoratkaisuihin. Huomiota kiinnitetään siihen, että ratkaisuja on tarjolla myös haavoittuville ja vähemmän energialukutaitoisille kotitalouksille.

Hanke laajentaa tietoisuutta ja ymmärrystä kulutusjoustopalveluiden ominaisuuksista, kuten toimivuudesta ja tasapuolisuudesta sekä ratkaisujen hyväksyttävyydestä kuluttajien arjessa. Lisäksi kehitetään institutionaalisten toimijoiden, kuten kuntien, energiantuottajien ja verkkoyhtiöiden työkaluja ja valmiuksia hyödyntää ja ylläpitää kulutusjoustopotentiaalia. Tärkeä osa hanketta ovat kokeilut, joiden avulla kerätään tietoa kuluttajien edellytyksistä osallistua kulutusjoustoön erilaisissa konteksteissa ja eri sosiaalisten ryhmien sisällä. Kokeilujen avulla pyritään myös parantamaan ymmärrystä siitä, miten erilaiset tekniset ja käyttäytymiseen perustuvat ratkaisut toimivat.

2.2.2. Kulutusjouston vaikutus energiamurroksen oikeudenmukaisuuteen

Flaire arvioi kulutusjouston yhteiskunnallista ja teknistaloudellista arvoa energijärjestelmässä ja mallintaa kulutusjoustoratkaisujen vaikutuksia energijärjestelmän muutosjoustavuuteen ja hiilineutraalisuuteen osana vihreää siirtymää. Hankkeessa lisätään ymmärrystä tekijöistä, jotka estävät tai mahdollistavat kulutusjoustoratkaisujen valtavirtaistumista, skaalausta ja laajamittaista hyödyntämistä kotitalouksissa ja kunnissa oikeudenmukaisella tavalla. Muutosjoustavuuden lisääntyminen eri käyttäjäryhmissä voi parantaa yhteiskunnallisen oikeudenmukaisuuden toteutumista energiamurroksessa.

2.2.3. Luodaan kansalaisille mahdollisuuksia osallistua energiapolitiikan valmisteluun

Kansalaiset otetaan mukaan tutkimustoimintaan puntaroivien kansalaiskokousten, etenkin kansallisella tasolla järjestettävän energia-aiheisen kansalliskokouksen, kautta. Satunnaisotannalla valituissa kansalaiskokouksissa voidaan käsitellä ilmasto- ja energiapolitiikkaan liittyviä kysymyksiä, jotka ovat usein tiedollisesti monimutkaisia ja herättävät kysymyksiä oikeudenmukaisuudesta.

Kansalaiskokoukset voivat tarjota syötettä politiikan valmisteluun, ja sen lisäksi ne voivat toimia luotettavina informaation lähteinä laajemmalle yleisölle. Näin ollen kansalaiskokouksilla on mahdollisuus saavuttaa myös laajempia yhteiskunnallisia vaikutuksia esimerkiksi lisäämällä kansalaisten energialukutaitoa. Valtakunnallisella tasolla järjestettävän kansalaiskokouksen lisäksi tarkoituksena on järjestää myös paikallistason kansalaisfoorumi, jossa osallistujat voivat kehittää ja ehdottaa energia-alan toimenpiteitä paikallistasolla ja joka toimii luotettavana energiatiedon lähteenä paikalliselle yleisölle.

2.2.4. Tulevaisuuspolut kulutusjoustoratkaisujen vauhdittamiseksi

Kulutusjouston esteiden purkamisen ja edellytysten luominen on monitahoinen kysymys, joka vaatii laaja-alaista asiantuntemusta teknisistä ratkaisuista, hallinnollisista ja lainsäädännöllisistä puitteista, kulutusjoustoisiin perustuvista

liiketoimintamalleista sekä kotitalouksien valmiuksista uusien teknologioiden ja toimintamallien omaksumiseen.

Hanke järjestää murrosareenaprosessin, joka tuo yhteen keskeisiä energia-alan toimijoita ja edelläkävijäryityksiä sekä kotitalouksien ja kuntien edustajia etsimään keinoja siihen, miten voidaan edistää kulutusjouston laajamittaista hyödyntämistä osana fossiilivapaata energijärjestelmää.

Murrosareena on menetelmä jäsennellyn ja ohjatun keskustelun käymiseksi ja dokumentoimiseksi. Sen pääelementteihin kuuluu tiiviin ryhmän pitkäjänteinen työ tarkasteltavaan ilmiöön liittyvien haasteiden ja mahdollisuuksien kartoittamiseksi, yhteisen näkemyksen ja vaihtoehtoisten polkujen laatimiseksi sekä mahdollisesti myös uusien kokeilujen jalkauttamiseksi.

3. Tutkimuksen nykytila (state of the art)

Viimeaikaiset tutkimukset osoittavat, että kulutusjousto vähentää energian kulutusta ja parantaa edellytyksiä sääriippuvaisen uusiutuvan energian tuotannon laajentamiselle [1]. Kulutusjousto alentaa energijärjestelmän kustannuksia säättämällä kulutusta verkon olosuhteiden muutoksiin, esimerkiksi korkean kysynnän tai hintapiikkien aikana. Kulutusjouston käyttöönottoa helpottaa kodin älykäs energianhallintajärjestelmä, joka kommunikoi energiaa kuluttavien laitteiden, kuten lämmitys-, valaistus- tai ilmanvaihtolaitteiden, kanssa ja säättää niiden kulutusta esimerkiksi hintasignaaleilla huomioiden [2]. Tekoäly voisi mahdollisesti parantaa kulutusjouston tehokkuutta ja vaikuttavuutta pitkällä aikavälillä [3]. Kansainvälinen energiavirasto IEA arvioi, että noin 10 % maailmanlaajuisesta sähkönkulutuksesta voisi joustaa, ja tällä on potentiaalia kaksinkertaistua vuoteen 2040 mennessä [3].

Energianhallintajärjestelmällä voi vähentää kotitalouden energian kulutusta jopa 30 % [4]. Myös virtuaalivoimaloiden (Virtual Power Plant, eli VPP) käytössä on suuri potentiaali, koska ne luovat tasaustehoreservin, joka voidaan myydä tehotasapainon ylläpidosta vastaavalle siirtoverkonhaltijalle. VPP hyödyttää siirtoverkonhaltijoita ja edesauttaa uusiutuvan energian lisäämistä ja päästöjen vähenemistä [5].

Yhteiskuntatieteellinen tutkimus kuitenkin osoittaa, että automaattioratkaisut voivat myös siirtää vastuuta ja toimijuutta pois kuluttajilta, mikä voi lisätä tuhlailevaa energiankäyttöä [6]. Kalliisiin materiaalsiin ratkaisuihin perustuva siirtymä voi myös lisätä energijärjestelmän epäoikeudenmukaisuutta, koska kaikilla käyttäjillä ei ole mahdollisuutta osallistua ratkaisuiden käyttöönottoon [7].

Kulutusjoustoratkaisuilla on suuri potentiaali lisätä kotitalouksien sopeutumiskykyä epävakaisiin energiamarkkinoihin [8] ja edistää oikeudenmukaista energiamurrosta, jos ne huomioivat reilulla tavalla erilaisten kotitalouksien tarpeet ja paikalliset olosuhteet [7]. Korkeat energianhinnat vaikuttavat erityisesti jo muutenkin heikossa asemassa oleviin kotitalouksiin, jotka käyttävät suhteellisesti suuremman osuuden tuloistaan energiaan, tai jotka joutuvat luopumaan muusta

kulutuksesta voidakseen maksaa energiakulunsa [9]. Näillä kotitalouksilla on myös vähemmän resursseja investoida teknologiaan, kuten aurinkopaneeleihin tai rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen.

Haavoittuvuutta voivat tuottaa myös paikalliset olosuhteet, jolloin esimerkiksi kotiin ei kannata investoida sen huonon jälleenmyyntiarvon vuoksi [7]. Energiaköyhätkin kotitaloudet hyötyvät välillisesti energiahuippujen kulutusta vähentävistä pyrkimyksistä, jotka vakauttavat energian hintoja ja edistävät energiajärjestelmän kestävyttä.

Älykkäiden laitteiden viimeaikaiset edistysaskeleet ovat tuoneet kulutusjoustoratkaisut saataville suurelle osalle kuluttajista [8, 10]. Suomi on markkinapohjaisen kulutusjoustopäätöksen edelläkävijä, ja kantaverkkoyhtiö Fingrid on myötävaikuttanut kehitykseen helpottamalla pienempien toimijoiden pääsyä markkinoihin kulutusjoustopäätöksen koostavien aggregaattorien kautta [10]. Suurin haaste kulutusjoustopäätöksen käyttöönotolle on kotitalouksien kiinnostus ratkaisuja kohtaan. Oikeudenmukaisuuden kannalta on olennaista, että ne kotitaloudet, joilla ei ole mahdollisuutta osallistua kulutusjoustopäätöseen, eivät joudu kärsijöiksi järjestelmän suosiossa joustopäätöseen osallistuvia. Tulee vahvistaa kotitalouksien muutosjoustopäätösten energiamarkkinoilla ja edesauttaa kulutusjoustoratkaisujen saamista haavoittuvassa asemassa olevien kotitalouksien saataville. Tietoisuus kulutusjoustopäätöksestä on toistaiseksi ollut suhteellisen vähäistä [11], mihin Flaire-hanke pyrkii vaikuttamaan.

4. Monitieteinen yhteistyö

Flairen monitieteinen konsortio tuo yhteen energiateknologian ja -talouden sekä kulutustutkimuksen, energiajärjestelmämallinnuksen ja politiikantutkimuksen asiantuntemusta. Näitä eri tieteenaloja tarvitaan, jotta voidaan ymmärtää ja edistää kestävyyssiirtymää, joka edellyttää muutoksia eri tasoilla: teknologian, taloudellisten kannustimien, kulutuskäyttäytymisen ja arjen käytäntöjen sekä yritysten liiketoiminnan ja yhteiskunnallisen päätöksenteon tasoilla. Menetelmällisesti Flaire hyödyntää laajoja kyselytutkimuksia, haastatteluita, kotitalouskokeiluita, mallinnusta, skenaariotyöskentelyä ja puntaroivan kansalaiskeskustelun menetelmiä.

Flairen murrosareenaprosessi ja sitä taustoittavat keskeisten energia-alan toimijoiden haastattelut toteutetaan kiinteässä yhteistyössä LUT-yliopiston Phoenix-hankkeen tutkijoiden kanssa. Myös kotitalouskyselyn osalta pyritään hyödyntämään synergiaetuja JUST ENERGY -ohjelman eri hankkeiden välillä. Lisäksi tehdään yhteistyötä energiajärjestelmämallinnuksen ja mahdollisesti myös kotitalouskokeiluiden osalta. JUST TRANSITION-ohjelman hankkeiden kanssa syvennetään ymmärrystä keskeisistä peruskäsitteistä kuten oikeudenmukainen kestävyysmurros ja muutosjoustavuus, ja JUST ENERGY -ohjelman hankkeiden kanssa sovelletaan näitä yhdessä energiamurroksen tematiikkaan.

5. Vuorovaikutus ja vaikuttavuuden edistäminen

5.1. Hankkeen vuorovaikutuksen tavoitteet

Hankkeen vuorovaikutuksen tavoitteet asettuvat neljään eri kategoriaan:

Tavoite 1: Kasvattaa erilaisten kotitalouksien tietoisuutta ja ymmärrystä kulutusjoustoratkaisuista ja lisätä myös heikommassa asemassa olevien kotitalouksien energialukutaitoa.

Tavoite 2: Keskustella työkaluista ja keinoista, joiden avulla kunnat ja muut julkishallinnon organisaatiot voivat hyödyntää, kehittää ja ylläpitää kulutusjoustoratkaisuja.

Tavoite 3: Tarjota päätöksentekoon konkreettisia suosituksia, joiden avulla kulutusjoustoratkaisut saadaan nopeasti ja laajasti osaksi suomalaista energijärjestelmää.

Tavoite 4: Herättää keskustelua reilusta ja oikeudenmukaisesta energiasiirtymästä laajemman yhteiskunnan näkökulmasta.

5.2. Yhteiskunnallisten vaikutusten saavuttaminen sidosryhmäyhteistyön ja vuorovaikutuksen kautta

Kulutusjoustoratkaisujen omaksumista kotitalouksissa ja kunnissa edistetään niin tutkimuksen keinoin (haastattelut, kyselyt, kokeilut, kansalaiskokoukset ja murrosareena) kuin yleisemmän viestinnän ja vuorovaikutuksen kautta keskittyen teknistaloudellisten ratkaisujen tunnettavuuden lisäämiseen ymmärrettävästi. Kuntien ja kiinteistöjen ratkaisujen edistämisen osalta vaikuttavuutta lisää myös yhteistyö muun muassa Senaatti-kiinteistöjen, energiayhtiöiden sekä lähes sata kuntaa kattavan kohti hiilineutraaliutta tähtäävän Hinku-verkoston kanssa. Kansalaisviestintää toteutetaan tutkimustyön ohella pääosin kansalaisia edustavien ja näitä parhaimmin tuntevien tahojen ja kanavien kautta, kuten tekemällä yhteistyötä Motivan kulutusjousto.fi-sivuston ja energianeuvojien kanssa, sekä esimerkiksi Marttojen ja Omakotiliiton kautta. Myös muita tahoja ja väyliä tunnistetaan ja hyödynnetään ketterästi hankkeen aikana, esimerkiksi some-vaikuttajayhteistyössä.

Energiapolitiikan hyväksyttävyyttä ja kansalaisten osallistumista siihen edistetään erityisesti kansalaiskokousten keinoin yhteistyössä ympäristö- ja työ- ja elinkeinoministeriöiden sekä Sitran ja Motivan kanssa. Keskeiset energia-alan toimijat, kuten Energiavirasto, Energiateollisuus ja Fingrid, osallistuvat mm. murrosareenatyöskentelyn kautta energijärjestelmän tulevaisuuspolkujen resilienssin edistämiseen.

Laajempaa yhteiskunnallista keskustelua oikeudenmukaisesta energiasiirtymästä herätellään yhteistyössä sekä hankkeen laajan vuorovaikutusverkoston että muiden hankkeiden kanssa.

5.3. Yhteisiä sidosryhmiä ja verkostoja STN-ohjelman muiden hankkeiden kanssa

Flaire-hankkeen sidosryhmäyhteistyö keskittyy ratkaisujen edistämiseen kansalaisten ja kuntien keskuudessa ja toisaalta politiikkavaikuttavuuteen tärkeimpien ministeriöiden ja energia-alan avaintahojen kesken. Sidosryhmäyhteistyössä tehdään vaikuttavuuden lisäämiseksi tiivistä yhteistyötä koko JUST ENERGY -ohjelman kanssa. Keskeiset ministeriöt (työ- ja elinkeinoministeriö, ympäristöministeriö) ovat yhteisiä sidosryhmiä ja vuorovaikutuspartnereita useiden JUST ENERGY -ohjelman hankkeiden kesken. Näiden kanssa pyritäänkin tekemään yhteistyötä ensisijaisesti koordinoitusti ohjelmatasolla. Usean hankkeen sidos- ja kohderyhmistä löytyy sekä kuntia että erilaisia kansalaisia edustavia tahoja. Sen sijaan Flaire-hankkeessa kohteena ovat kenties muita ohjelman hankkeita läheisemmin kotitaloudet.

Flaire-hankkeen tutkimus liittyy rakennusten hyödyntämiseen kulutusjoustossa, jolla on kytköksiä myös uusiutuviin energiamuotoihin, kuten aurinkopaneeleihin liittyviin kysymyksiin. Näissä yhteistyötä voidaan tehdä RealSolar-hankkeen ja sen verkostojen kanssa. Siinä missä Flairen tutkimuskysymykset sivuavat rakennetun ympäristön maankäyttöä ja erityisesti kuntien kaavoitusta, voidaan tehdä yhteistyötä esimerkiksi Phoenix-, 2IMatch- ja RealSolar-hankkeiden kanssa.

Oikeudenmukaisen siirtymän tutkimuksessa ja siirtymäpolkujen rakentamisessa voidaan tehdä yhteistyötä esimerkiksi JustH2Transit -hankkeen ja sen verkostojen kanssa. Hankkeiden johtajat ja vuorovaikutusvastaavat tapaavat säännöllisesti ja kehittävät konkreettisia yhteistyön mahdollisuuksia.

Lähteet

- [1] Dranka G. et al. 2022. Co-benefits between energy efficiency and demand-response on renewable-based energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Review* 169:112936.
- [2] Cui T. et al. 2017. Connecting the last mile: Demand response in smart buildings. *Energy Procedia* 111:720-729. [3] IEA 2017. *Digitalization & Energy*. [4] Tuomela S. et al. 2021. Impacts of home energy management systems on electricity consumption. *Applied Energy* 299, 117310. [5] Kong et al. 2023 Real-time pricing method for VPP demand response based on PER-DDPG algorithm. *Energy* 271, 127036. [6] Herrero, S. T. et al. 2018. Smart home technologies in everyday life: do they address key energy challenges in households? *Current Opinion in Environmental Sustainability* 31, 65-70. [7] Heiskanen, E. et al. (2021). Energiamurroksen jännitteet kansalaisten arjessa. *Alue ja Ympäristö* 50 (1) 124–138.
- [8] Annala S. et al. 2022. Impact of home market on business development and internationalization of demand response firms. *Energy* 242. [9] Middlemiss, L. (2022). Who is vulnerable to energy poverty in the Global North, and what is their experience?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 11(6), e455. [10] Gils H. 2014. Assessment of the theoretical demand response potential in Europe. *Energy* 67: 1-18.
- [11] Ruggiero S. et al. 2021. Business model innovation in demand response firms: Beyond the niche-regime dichotomy. *Env Innovation and Societal Transitions* 39:1-17.