

Opinnäytetyö (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Emilia Kankare

# ENERGIAPOSITIIVISET ALUEET

– kirjallisuuskatsaus energiapositiivisten alueiden  
suunnittelusta ja niiden merkityksestä  
energiamurroksen edistämiseksi

Emilia Kankare

## ENERGIAPOSITIIVISET ALUEET

- kirjallisuuskatsaus energiapositiivisten alueiden suunnittelusta ja niiden merkityksestä energiamurroksen edistämisessä

Energiapositiiviset alueet ovat alueita ja naapurustoja, jotka tuottavat energiaa enemmän kuin kuluttavat. Energiantuotannon tulisi perustua kestäviin energialähteisiin ja olla paikallisesti tuotettua. Alueiden voidaan ajatella myös pyrkivän hiilineutraaliuteen elinkaarensa aikana.

Tämä opinnäytetyö on energiapositiivisista alueista tehty kirjallisuuskatsaus Turun ammattikorkeakoululle. Työn tavoitteena on selittää näiden alueiden tärkeys energiamurroksen ja Euroopan unionin ilmastotavoitteiden kannalta sekä selvittää, mitä eri aspekteja alueiden suunnittelussa ja toteutuksessa tulee ottaa huomioon.

Energiapositiivisten alueiden suunnittelussa iso paino on suunnitteluprosessilla ja siinä tarvittavilla työkaluilla. Myös ihmisten osallistaminen energiamurroksen kannalta tärkeisiin projekteihin on iso osa suunnittelua, sillä nämä ihmiset ovat pääasiassa alueiden joko tulevia, tai niissä jo olemassa olevia asukkaita ja käyttäjiä. Huomiota kiinnitetään myös alueiden edistämisen ongelmakohtiin, jotka voivat olla joko poliittisia tai huonoon asenteeseen, ilmapiiriin ja tietämyksen puutteeseen perustuvia.

Eri teknologioiden esittely on myös oleellinen osa aihealuetta, sillä ne ovat tärkeitä energiatehokkuustavoitteiden toteuttamisessa. Varsinkin älyteknologia on tärkeä osa rakennusten energiankäytön säätelyä ja uusiutuvien energioiden integroimista laajempaan energiasysteemiin. Työssä tullaan myös demonstroinnin vuoksi tekemään katsaus kahteen jo toteutettuun energiapositiiviseen alueeseen ja niiden käyttämiin teknologiaratkaisuihin.

### ASIASANAT:

Energia, uusiutuvat energialähteet, energiatehokkuus, aluesuunnittelu

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Technology

2020 | 44 pages, 1 page in appendices

Emilia Kankare

## POSITIVE ENERGY DISTRICTS

- a literature review based on the design of positive energy districts and their significance in advancing energy transition

Positive energy districts are areas and neighbourhoods, that produce more energy than they consume. This energy production should be local and based on sustainable energy sources. These districts can also be considered to aim for carbon neutrality within their life-span.

This thesis is a literature review based on positive energy districts for Turku University of Applied Sciences. The objective of this work is to stress the importance of these districts in contrast to energy transition and the climate goals of the European Union, as well as to examine what different aspects should be taken into account in the planning and implementation of these districts.

In the design of positive energy districts, great emphasis is put on the design process and the tools required in it. Involving people in projects that are important for the energy transition is also a significant part of the planning, as these people are mostly either future or existing residents and users of these areas. Attention will also be paid to the problem areas with advancing these districts, which can be either political or based on bad attitudes, atmosphere and lack of knowledge.

The demonstration of different technologies is also an integral part of the theme, as they play a major role in achieving energy efficiency goals. Smart technology in particular has an important part in regulating the energy use of buildings, as well as in integrating renewable energies into the wider energy system. The work will also include an overview of two positive energy districts that have already been implemented and the technology solutions used by them.

### KEYWORDS:

Energy, renewable energy sources, energy efficiency, regional planning

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 ENERGIAPOSITIIVISTEN ALUEIDEN SUUNNITTELU</b>	<b>11</b>
2.1 SUDA-viitekehysten käyttö suunnittelussa	12
2.2 Energiatehokkuus	16
2.3 Ongelmakohdat energiapositiivisten alueiden edistämässä ja toteutuksessa	16
2.4 Energiapositiivisia alueita edistäviä hankkeita ja toimijoita	19
2.4.1 Smart Cities Information System	20
2.4.2 Smart Cities and Communities Lighthouse-projekti	21
2.4.3 MAKING-CITY-projekti	21
2.4.4 SINFONIA-projekti	22
2.4.5 Triangulum-projekti	22
2.4.6 Sharing Cities	23
2.4.7 Stardust-projekti	24
<b>3 TEKNOLOGIARATKAISUT</b>	<b>25</b>
3.1 Rakennussuunnittelu	25
3.2 Lämmitysratkaisut	26
3.2.1 Neljännen sukupolven kaukolämpö	26
3.2.2 Hukkalämmön hyödyntäminen	27
3.2.3 Maalämpö	28
3.3 Energian varastointi	29
3.3.1 Lämpöenergian varastointi	29
3.3.2 Akut	30
3.3.3 Power-to-gas	32
3.4 Talojen älykäs ohjaus IoT-tekniikan avulla	33
3.5 Älykäs sähköverkko	34
3.6 Sector Coupling	36
3.7 Tapaustutkimukset	38
3.7.1 München- Smarter Together-projekti	38
3.7.2 Stavanger- Triangulum-projekti	39
<b>4 LOPUKSI</b>	<b>41</b>

## **LIITTEET**

Liite 1. Taulukko Horizon 2020 Lighthouse-hankkeista

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

4GDH	Neljännän sukupolven kaukolämpö (Lund ym. 2014, 1)
BTM-akku	Behind-the-meter-akku, kuluttajille, rakennuksille ja teollisuudelle suunnattu pieni energianvarastointimenetelmä (IRENA 2019a, 21)
EPN	Energiapositiivinen naapurusto (Monti ym. 2017, 36)
FTM-akku	In-front-of-the-meter-akku, suuremman mittakaavan energianvarastointijärjestelmä (IRENA 2019b, 6)
HVAC	Heating, ventilation & air-conditioning, Lämmitys, tuuletus & ilmastointi (Seyam 2018)
ICT	Information and Communication Technology (Cambridge Dictionary, 2020)
IoT	Internet of Things, esineiden internet (Walden 2016)
IT	Informaatioteknologia (Monti ym. 2017, 32)
LCC	Life Cycle Cost, elinkaarikustannukset (Pikas ym. 2014, 30)
NZEB	Net Zero Energy Building/ Nearly Zero-Energy Building (Monti ym. 2017, 20; Panão, Rebelo & Camelo 2013, 161)
OT	Operatiivinen teknologia (Monti ym. 2017, 32)
PED	Positive Energy District, Energiapositiivinen alue (European Commission's Directorates-General for Research and Innovation, 2018,1)
PtG	Power-to-gas -teknologia (Jentsch ym. 2014, 255)
SCIS	Smart Cities Information System (SCIS, 2020)
SG	Smart Grid, Älykäs sähköverkko (The Department of Energy's Office of Electricity)
VRE	Variable renewable energy, vaihtelevat uusiutuvan energian lähteet (IRENA 2020, 21)
ZEB	Zero Energy Building (Monti ym. 2017,20)

# 1 JOHDANTO

Energiapositiivisia alueita ovat seudut ja naapurustot, jotka tuottavat enemmän energiaa kuin tarvitsevat (Ala-Juusela ym. 2016, 134; Monti ym. 2017, 10). Alueet ovat yhteydessä paikalliseen sähköverkkoon, jolloin ne pystyvät myymään ylimääräisen energiansa verkkoon. Jäädessään energiantuotannossa vajaaksi ne ostavat sitä yleisestä sähköverkosta. Kyseiset alueet myötävaikuttavat toiminnallisten, terveellisten ja käyttäjä-ystävällisten ympäristöjen syntyä. Käyttämällä mahdollisimman vähän energiaa ne aiheuttavat myös mahdollisimman vähän ympäristövaikutuksia. (Ala-Juusela ym. 2016, 134–135.)

MAKING-CITY-projektissa energiapositiiviset alueet on määritelty urbaaneina alueina joilla on selkeät rajat, ja jotka koostuvat typologisesti erilaisista rakennuksista. Nämä rakennukset hallitsevat aktiivisesti energian virtausta sekä keskenään että isomman energiasysteemin välillä saavuttaakseen vuosittaisen positiivisen energiataseen. (Alpagut ym. 2019, 1.) COOPERaTE-projekti taas määrittelee energiapositiivisuuden naapurustoina, jotka maksimoivat paikallisten uusiutuvien energialähteiden käytön ja tuovat positiivisen panoksensa laajemman energiaverkoston optimisaatioon sekä turvaan (Ala-Juusela ym. 2016, 134). Määritelmiä on olemassa monia, mutta kaikkia yhdistää tavoite tuottaa enemmän energiaa kuin kulutetaan. Energian tulisi myös olla tuotettu paikallisesti positiivisten ympäristövaikutusten aikaansaamiseksi (Monti ym. 2017, 23). Toisaalta Montin ym. (2017, 20) mukaan tärkein meriitti energiapositiivisuudessa naapurustojen kannalta ei ole energiantuotanto omien tarpeiden yli, vaan joustavuus. Huomiota tulisi myös kiinnittää CO<sub>2</sub>-päästöihin, joiden tulisi vuoden aikana olla nettona nolla (European Commission's Directorates-General for Research and Innovation 2018,1).

Tarvetta energiapositiivisille alueille on, sillä rakennukset käyttävät noin 40 % kaikesta energiantarpeesta Euroopan unionissa (Annunziata ym. 2013,125; Rousselot 2018, 1). Tämän lisäksi ne ovat vastuussa 36 % EU:n hiilidioksidipäästöistä (Annunziata ym. 2013, 125), sekä 60 % kaikesta sähkönkulutuksesta. Kaksi kolmasosaa kaikesta sähkönkulutuksen tarpeesta tulee asuinrakennuksista. (Rousselot 2018,1.)

Energiapositiiviset alueet parantavat elämänlaatua eurooppalaisissa kaupungeissa ja ovat osallisina COP21-päämäärien (Conference of the Parties, ilmastopimuksen allekirjoittaneet maat) saavuttamiseen. Tämän lisäksi ne vaikuttavat eurooppalaisten

kaupunkien suorituskyvyn ja tietämyksen parantamiseen, sekä avittavat EU:n tavoitteessa maailmanlaajuisiksi roolimalleiksi. (European Commission's Directorates-General for Research and Innovation 2018, 1.) Energiankulutuksen vähentäminen ja uusiutuvien energioiden käytön lisääminen rakennussektorilla ovatkin tärkeimpiä keinoja Euroopan unionissa sen riippuvuuden vähentämiseksi fossiilisista energioista sekä energian tuonnista (Annunziata ym. 2013, 125). Smart city -projektit (Älykäs kaupunki) voivat myös toimia katalyytteinä laajemmalle muutokselle yhdistämällä päättäjät saman agendan alle. Muuttamalla jo olemassa olevia liittoutumia kaupungin sisällä ne pystyvät laittamaan liikkeelle uusia mahdollisuuksia kasvuun. Smart City -projektit saattavat myös luoda uusia alustoja ja kannustimia yhteistyölle sekä uusia päämääriä yhdistämään poikkeavia toimijoita. Tämän lisäksi Smart City lähestymistapana kaupunki- ja aluesuunnittelussa laajentaa markkinoita paikalliselle teknologiateollisuudelle ja auttaa kaupunkia uudelleen-brändäytymään tulevaisuuteen suuntaavaksi. Strategiana se luo mahdollisuuden elinkeino- ja tietosektorille yhteistöhön uusien ratkaisujen parissa, jotka voivat avata täysin uusia markkinoita ja tehdä perustan maaöljyn jälkeiselle teolliselle kasvulle. (Haarstad & Wathne 2018, 7, 12.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä kirjallisuuskatsaus energiapositiivisista alueista ja selvittää suuntaa-antavasti miten tällaisia luodaan, ja mitä hyötyä niistä on verrattuna normaaliin kaupunki- ja aluesuunnitteluun. Toisin sanottuna tarkoituksena on perustella niiden tarve nyky-yhteiskunnassa. Koska iso osa kaikesta energiantarpeesta menee asuinrakennusten tarpeisiin, on järkevää keskittyä energiatehokkaampiin ratkaisuihin sekä uusissa rakennuksissa että vanhojen remontoinnissa (Kivimaa ym. 2019, 10; Nzengue ym. 2017,1). Kun ottaa vielä huomioon tarvittavat toimenpiteet ilmastomuutoksen hillitsemiseksi, tulevat energiapositiiviset alueet korostuneesti esille vaadittavien ratkaisujen ja muutosten suhteen. JPI Urban European tavoitteena onkin luoda Eurooppaan 100 onnistunutta energiapositiivista aluetta vuoteen 2025 mennessä (Gollner 2019).

Tarkoituksena on käsitellä energiapositiivisia alueita myös rakennussuunnittelun ulkopuolelta ottaen huomioon myös esimerkiksi tarpeen sähkökäyttöisten kulkuvälineiden lataukselle. Jos suppea käsite energiapositiivisuudesta liittyy pelkästään rakennusten energiantarpeeseen, on laajemmassa käsitteessä mukana koko alue, sen infrastruktuuri ja kommuuni. Absoluuttisen määritelmän puuttuessa tässä työssä yhdistellään eri tutkimuksista ja hankkeista kerättyä tietoa sekä luodaan niiden pohjalta katsaus energiapositiivisiin alueisiin. Tämä työ vastaa energiapositiivisista



alueista tarvittavan tiedon tarpeeseen, sekä muodostaa suuntaa-antavan koosteen Suomen olosuhteissa sovellettavista ratkaisuista.

Työ keskittyy pohtimaan eri näkökulmia energiapositiivisten alueiden suunnittelusta sen vaatimiin teknologiaratkaisuihin. Suunnittelukeinoihin kuuluvat itse alueen rakennussuunnitelmiin liittyvien asioiden lisäksi myös sen toteutukseen liittyvät kysymykset. Toteutuksessa paikalliset päättäjät sekä yhteisöt vaikuttavat paljon siihen, miten projekti onnistuu. Poliittisilla kannustimilla ja hankerahoilla voidaan myös rohkaista projekteja alkuun, sekä motivoida parempiin lopputuloksiin. Eri teknologiaratkaisujen valinta sen sijaan vaikuttaa projektin hintaan sekä energiatavoitteiden saavuttamiseen. Opinnäytetyössä käsitellään kaksi esimerkkitapausta valmistuneista energiapositiivisista alueista, ja samalla selvitetään minkä tyyppiset ratkaisut ovat yleensä toimineet parhaiten, ottaen huomioon Lighthouse-hankkeiden kohdalla myös maantieteellisen sijainnin vaatimat muutokset esimerkiksi rakennusten suunnittelussa. Energiapositiivisuudelle olennaisia hankkeita käsitellään tarkemmin luvussa 2.

Käsitteenä energiapositiivisuus on suhteellisen uusi, joten tutkimustietoa on saatavilla rajallisesti. Osa lähdekirjallisuudesta viittaa termeihin net-zero ja net-positivity, ja sekaannusta saattaa tulla myös NZEB (Net-Zero-Energy Building) ja ZEB (Zero Energy Building) kanssa (Cole 2015,1; Monti ym.2017, 20). NZEB:lla voidaan myös tarkoittaa nearly zero-energy building-käsitettä, jossa pyritään vuoden aikana tuottamaan lähes kaikki rakennuksen omasta energiantarpeesta uusiutuvilla energioilla (Panão, Rebelo & Camelo 2013, 161).

Käsitteistä on olemassa laajempiakin versioita, ja riippuu täysin tutkimuksesta ja hankkeesta, yltävätkö kriteerit esimerkiksi koko infrastruktuuriin kyseisellä alueella vai pelkästään rakennuksiin. Erona energiapositiivisiin alueisiin on, että energiapositiivisuus tuottaa energiaa yli tarpeensa, ZEB- alueiden tuottaessa juuri tasan tarvitsemansa määrän vuoden aikana, ja nearly zero-energy -alueiden tuottaessa melkein tarvitsemansa energiamäärän. Nämä alueet pyrkivät kuitenkin lähes samanlaiseen tilanteeseen kuin energiapositiiviset alueetkin, ja käyttävät sen lisäksi suurimmaksi osaksi samantyyppisiä ratkaisuja, sekä saavat alkunsa samantyyppisistä hankkeista. Tällöin on perusteltavaa käyttää myös net zero -alueisiin pohjautuvia tutkimuksia ja kirjallisuuskatsauksia lähteinä tässä työssä, varsinkin teknologiaratkaisuja mietittäessä. Myös Smart City -hankkeista saatu tieto on oleellista energiapositiivisten alueiden kannalta, sillä energiapositiiviset alueet ovat käytännössä osa näitä hankkeita. Joitakin tutkimuksia tulee tarkastella kriittisesti sen perusteella, missä maassa kyseinen hanke

on toteutettu. Esimerkiksi Suomen oloissa tietyt lämmitysratkaisut, joita käytetään eteläisessä Euroopassa, voivat pahimmillaan vain lisätä energiankulutuksen määrää sekä osoittautua todella hintaviksi vaihtoehdoiksi, sillä ilmasto-olot vaihtelevat eri puolilla Eurooppaa.

## 2 ENERGIAPOSITIIVISTEN ALUEIDEN SUUNNITTELU

Energiapositiivisten alueiden suunnittelusta haastavaa tekee käsitteen kokonaisuus. Kun energiantuotannossa halutaan tuottaa enemmän kuin kulutetaan, on suunnittelussa otettava huomioon tarvittavan vuosittaisen energiantuotannon lisäksi energiatehokkuustoimenpiteet ja kyseisen alueen asukkaiden osallistaminen. Jos asukkaita ei ole informoitu tarpeeksi alueen tavoitteista ja asukkaiden mahdollisuuksista vaikuttaa energiankulutukseen, voi projekti epäonnistua tavoitteessaan. Tässä luvussa käsitellään tärkeimmät huomioonotettavat näkökulmat energiapositiivisten alueiden suunnittelussa, ongelmakohdat alueiden synnyn edistämässä sekä kannustimet niiden suunnittelun aloittamista varten.

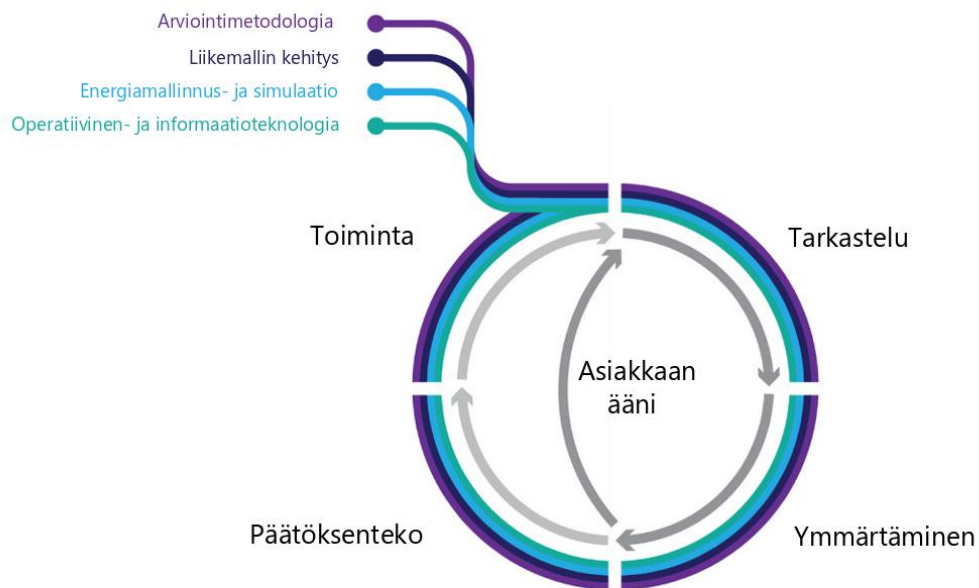
Kaupungeilla on iso rooli energiapositiivisten alueiden synnyn kannalta, sillä ne toimivat niin sanottuina isäntinä, hautomoina sekä fasilitaattoreina näille alueille. Kaupungit ovat myöskin liikkeellepanijoita tällaisissa projekteissa. Kuitenkaan ilman teollisuutta kaupungit eivät kykene löytämään tarvittavia ratkaisuja alueiden toteuttamiseen, ja tästä syystä ne ovatkin riippuvaisia toisistaan. Eri roolit, mandaatit ja kaupunkien sekä teollisuuden päätöksentekijöiden auktoriteetit vaihtelevat eri puolilla Eurooppaa riippuen hallintorakenteesta, suunnittelujärjestelmistä ja julkisen ja yksityisen puolen yhteistyösäännöksistä. Tästä syystä aivan kaikkea tietoa ei pystytä yleistämään. (European Commission's Directorates-General for Research and Innovation 2018, 1.)

Energiapositiivisten alueiden suunnittelun tärkeys perustuu siihen, että pelkästään rakennusten tarvitsemista energiatehokkuusratkaisuista siirrytään luomaan kokonaisvaltaisempaa konseptia, joka taas tähtää luomaan energiatehokkaita alueita ja naapurustoja Euroopan energia- ja ilmastopäämäärien saavuttamiseksi. Täten pyritään myös luomaan kestävästä urbanisaation strategioita, jotka perustuvat yhteiskunnallisiin, sosiaalisiin, ekonomisiin sekä kulttuurillisiin aspekteihin. Kaupunkilaisten osallistaminen päätöksiin ja keskusteluun eri viiteryhmiin ja päätöksentekijöiden kanssa lisää tietoutta aiheesta sekä helpottaa yhteisymmärrykseen pääsyä aiheen tiimoilta, luoden suuntaviivoja mahdollisten ratkaisujen löytämiseksi energiapositiivisten alueiden implementoinnissa. (JPI Urban Europe.)

## 2.1 SUDA-viitekehyksen käyttö suunnittelussa

Suunnittelussa on tärkeää ottaa huomioon jo toteutetut projektit sekä niistä opitut virheet ja onnistumiset. Oikeanlaisilla metodeilla ja suunnittelutyökaluilla vältetään aiempien projektien haasteita ja epäonnistumisia, sekä implementoidaan jo hyväksi todettuja ratkaisuja. Oleellista projektin kannalta on tunnistaa erilaisia työkaluja ja metodeja, joita käyttämällä saadaan prosessi liikkeelle, voidaan ratkaista ongelmia ja tunnistaa projektin mahdollisuuksia.

SUDA on geneerinen viitekehys ongelmien ja mahdollisuuksien määrittelyyn. Viitekehys on luonteeltaan syklinen ja etenee tilanteen tarkastelusta valinnan parantamiseen ja siitä taas kehityksen parantamiseen. (Kuva 1.) SUDA- viitekehystä käytetään helpottamaan ammatinharjoittajien orientoitumista eri työkalujen ja metodologioiden viidakossa.



Kuva 1. SUDA-metodologian viitekehys käännettynä suomeksi lähteestä (Monti ym. 2017, 32).

SUDA perustuu vaiheisiin tarkastelu, ymmärtäminen, päätöksenteko ja toiminta. Näitä käytetään keräämään metodeja, tekniikoita ja työkaluja, jotka avittavat projektin loppuunsaattamisessa. Jokaisessa eri vaiheessa riippuu täysin projektin kehitysvaiheesta, että mitä työkaluja ja metodeja milloinkin käytetään. Esimerkkeksi

tarkasteluvaiheessa työkalut, joita käytetään joko ongelman tai mahdollisuuden havaitsemiseen, ovat erilaisia ensimmäisellä kierroksella kuin tietyn parannuksen implementoinnin jälkeiset työkalut. Kun ongelma tai ehdotettu ratkaisu on monitahoinen, voidaan sitä tässä prosessissa kuvata liitoksissa olevien silmukoiden ryhmittymäksi. Toisin sanottuna jokaisella näkökulmalla monitahoisessa ratkaisussa on oma kehityskulkunsa SUDA-vaiheiden läpi. Tämä on tilanne esimerkiksi energiapositiivisten naapurustojen (EPN) kanssa.

Kuva 1 näyttää viisi eri teemaa, joita tarvitaan konseptin toimimiseen; näitä ovat arviointimetodologia, liikemallin kehitys, energiamallinnus- ja simulaatio, operatiivinen teknologia (OT) sekä informaatioteknologia (IT). Kuudentena ja kaikkein keskeisimpänä kohtana kaikille teemoille on asiakkaan ääni. Kun esimerkiksi valitaan arviointimetodologiaa tehdylle parannukselle perustuen, käydään läpi SUDA:n eri vaiheita, jotta ymmärretään mitä vaihtoehtoja on olemassa ja päädytään kaikkein optimaalisimpaan lähestymistapaan. Liikemallia päättäessä tulee tarkastella mitä malleja ja markkinoita on jo olemassa, ja ymmärtää mitä esteitä tai mahdollistajia liittyy tilanteeseen. Päätöksiä tehdään suositusten pohjalta ja viimeisenä toimeenpannaan suositeltu ratkaisu (simulaation avulla esimerkiksi), jonka jälkeen testataan lopputulema ja mukautetaan ymmärrystä ja lähestymistapaa tilanteen vaatimusten mukaan. SUDAn käyttämisessä ehkäpä tärkein hyöty tulee eri työkalujen ja metodien tunnistamisesta eri vaiheissa. (Monti ym. 2017, 32–33.)

### **Tarkasteluvaihe**

Tarkasteluvaihe aloittaa koko prosessin. Sitä käytetään myös tarkastuspisteenä jälkeentulevien vaiheiden läpikäynnin myötä, jolloin tutkitaan onko parannuksella saatu aikaan haluttu tulos. Parhaiten tätä vaihetta voisi myös kuvata tiedonhankinnan vaiheena, jotta saadaan tarvittava informaatio kasaan ”ymmärtämisen” vaihetta varten. Käytännössä nämä kaksi vaihetta ovat jokseenkin linkkiytyneitä toisiinsa, sillä ne käyttävät useita samoja työkaluja sekä metodeja. Tätä havainnoillistetaan Kuva 1:ssä näiden välisen sisemmän ympyrän kautta. Ensimmäisellä kierroksella keskitytään tunnistamaan ongelmia ja mahdollisuuksia sekä keräämään mahdollisimman paljon tietoa. Näin luodaan mahdollisimman tarkka kuva tilanteesta. Hyvä lähtökohta on käyttää yhtä tai useampaa työkalua tässä vaiheessa. Nyt käytetään esimerkkinä 5K1M- metodia, josta selkeytys tärkeimmistä kysymyksistä prosessin alkuvaiheessa on taulukossa 1. Metodina on myös mahdollista käyttää välitöntä observointia, haastatteluja sekä PEST- tai SWOT-analyysiä. (Monti ym. 2017, 33–34.)

Taulukko 1. Esimerkki 5M1K-prosessista käännettynä suomeksi lähteestä (Monti ym. 2017, 33).

Kuka/Ketä	Mitä/Mitä	Missä/Mistä	Milloin	Miksi	Miten
<i>Tärkeimmät sidosryhmät?</i>	<i>Ovat tavoitteemme?</i>	<i>Muulla tämä on toteutettu?</i>	<i>Aloitamme/lopetamme?</i>	<i>Tämä on tärkeää?</i>	<i>Tämä on toteutettu tällä hetkellä?</i>
<i>Kenen tarvitsee tietää?</i>	<i>Referenssejä meillä on?</i>	<i>On kiinnostuksen kohteena oleva systeemi?</i>	<i>Kommunikoidemme?</i>	<i>Tätä ei voi toteuttaa?</i>	<i>Tämän voisi toteuttaa?</i>
<i>Kenen kanssa pitäisi kommunikoida?</i>	<i>Resursseja meillä on?</i>	<i>Kommunikoidemme?</i>	<i>Tiedämme olevamme valmiita?</i>	<i>Nyt?</i>	<i>Meidän pitäisi kommunikoida?</i>
	<i>Laitteistoa/välineistöä tarvitaan?</i>	<i>Löydämme tarvittavan datan?</i>		<i>Me?</i>	<i>Arvioimme/mittaamme?</i>

### Ymmärtämisyvaihe

Tässä vaiheessa muovaillaan ensimmäisessä vaiheessa kerättyä tietoa ja tunnistetaan aukkoja informaatiossa. Pääasiassa keskitytään osoittamaan ketä ja mikä on tärkeää, sekä ymmärtämään mikä voisi olla tärkeää. Monitahoisissa skenaarioissa tämä tarkoittaa sitä, että pyritään ymmärtämään mikä on tärkeämpää useamman eri teeman kannalta. PEST- tai STEEPLE-analyysi on usein käytännöllinen työkalu lisäämään ymmärrystä esteistä ja mahdollisuuksista valitulle kontekstille. Haastattelut ja workshopit ovat usein käytössä sillä niillä saadaan lisättyä ymmärrystä eri tekijöistä ja näkökulmista. Taulukossa 2 on listattuna eri metodeja, joita voidaan käyttää tässä vaiheessa.

Taulukko 2. Esimerkkejä SUDA-ympyrän ymmärtämisyvaiheen työkaluista ja metodeista (Monti ym. 2017, 34).

PEST	Benchmarking	Concept maps
STEEPLE	9 Windows analysis	Triz
Cause and effect analysis	5 Forces	Simulation
Affinity diagrams	Value Stream Mapping	Statistical Modeling
4Ps or 7Ps analysis	SIPOC analysis	Flow Charts

Prosessin edetessä statistista analyysiä sekä data-analyysiä otetaan enenevässä määrin käyttöön. EPN:in nähden valinnat OT:n, IT:n, energiapalveluiden ja liikemallien puolesta

tullaan muodostamaan tarkastelu- ja ymmärtämisvaiheiden kertauksessa. (Monti ym. 2017, 34.)

### **Päätöksentekovaihe**

Tässä vaiheessa yhdistetään edellisten vaiheiden kautta opittua tietoa päätöksenteon aikaansaamiseksi, ja siihen sisältyykin sekä ideointia että ratkaisujen valintaa, vaikka ideointi onkin toisaalta ymmärtämisen ja päätöksenteon välissä oleva vaihe. Taulukossa 3 esitetään tämän vaiheen kannalta hyödyllisiä työkaluja, joiden avulla voidaan päättää minkälaisia parannustoimenpiteitä tullaan tekemään.

Taulukko 3. Esimerkkejä SUDA-ympyrän päätöksentekovaiheen työkaluista ja metodeista (Monti ym. 2017, 35).

ROI-analyysi	Ansoff Matrix	Modeling
CBA	Critical Path analysis	Six thinking hats
RACI analysis	Ideal Final Result	Prototyping
Riks assessment matrix	Solution selection matrix	Decision tree analysis
RAPID analysis	TRL assessment	Simulation

Tällä vaiheella pystytään myös osoittamaan ovatko päätetyt toimenpiteet vastuussa olevien henkilöiden toimialueen rajoissa, ja että tarvitaanko kanssakäymistä vielä ylimääräisten sidosryhmien välillä. Sen lisäksi pystytään selvittämään tukevatko olemassa olevat markkinat tai lainsäädäntö määriteltyä toimintaa. (Monti ym. 2017, 35.)

### **Toimintavaihe**

Toimintavaihe on nimensä mukaisesti se kohta SUDA-ympyrää, jossa päätökset projektin etenemisen kannalta on tehty ja on aika laittaa ne toteutukseen. Viitekehyyksen kannalta tämä vaihe käsittää liikkeellelaiton, suunnittelun, toteutuksen sekä kontrolloinnin. Tässä vaiheessa painottuu myös SUDA-ympyrän kertaaminen takaisin tarkasteluvaiheeseen, jossa tarkistetaan käyttöönotettujen parannuksien toimivuus. Tärkeää on myös kiinnittää huomiota muutoksen käsittelyyn, jotta saadaan lievennettyä vastarintaa ehdotettua ratkaisua kohtaan. Taulukossa 4 on listattuna hyödyllisiä metodeja ja työkaluja tämän vaiheen kannalta. (Monti ym. 2017, 35.)

Taulukko 4. Esimerkkejä työkaluista ja metodeista SUDA-ympyrän toimintavaiheessa (Monti ym. 2017, 36)

PMBOK	DICE framework	Kotter's 8 step change model
Project management tools	McKinsey 7s model	Direct Observation
Proof-of-Concept	Prototyping	Simulation
Wireframe tools	Survey tools	Modeling

## 2.2 Energiatehokkuus

Kaksi tärkeintä asiaa energiapositiivisten alueiden ja rakennusten suunnittelussa on energiatehokkuuteen liittyvät ratkaisut sekä uusiutuvien energioiden käyttö energiantuotannossa paikallisesti. Ensimmäiseksi mainitun tarkoituksena on saada energiankulutus minimiin, jotta jäljelle jäävä energian tarve saadaan kuitattua uusiutuvilla. (Li ym. 2013, 7.)

Varsinkin Suomessa energiatehokkailla toimenpiteillä olisi mahdollista pienentää rakennusten energiankulutusta voimakkaasti, sillä Suomessakin rakennukset kuluttavat 40 % kaikesta energiantarpeesta. Tämän lisäksi verrattuna muuhun Eurooppaan, suomalaiset kuluttavat toiseksi eniten energiaa henkilöä kohden, joka on myös kaksinkertainen määrä eurooppalaisten kulutuksen keskiarvoon nähden. Osasy tähän löytyy kylläkin paljon energiaa kuluttavasta teollisuudesta. Myös kylmän sään takia rakennusten lämmitykseen kuluu enemmän energiaa kuin muissa Euroopan maissa keskimäärin, vaikka rakennukset noin ylipäänsä ovatkin energiatehokkaampia kuin muualla Euroopassa. Tärkeää olisi uusien rakennuksien suunnittelun lisäksi keskittyä myös restauroimaan vanhoja rakennuksia, jotka ovat energiatehokkuudeltaan surkeita. (Kivimaa ym. 2019, 9–10.)

## 2.3 Ongelmakohdat energiapositiivisten alueiden edistämisessä ja toteutuksessa

On tärkeää osallistaa ne ihmiset uusiutuviin energioihin liittyviin projekteihin, joita projekti koskee. Luottamus eri viiteryhmiin paikallisten välillä on tärkeää ja voikin helpottaa projektin etenemistä suunnattomasti. Samalla myös luodaan positiivisia tunteita yhteisöissä projektiin osallistumisesta sekä sen edistymisestä. (Walker ym. 2010, 2662.)



Ihmisten osallistaminen on myös tärkeä keino edistää energiamurrosta paikallisella tasolla.

Ihmisten halukkuuteen osallistua eri projekteihin vaikuttavat muun muassa yhteisöllisyys ja yhteisöidentiteetti. Yhteisö, tai tunne yhteisöllisyydestä, luo epäsuorasti sosiaalisten normien ja luottamuksen kautta pienen paineen yhteisön jäsenten kesken, ja näin edesauttaa osallistumishalukkuutta. Ihmisiä tulisi myös kouluttaa ja informoida ”yhteisö-energiasta”. Osallistumisprosenttiin voisi yhteisöissä vaikuttaa tämän ohella esimerkiksi tarjoamalla sekä yhteisölle että yksilölle hyötyä osallistumisesta.

Onnistunut yhteisön energiaprojekti voi parhaimmillaan kannattaa ”vastuullista energiaa” sekä lisätä ympäristötietoisuutta. Energiasäästöjen ja ilmastoystävällisten systeemien implementointi myös kannattelee paikallista taloutta sekä edistää energiamurrosta. Tällainen projekti voi myös tarjota alustan sosiaalisille innovaatioille. Uusien energiaprojektien vireillepanoa edistää paikallisten ympäristötietoisuus sekä aikomus energiaomavaraisuuteen. (Kalkbrenner & Roosen 2016, 18, 60–61, 67.)

Isoimmat esteet esimerkiksi energiatehokkuuden lisäämisessä jo rakennusvaiheessa yksittäisiin rakennuksiin tulee nimenomaan ihmisten haluttomuudesta ja mielenkiinnon puutteesta aiheeseen. Myös huonosti suunniteltu ja toteutettu lainsäädäntö hankaloittaa energiatehokkaiden ratkaisujen käyttöönotossa, sekä ehkäisee tiettyjen toimien ja bisnesmallien syntyä. Esimerkiksi asuinrakennuksessa pienimuotoisesti tuotetun uusiutuvan energian vertaismyynti on estynyt lainsäädännöllisten asioiden takia. Tästä syystä bisnesmallit kuluttajille kohdistettuja energiansäästöjä varten pysyvät marginaalisina. (Kivimaa ym. 2019, 24–27.) Myös energiapositiivisten alueiden hankkeiden toteutuksissa iso osa ongelmista tulee vastaan Euroopan unionin rahoituksen asettamien tiukkojen rajoitusten kanssa. Tämä vaikuttaa myös siihen, että kaupunkilaisia ei voida osallistaa projektiin muutoin kuin informaatiokampanjoiden avulla. Joustavuutta projektin toteutuksessa ei myöskään juurikaan ole tästä syystä. (Knieling & Lange 2019, 676.)

Ongelmia tulee myös suunnittelu- ja rakennusyritysten osaamisen sekä mielenkiinnon puutteen vuoksi. Vaikka asiakkaalla olisi toiveissa energiatehokkaampi rakennus, on käytännössä jo suunnittelun alkuvaiheessa siirretty siihen liittyvät ratkaisut pois pöydältä, ja tämä taas vaatii asiakkaalta sinnikästä sitoutumista uusien ratkaisujen edistämiseksi. Rakennusalan osaamisen puutteen vuoksi myös uusien teknologiaratkaisujen

valjastaminen vanhoihin rakennuksiin tehdään usein väärin, jolloin optimaalista energiansäästöä ei saada aikaan. (Kivimaa ym. 2019, 24–27.)

Ylipäänsä energiapositiivisten alueiden vaatimat ICT-ratkaisut voivat huonosti toteutettuna aiheuttaa ennalta arvaamatonta käytöstä. Luottamus eri viiteryhmiä välillä korostuu uuden teknologian käyttöönotossa, sillä tällaisessa tilanteessa ongelmat saattavat kärjistyä entisestään, jos yksittäinen päätöksentekijä ei koe yhteistyökumppanin olevan luotettava tämän ponnistellessa saamaan ihmiset käyttäytymään toivotulla tavalla. Ongelmia tulee vastaan myös jos toteutetun alueen tai rakennuksen asukkaiden arvot eivät kohtaa energiapositiivisten alueiden objektiivin kanssa; henkilö, joka arvostaa yksityisyyttä, valtaa ja kontrollia, voi kokea vaikeaksi hyväksyä laitteiden kontrolloimaa kotia. Myös uusiin teknologioihin liittyvän vastahakoisuuden vuoksi voidaan näiden käyttöä yksinkertaisesti hyljeksiä. (Monti ym. 2017, 258.)

Tässä olisi parannettavaa sillä yksittäisten ihmisten energiantuotanto on välttämätöntä energiamurroksen kannalta. Tärkeää olisi siis kouluttaa paikallisten ihmisten lisäksi myös yrityksiä ja asiantuntijoita, jotta voitaisiin paremmin tarjota energiatehokkaita ratkaisuja sekä yksittäisille ihmisille että taloyhtiöille.

Mikäli energiapositiivisten alueiden syntyä mietitään yksittäisten ihmisten toimesta, olisi tärkeää että yksityisille ihmisille olisi paremmin tarjolla energiaan liittyviä palveluita. Tällä hetkellä markkinoilla on selkeä puute kokonaisvaltaisista energiaratkaisuja tarjoavista palveluista. Tarvetta olisi niin sanotuille ostovalmiille huolto- ja seurauspalveluille, jotta saataisiin lisättyä kotitalouksien kiinnostusta pienimuotoisesta energiantuotannosta. Tällä toiminnalla saataisiin myös luotua enemmän kysyntää käyttäjakeskeisille palveluratkaisuille, joka taas lisäisi markkinarakoa energiaratkaisuja tarjoaville yrityksille.

Rakennuksessa ollaan väistämättä yhteyksissä kuntiin osana rakennuslupaprosessia. Kunnilla olisikin mahdollisuus rohkaista uudenlaisten ratkaisujen käyttöönotossa rakennussäädösten avulla, sekä tarjoamalla rahallista hyötyä energiatehokkuudesta tai pienimuotoisesta energiantuotannosta. Neutraaleina ja energiayhtiöistä riippumattomina toimijoina kunnat voivat myös levittää tietoa saatavilla olevista ratkaisuista kuluttajille esimerkiksi havainnoillistamisprojektien ja neuvontapalveluiden avulla. Tämän lisäksi selkeää hyötyä olisi rakennusten energiaan erikoistuneiden suunnittelijoiden koulutukseen investoimisesta. Näin saataisiin tehostettua arkkitehtien ja HVAC-suunnittelijoiden (lämmitys, tuuletus ja ilmastointi) välistä kommunikointia ja helpotettua

energia-alan asiantuntijuuden integroitumista olennaiseksi osaksi rakennusten suunnittelu- ja saneerausprosessia. (Kivimaa ym. 2019, 24–28.)

Energiapositiivisten alueiden kannalta oleellista näyttäisikin olevan edistää niiden syntyä myös isompien projektien ulkopuolella jo olemassa oleviin alueisiin esimerkiksi kuluttajien päätöksiin ja rakennuttajien tietoperustaan vaikuttamisen kautta. Rakennusalan säätely onkin ensiarvoisen tärkeää, sillä kyseinen sektorin muuttuu hitaasti ja samalla myötävaikuttaa merkittävästi kiireellisiin ympäristöongelmiin. USE-projektin (Change in Business Ecosystems for Local Renewable Energy and Energy Efficiency - Better Energy Services for Consumers) ehdotuksen mukaan pitäisi ensinnäkin kehittää säännöksiä, jotka tukevat kestävästä kehityksestä innovaatioiden syntyä, ja säännöksiä, jotka tarkoituksenmukaisesti horjuttavat olemassaolevia kestäättömiä systeemejä ja käytäntöjä. (Kivimaa ym. 2019, 37.)

Älykäs sähköverkko-projektien kannalta asukkaiden ja työläisten niin sanottu voimaannuttaminen on yksi suurimmista esteistä. Yksityisen datan käyttö ja digitaalisten työkalujen omiminen sosiaalisesti monimuotoisissa konteksteissa luo suuren haasteen, sillä sosiaalinen hyväksyntä tulisi varmistaa. Tämän ongelman selättämiseksi yksi mahdollisuus olisi työskennellä uudelleen sopimuksen kanssa dataan liittyen ja antaa kuluttajalle mahdollisuus omistaa datansa sekä kontrolloida sitä täysin itse. Tarkoituksena olisi saada kuluttajat ymmärtämään, että he voivat itse edesauttaa paremman ja kestävämmän naapuruston luomisessa. Antamalla asukkaille ja työntekijöille kokonaisvaltaisen ja yksinkertaistetun vision naapurustosta kojelautojen käytön tai vastaavien käyttäjäystävällisten käyttöliittymien avulla, voidaan avittaa heitä ymmärtämään suorituskyvyn arviointia, herätellä heidän kiinnostusta ja jopa kannattaa toimintaa. Vielä pidemmälle mentäessä yksi mahdollisuus olisi erilaisten haasteiden, vakavien pelien tai jopa tapahtumien järjestäminen, joista voisi saada konkreettista etua yleensä niinkin abstraktille konseptille kuin suorituskyky. (Monti ym. 2017, 264–265.)

## 2.4 Energiapositiivisia alueita edistäviä hankkeita ja toimijoita

Tässä luvussa käsitellään energiapositiivisiin alueisiin liittyviä ja niille ylipäätään oleellisia hankkeita, toimijoita ja projekteja. Näistä on valittu ne, jotka edistävät nimenomaan energiapositiivisten alueiden syntyä, sekä niihin liittyvän teknologian kehittämistä ja hyödyntämistä. Yksityiskohtaisempaa tietoa Suomen oloihin verrattavissa olevista toteutuksista lisää luvussa 3, tapaustutkimusten alla. Käsittelen vain Euroopan unionin

sisällä vaikuttavia hankkeita ja toimijoita, sillä ne ovat Suomen tilannetta tarkasteltaessa oleellisempia, ja osassa hankkeita onkin suomalaisia kaupunkejakin mukana. Euroopan komissio näyttäytyy myös näiden projektien suurimpana rahoittajana esimerkiksi Horizon 2020 -hankerahaston kautta. Hankkeita ja projekteja on olemassa kymmeniä, joten tässä käsitellään niistä vain osa sen perusteella, kuinka paljon niistä on löydettävissä tietoa, ja onko esimerkiksi hankkeen tulokset helposti saatavissa verkosta tai muutoin kirjallisuuden kautta. Myös hankkeiden ajankohtaisuutta on arvioitu valinnassa. Horizon 2020 -hankkeen rahoittamista Lighthouse-projekteista on opinnäytetyötä varten koottu taulukko liitesivulla 1.

#### 2.4.1 Smart Cities Information System

Smart Cities Information System (SCIS) on Euroopan komission tukemana lanseerattu informaatioalusta datan, kokemuksen ja tietotaidon vaihdolle. Se tekee yhteistyötä Smart Cities -hankkeiden luonnissa ja tuokin yhteen projektikehittäjiä, kaupunkia, tutkimusinstituutioita, teollisuutta, asiantuntijoita sekä kaupunkien asukkaita ympäri Eurooppaa. SCIS toimii siis tiedonvälittäjänä uusille teknologioille ja ideoille, tuoden ne tiedeyhteisön lisäksi myös julkiseen tietouteen. SCIS kerää dataa sekä valmistuneista, meneillään olevista, että tulevaisuuden projekteista keskittyen energiaan, liikkumiseen ja kuljetukseen sekä ICT-ratkaisuihin. Erityisesti se esittelee ratkaisuja rakennusten energiatehokkuuteen, energiasysteemien integraatioon, kestävän energian ratkaisuihin aluetasolla, älykkäisiin kaupunkeihin ja kommuuneihin sekä strategisesti kestävään urbaaniin suunnitteluun.

Pääasiassa SCIS:in alla olevat projektit on yhteisrahoitettu Euroopan komission kanssa, joista muutamia esimerkkejä ovat esimerkiksi Horizon 2020 Smart Cities and Communities -projektit (Triangulum, Sharing Cities & Stardust) sekä 7th Framework Programme -projektit (CELSIUS & City-Zen). Perimmäinen tarkoitus on kuitenkin edistää replikaatiota analysoimalla projektien tuloksia ja kokemuksia, jotta voidaan osoittaa parhaimmat käytännöt projektien kehittäjille, tunnistaa esteitä ja oppia virheistä parempien ratkaisujen löytämiseksi teknologioiden toimeenpanolle. Poliittisia linjauksia pyritään kehittämään tarjoamalla päättäjille suosituksia toimenpiteistä, joilla saadaan kurottua markkinoiden kuiluja. SCIS tarjoaa myös webinaareja ja työpajoja projektien löydöksistä ja mahdollisuuksista sekä koulutusta SCIS:iin tietokannan ja verkkosivun resursseista. (SCIS 2019.)

## 2.4.2 Smart Cities and Communities Lighthouse-projektit

Smart Cities and Communities Lighthouse -projektit ovat Euroopan komission rahoittamia Horizon 2020 tutkimus- ja innovaatio-ohjelman kautta. Tavoitteena on tuoda yhteen kaupunkeja, teollisuutta sekä kaupunkilaisia havainnoillistamaan ratkaisuja ja liikemalleja, joita voidaan monistaa eri skaaloihin. Nämä tulevat johtamaan lukemattomiin hyötyihin energia- ja resurssitehokkuudessa sekä luomaan uusia markkinoita ja työpaikkoja. (EIPSCC 2020.)

Vuodesta 2014 lähtien Lighthouse-projekteja on rahoitettu 18 (Liitesivu 1). Nämä projektit koostuvat Lighthouse (Majakka)- ja Follower (Seuraaja)-kaupungeista. Lighthouse-kaupungit näyttävät tietä niiden vanavedessä seuraaville kaupungeille demonstroimalla prosesseja, teknologioita, ratkaisuja ja bisnesmalleja ekosysteemien muuntamiseksi fiksummiksi ja kestävämmiksi paikoiksi. (EIPSCC 2020.)

## 2.4.3 MAKING-CITY-projekti

MAKING-CITY-projekti kuvaa itseään laajan mittakaavan havainnoillistamisprojektina, jonka tähtäimenä on kehittää uusia integroituja strategioita. Näiden avulla pyritään valmistelevaan urbaanin energiasysteemin muutosta kohti vähähiilisten kaupunkien tarpeita pitämällä energiapositiivisten alueiden lähestymistapa urbaanin energiamurroksen ytimessä. Kyseinen projekti tavoittelee todistusaineistoa PED-konseptin potentiaalista vielä tehokkaampana ja kestävämpänä suuntana tämänhetkisiin urbaanin muutoksen etenemissuunnitelmiin verrattuna. (SCIS 2020.)

Projekti on CARTIF-säätiön koordinoima ja toimii osana 60 kuukautta kestävästä Horizon 2020 -projektista, joka lanseerattiin joulukuussa 2018. MAKING-CITY auttaa sekä eurooppalaisia että muita kaupunkeja maailmalla omaksumaan City Vision 2050 -tähtäimen energiamurroksessa ja kestävässä urbanisaatiossa, muuntaen kaupunkien asukkaita toimijoiksi tässä muutoksessa. PED-konsepti testataan ensin kahdessa Lighthouse-kaupungissa Oulussa ja Groningenissa. Tämän jälkeen tarkoituksena olisi toistaa kyseisten kaupunkien luomat konseptit kuudessa ”seuraaja”-kaupungissa. Lighthouse-kaupungeissa käytettäväksi valikoidut teknologiat ovat jo täysin testattuja ja saatavilla markkinoilla. (Making City 2020.)

#### 2.4.4 SINFONIA-projekti

SINFONIA-projekti on viiden vuoden mittainen aloite mittaluokaltaan suurien, integroitujen ja skaalattavissa olevien energiaratkaisujen käyttöönottamiseksi keskikokoisissa eurooppalaisissa kaupungeissa. Aloitteen keskiössä on yhteistyö kaupunkien Bolzano ja Innsbruck välillä. Näissä pyritään pääsemään 40–50 prosentin primäärienergiensäästöihin sekä nostamaan uusiutuvien energioiden kiintiötä 20 prosenttia kahdella pioneerialueella. Tämä toteutetaan yhdistelemällä eri toimenpiteitä, kuten esimerkiksi uuden teknologian asennus vanhoihin rakennuksiin kattaen yli 100 000 m<sup>2</sup> asuinpinta-alaa, sekä sähköverkon optimoinnilla ja kaukolämmön- ja jäähdytyksen eri ratkaisuilla. Iso osa projektia on omistettu kahden pioneerialueen ratkaisujen monistamispotentiaalille eri skaaloissa. Tämän saavuttamiseksi SINFONIA pyrkii määrittelemään rajoitetun määrän aluetypologioita sekä niihin liittyviä kunnostusmallinnuksia. Näin kaupungit pystyvät helposti osoittamaan tarpeensa ja tehokkaasti määrittelemään pitkän tähtäimen kunnostusstrategioita. Jotta paremmin varmistettaisiin näiden hankkeiden skaalaus- ja monistamismahdollisuudet, tullaan nämä mallinnukset ja typologiat testaamaan ja vahvistamaan kaikkien sidosryhmien- julkisten ja yksityisten, kaupunkilaisista energian säätelijöihin- kanssa. Näin tullaan tekemään myös muiden kaupunkien kuin Innsbruckin ja Bolzanon kanssa. Näitä ovat viisi ”varhaista omaksujakaupunkia”, Pafos, Rosenheim, Seville, La Rochelle ja Båras. (Sinfonia 2020.)

#### 2.4.5 Triangulum-projekti

Triangulum on yksi eurooppalaisista Smart Cities and Communities Lighthouse -projekteista ja sen tarkoituksena on levittää ja monistaa ratkaisuja Euroopan tulevaisuuden älykaupunkien viitekehysistä. Lighthouse-kaupunkeja tässä projektissa ovat Manchester, Eindhoven ja Stavanger, jotka toimivat testialustana innovaatioprojekteille, mitkä keskittyvät kestävään liikkuvuuteen, energiaan, ICT-ratkaisuihin sekä liiketoimintamahdollisuuksiin. Projektit tuovat yhteen poikkitieteellistä kokemusta 22:lta teollisuuden yhteistyökumppanilta, tutkimuksista ja kunnilta, jotka jakavat saman päämäärän ja sitoumuksen kehittää ja implementoida niin sanottuja älyratkaisuja. Näitä monistetaan kolmeen seuraajakaupunkiin Leipzigiin, Prahaan ja Sabadeliin, kuin myös ”observoijakaupunkiin” Tianjiniin.

Triangulum-projekti saa suurimman osan rahoituksestaan (25/30 miljoonasta) Euroopan komissiolta Horizon 2020 -hankkeen kautta. Projektia koordinoi Fraunhofer IAO Stuttgartissa ja sitä tukee Steinbeis-Europa-Zentrum.

Yksi projektin erikoispiireistä on sen ICT-arkkitehtuuri sekä Smart City -viitekehys, jota kehitetään Lighthouse-kaupungeissa. Modulaarinen lähestymistapa mahdollistaa joustavia (liiketalous) ratkaisuja, jotka vaikuttavat nimenomaan kaupunkien ja sidosryhmien yksilöllisiin haasteisiin ja vaatimuksiin.

Tähän mennessä suurin osa projektien täytäntöönpanoista on jo saatettu päätökseen kolmessa Lighthouse-kaupungissa, ja seuranta- sekä vaikutusarviointidataa on ruvettu varastoimaan Cloud Data Hubiin. Triangulum on laittanut näytille 29 erilaista ratkaisumoduulia sekä 69 tapausta, jotka havainnoillistavat yksilöllisiä haasteita ja vaatimuksia Lighthouse-kaupungeissa niiden sidosryhmien välillä. (Triangulum.)

#### 2.4.6 Sharing Cities

Sharing Cities on Lighthouse-ohjelma, joka luo perusteita paremmalle lähestymistavalle älykaupunkien tekemiseksi osaksi todellisuutta. Projekti tavoittelee edullisten, integroitujen ja kaupalliset markkinat mielessä pidettyjen älykaupunkiratkaisujen edistämistä. Tämä toteutetaan ylläpitämällä kansainvälistä yhteistyötä teollisuuksien ja kaupunkien välillä. Yhteistyökumppanit työskentelevät tiiviisti yhdessä European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities (EIPSCC) ja muiden Lighthouse-konsortioiden kanssa.

Sharing Cities tarjoaa viitekehysten kaupunkilaisten osallistamiseen ja yhteistyöhön paikallisesti, joka taas lisää luottamusta kaupunkien ja niiden asukkaiden välillä. Projekti on aloitettu vuonna 2016 ja se saa rahoitusta Euroopan unionilta 24 miljoonaa. Yhtenä tavoitteena on luoda 500 miljoonan euron edestä sijoituksia sekä osallistaa yli 100 kuntaa ympäri Eurooppaa. Ohjelmaan osallistuu 6 kaupunkia ja yhteistyökumppaneita teollisuudesta on 34. Lighthouse-kaupunkeina toimivat Lontoo, Lissabon ja Milan. Näiden perässä samoja ratkaisuja tulevat kehittämään yhdessä tai implementoimaan niin sanotut ”kumppanikaupungit” Bordeaux, Varsova ja Burgas. (Sharing Cities.)

### 2.4.7 Stardust-projekti

Stardust tarjoaa holistisen lähestymistavan hiili-perusteisten kaupunkien muuttamiseksi älykkäiksi, erittäin tehokkaiksi ja kaupunkilaislähtöisiksi, tai toisin sanottuna ”innovaatiosaariksi”. Nämä lähestymistavat perustuvat sekä teknologisiin, että epäteknologisiin ratkaisuihin. Teknisiä ratkaisuja tarjotaan energia-, liikkuvuus-, ja ICT-sektoreilla. Toisaalta ei-teknologisia ratkaisuja tarjotaan keskeisessä asemassa oleville toimijoille, kuten päättäjille, teollisuudelle, akatemialle ja kaupunkilaisille. Nämä ratkaisut käsittävät muun muassa innovatiivisten bisnesmallien lisäksi kaupunkilaisten osallistamistoiminnan, joka varmistaa ratkaisujen pankkikelpoisuuden. Tämän lähtökohdan kuvaillaan toimivan kuin yin ja yang, kummankin ratkaisutyylin toiminnot täydentävät toisiaan tarjoten holistisen ajattelutavan Stardustin visioiman uuden ”urbaanin metabolismin” määrittelyyn.

Jo olemassa oleviin rakennuksiin ja alueisiin tullaan soveltamaan uudelleensaneerausta ja innovatiivisia lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiä, jotta saataisiin nostettua niiden energiatehokkuustasoa paikallisille asukkaille mukavuutta unohtamatta. Energian käyttöä voidaan monitoroida ja hallita rakennusten asukkaiden ja energiantarjoajan kesken kehittämällä energiatehokkaita hallintaprotokollia, käyttäjäystävällisiä alustoja sähköverkoille, energianvarastointijärjestelmiä, ja luomalla informaation jakamisalusta käyttäjien ja viiteryhmiä välille. Uusiutuvien energioiden, energian varastointimenetelmien ja valomateriaalien avulla varmistetaan riittävä energian saanti kaupunkien käyttöön.

Koska liikenteestä aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat noin kymmenyksen kaikista päästöistä, tullaan sähköisiä kulkuneuvoja ja niiden latausasemia kehittämään ja lisäämään. Myös erilaisia kannustimia tullaan luomaan hankekaupunkeihin, jotta niiden asukkaita saadaan rohkaistua käyttämään sähköisiä kulkuneuvoja. Kaupunkilaisia pyritään myös osallistamaan kaupunkien suunnitteluun muun muassa kommunikaatiokanavien, aktiviteettien ja ICT-työkalujen avulla. (Stardust 2020.)



## 3 TEKNOLOGIARATKAISUT

### 3.1 Rakennussuunnittelu

Pelkästään rakennuksen tilojen oikeanlaisella suunnittelulla voidaan jo vaikuttaa huomattavasti sen energiatehokkuuteen. Tällaista on esimerkiksi valaistus-, ikkuna-, eristys- ja tilasuunnittelu. Tekemällä huoneistoista kompaktimpeja säästetään jo pelkästään lämmityskuluissa huomattavasti. Esimerkiksi toimistorakennuksissa jo 10 % vähennys pinta-alassa 10 000 neliömetrin rakennuksessa voi saada aikaan miljoonan euron edestä säästöjä (Digital Transformation Monitor 2017, 3).

Virossa tehty tutkimus kustannustehokkaista NZEB-toimistorakennuksista päätyi suosittelemaan pientä ikkuna-seinä-suhdetta, triplalasisitusta argonilla ja vähintään 200 millimetrin paksuista eristystä seiniin. Tämä ratkaisu olisi energia- ja kustannustehokas 20 vuoden sisällä. Toimistorakennuksille suositeltiin myös aurinkopaneeleja omaan energiantuotantoon, sillä muut uusiutuvan energian tuotantomuodot eivät olleet aivan yhtä tehokkaita ilmaston ja rakennustyyppin kannalta. Lähitulevaisuudessa NZEB:it tulevat olemaan vielä kustannustehokkaampia aurinkopaneelien rakentamiskulujen pienentyessä. Yleisesti kuitenkin huomattiin LCC:n (elinkaarikustannukset) kannalta edullisempien ratkaisujen olevan edullisempia jo alkuvaiheesta lähtien. (Pikas ym. 2014,30,38.)

Pelkästään ihmisten käytös voi johtaa jopa 50 prosenttia korkeampaan lämmöntarpeeseen ja 60 prosenttia korkeampaan huippukäytön aiheuttamaan kuormaan, kuin mitä voidaan olettaa viitearvojen perusteella standardeissa energiatehokkaiden rakennusten energiantarve-laskelmissa. Energiansäästö on edellytys fossiilispolttoaineettoman energia-alan vision toteuttamiselle. Yhteiskunta voi saavuttaa kaikki energiansäästötoimenpiteiden potentiaalit rakennusalan avulla. Energiansäästötoimenpiteiden integrointi tehokkaaseen energianhuoltojärjestelmään voidaan saada aikaan vain loppukäyttäjien päättäväisen osallistumisen avulla.

Esimerkiksi aurinkovarjot ovat kriittisiä passiivisesti lämmitetyissä rakennuksissa, Lämpöä hylkivässä suhteessa luonnollinen (poikittainen) tuuletus on yksi yleisimmin käytetyistä strategioista, joilla vähennetään passiivisen suunnittelun sisäisiä kuormituksia. Tuuletus on joskus tehokkaampaa yön aikana (yöjäähdytys), kun ulkolämpötila on alhaisempi kuin sisälämpötila. Yhdistettynä maaputkijärjestelmään,

joka käyttää maata kylmänä lähteenä, tuuletus voi myös osoittautua hyödylliseksi vähentämällä rakennuksen sisäisiä kuormituksia esijäähdyttämällä tuuletusilmaa ja poistamalla sitä. (Aelenei ym. 2012, 8.)

## 3.2 Lämmitysratkaisut

### 3.2.1 Neljännen sukupolven kaukolämpö

Neljännen sukupolven kaukolämpö (4GDH) on johdonmukainen teknologinen ja institutionaalinen konsepti, joka älykkään lämpöverkon avulla edistää kestävien energijärjestelmien kehitystä. 4GDH-järjestelmä tarjoaa lämpöenergiaa matalaenergisille rakennuksille pienillä häviöillä, käyttämällä matalan lämpöasteen lämpöenergiälähteitä, jotka ovat integroitu älykkäiden energijärjestelmien toimintaan. Konsepti käsittää institutionaalisen ja järjestöllisen viitekehyksen kehittämisen sopivien kustannus- ja motivaatorakenteiden helpottamiseksi.

Tämänhetkistä kaukolämpöteknologiaa joudutaan väkisinkin kehittämään tulevaisuudessa verkostoon liittyvien häviöiden ja uusiutuvien energioiden osuuden kasvattamisen ja siihen liittyvän matala-asteisen energiantuotannon takia. Tämä olisi ratkaistavissa siirtymällä neljännen sukupolven kaukolämpöön. Rakennusten vaatima lämpöenergian lämpöaste tulee myös muuttumaan energiatehokkaampien rakennuksien takia matalammaksi, edelleen kannustaen tämän teknologian käyttöönottoon. Älykäs sähköverkko-teknologian implementointi myös edesauttaa 4GDH-teknologian käyttöönotossa.

4GDH-teknologia käyttää matalampaa lämpöastetta kuin tämänhetkinen kolmannen sukupolven kaukolämpöteknologia. Rakennuksille siirretyn kaukolämmön lämpöaste voidaan saada niinkin matalaksi kuin 45–55 celsiusastetta. Jakelujärjestelmän energiatehokkuuden kannalta oleellista olisi jakeluverkoston keskittäminen tietyille alueelle, jolloin saadaan vähennettyä jakelusta aiheutuvia kustannuksia ja lämpöhäviöitä. Iso osa Euroopan kaupungeista on tarpeeksi tiheään asutettuja tämän teknologian tehokkaan implementoinnin kannalta.

On myös mahdollista vähentää tilojen lämmitykseen kuluvan totaalienergian määrää tasolle, joka vastaa kotitalouksien veden lämmittämiseen tarvittavan energian määrää. Tätä kautta saadaan myös parempi tasapaino kesän ja talven vaatiman energiamäärän

välille. Täten kaikki tarvittava energia saadaan toimitettua lämmön kierrättämisellä tai uusiutuvien energioiden avulla, ottaen huomioon, että energiantarve on ylipäänsä matalalla tasolla. Jo olemassa olevien rakennusten energiantarvetta saadaan madallettua kaukolämmön avulla kahdella eri tavalla. Ensimmäiseksi, kaukolämmön verkoston ja tuotantoyksiköiden avulla saadaan yhdistettyä enemmän rakennuksia samaan verkkoon. Toiseksi, olemassa olevien rakennusten paremman eristyksen avulla mukavuustasot saadaan saavutettua matalammilla lämpöasteilla. Tämän avulla myös vähennetään verkon häviöitä ja lisätään lämmön kierrätystä ja tuotantoyksiköiden tehokkuutta. (Lund 2014, 1–10.)

### 3.2.2 Hukkalämmön hyödyntäminen

Hukkalämpöä esiintyy melkein kaikissa termisissä ja mekaanisissa prosesseissa. Sen lähteitä ovat esimerkiksi ilmaan päästetyt kuumat palamisreaktioiden aiheuttamat kaasut, ympäristöön vapautettu lämmin vesi, teollisten prosessien muodostamat kuumennetut tuotokset ja lämmönsiirtyminen laitteistojen kuumilta pinnoilta. Kaikkein merkittävin määrä hukkalämpöä kehittyy teollisissa prosesseissa ja energiantuotannossa. Useampikin tutkimus arvelee, että jopa 20–50 prosenttia kaikesta teollisesta energiankulutuksesta vapautuu hukkalämpönä ympäristöön, ja tästä määrästä 18–30 prosenttia voitaisiin hyödyntää.

Euroopan unionissa lämpöenergian tarpeet ovat reippaasti yli puolet kaikesta energiantarpeesta. Teollisuudessa taas 70,6 prosenttia kaikesta energiankulutuksesta käytetään tilojen ja teollisten prosessien lämmittämiseen, kotitalouksien lämmityksen ja kuuman veden ollessa 79 prosenttia totaalikulutuksesta. Täten hukkalämpö on tärkeä tulevaisuuden energianlähde.

Hukkalämpöä pystytään hyödyntämään kahdella eri tavalla: sisäisesti tai ulkoisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että teollisen rakennuksen tuottamaa hukkalämpöä voidaan käyttää joko rakennuksen sisäisiin tarpeisiin, tai kolmannen osapuolen, esimerkiksi asuinrakennusten tarpeisiin. Sisäisesti hukkalämpöä voidaan muuttaa muihin energianmuotoihin, kuten vaikkapa sähköksi tai jäähdytykseksi absorptio- ja absorptiojäähdytyslaitoksen avulla.

Tällä hetkellä taloudellisesti kannattavin keino hukkalämmön hyödyntämiseen vaatii tarjonnan ja kysynnän välitöntä läheisyyttä. Kaikkein joustavin energianmuunnos olisi

sähkö, jota saa helposti siirrettyä käyttökohteeseen. Hukkalämmön hyödyntämisen esteenä on vielä toistaiseksi heikko teknologinen hyötysuhde hukkalämmöstä sähkön tuottamiseksi. (Interreg.)

### 3.2.3 Maalämpö

Maalämpö on uusiutuvan energian muoto, jota saadaan tuotettua maan sisältä. Maalämpöä tuotetaan kuljettamalla lämpöä maan kuoren sisältä veden tai höyryn mukana. Maalämmön luonteesta riippuen sitä voidaan käyttää joko lämmittämiseen, jäähdyttämiseen tai puhtaan energian tuotantoon.

Yksi maalämmön etuja muihin uusiutuviin energioihin nähden on, että sitä on saatavilla vuoden ympäri, ja sitä voidaan hyödyntää lähes kaikkialla. Sen tuotanto ei myöskään ole säästä riippuvainen. Toisaalta sähköntuotantoa varten tarvitaan suhteellisen korkealämpöisiä alueita, ja nämä löytyvät yleensä läheltä vulkaanisia kenttiä.

Geotermisiä teknologioita on olemassa monenlaisia. Sitä voidaan käyttää suoraan lämpönä esimerkiksi kaukolämmitykseen, geotermisiin lämpöpumppuihin, kasvihuoneisiin ja muihin sovelluksiin. Näitä teknologioita hyödynnetään tälläkin hetkellä laajasti ja niiden voidaan ajatella olevan pitkälle kehittyneitä. Monet nykyään käytössä olevista voimalaitoksista ovat kuivahöyrylaitoksia, jotka käyttävät yli 180 celsiusasteen lämpötiloja. Keskilämpötilan kenttiä käytetään kuitenkin enenevässä määrin sähköntuotantoon tai yhdistettyyn lämmön ja sähkön käyttöön binaarisyklitekniikan kehityksen ansiosta. Kyseisessä teknologiassa geotermistä nestettä käytetään lämmönvaihtimien avulla prosessinesteen lämmittämiseen suljetussa silmukassa. (IRENA 2017, 2; IRENA.)

Esimerkiksi kaukolämpöön verrattuna maalämpöpumppu on elinkaarensa kannalta edullisempi vaihtoehto. Jos tämän yhdistää vielä rakennukseen integroituun aurinkovoimaan, tullaan n. 100 vuoden kuluessa pääsemään vielä pelkkää lämpöpumppuakin edullisempaan vaihtoehtoon. Aurinkopaneelien avulla tullaan myös säästämään päästöissä. (Ristimäki ym. 2013, 173.)

### 3.3 Energian varastointi

Energian varastointi on yksi tärkeä osa energiapositiivisten alueiden toteutusta. Koska alueen tarvitsema energia tulee tuottaa pääsääntöisesti uusiutuvilla energialähteillä paikallisesti, on tarvetta tasapainoitusmetodeille uusiutuvien energioiden vaihtelevuuden vuoksi. On myös edullisempaa hyödyntää paikallisesti tuotettu energia itse, sen sijaan että joutuu ostamaan sähköä verkosta päivinä, jolloin oma tuotanto ei ole riittävää, ja mahdollisesti myymään sitä halvalla pois aikoina, jolloin sitä ei tarvita niin paljon mitä tuotetaan. Tästä syystä on järkevää varastoida ylimääräinen energia paikallisesti ja käyttää sitä niinä päivinä, kun uusiutuvilla energioilla ei saadakaan tuotettua tarpeeksi energiaa alueen käyttötarpeisiin.

#### 3.3.1 Lämpöenergian varastointi

Lämpöenergiaa voidaan varastoida -40 celsiusasteesta yli 400 asteeseen termisenä, latenttisenä tai kemiallisena energiana. Termiseen energiaan perustuva varastointijärjestelmä käyttää varastointitankkeja, joissa on korkea eristysaste. Yleisin varastointiin käytettävä aine on vesi. Maanalaisissa isomman mittaluokan lämpövarastoissa voidaan käyttää sekä nestemäistä että kiinteää ainesta. Termiseen energiaan perustuvan lämpöenergian varastointijärjestelmän kapasiteetti on kuitenkin rajoitettu tiettyyn lämpöasteeseen.

Termokemiallinen varastointijärjestelmä voi tarjota korkeampaa varastointikapasiteettia kuin terminen lämpövarasto. Termokemiallisia reaktioita voidaan käyttää energian keräämiseen ja lämmön tai jäähdtyksen tarjoamiseen kysynnästä riippuen. Myös kosteutta voidaan säädellä eri applikaatioiden avulla. Tällä hetkellä kaupallisessa käytössä on kuitenkin lähinnä termisiä energijärjestelmiä, sillä muut järjestelmät ovat vielä kehitysasteessa.

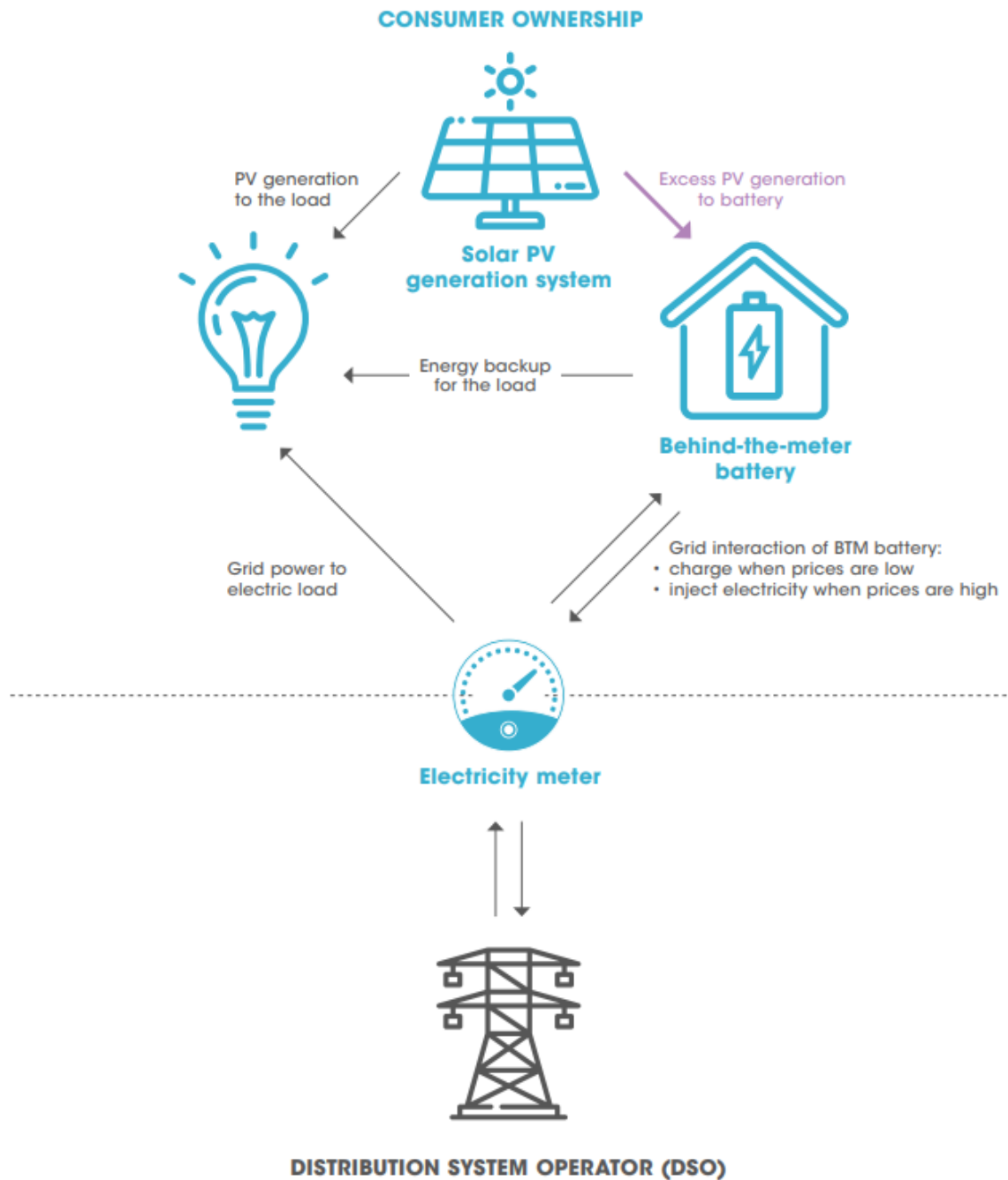
Lämpöenergiaa voidaan tyypillisesti varastoida uusiutuvista energialähteistä, hukkalämmöstä tai ylijäämäenergiantuotannosta, ja sillä voidaan korvata lämmön ja jäähdtyksen tuotanto fossiilisista energialähteistä, vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä ja alentaa energian ja lämmön huippukysyntää. Euroopassa on arvioitu että jopa 1,4 miljoonaa gigawattituntia voitaisi säästää vuosittain ja välttyä 400 miljoonalta tonnilta CO<sub>2</sub>-päästöjä rakennus- ja teollisuussektorilla lämmönvarastoinnin avulla. Toisaalta

lämmönvarastointiteknologian korkea hinta on yksi este sen pääsemiseksi laajemmin markkinoille. (IRENA 2013, 3–4)

### 3.3.2 Akut

Energianvarastointi akkuihin on tällä hetkellä käytössä pääasiassa isomman mittakaavan laitoksissa FTM-akkujen (in-front of the meter) muodossa. Kuluttajille, teollisuudelle ja kaupallisiin rakennuksiin suunnatut BTM-akut (behind-the-meter) ovat kuitenkin pikkuhiljaa lisääntymässä ja tarjoavatkin hyvän vaihtoehdon vaihtelevien uusiutuvien energianlähteiden (VRE), kuten aurinko- tai tuulienergian, integroimiseksi sähköverkkoon. BTM-akkujen avulla tuetaan paikallisesti uusiutuvan energian tuotantoa maksimoimalla siihen liittyvät tulot ja mahdollistamalla mahdollisimman suuren energiaosuuden käytön paikallisesti.

Kuluttajille luodaan myös mahdollisuus vähentää omaa energialaskuaan alueilla, joilla on käytössä ajalliset sähkötariffit, sillä halvempaa sähköä voidaan varastoida ja käyttää myöhemmin, kun sähkön hinta on korkeampi. Jos akku on yhdistetty aurinkopaneeliin, saadaan myös itse tuotetun energian käyttö maksimoitua, kun ylijäämäenergia voidaan sähköverkkoon myymisen sijaan varastoida omaa käyttöä varten. BTM-akkujen tarjoama energiavarasto voi myös tarjota jännite- ja taajuustukea järjestelmän ylläpitäjille, helpottaen eri uusiutuvien energialähteiden integroimista suuremmassa mittakaavassa sähköverkkoon. Tämän lisäksi akkujen käytöllä voidaan korvata traditionaalisia sähköverkon investointikuluja sähkönsiirrossa, jakelussa ja tuotannossa helpottamalla huippukulutuksen aiheuttamaa kuormaa järjestelmässä. Kuvassa 2 on yksinkertaistus BTM-akun käytöstä yhdessä aurinkopaneelin kanssa. (IRENA 2019a, 10.)



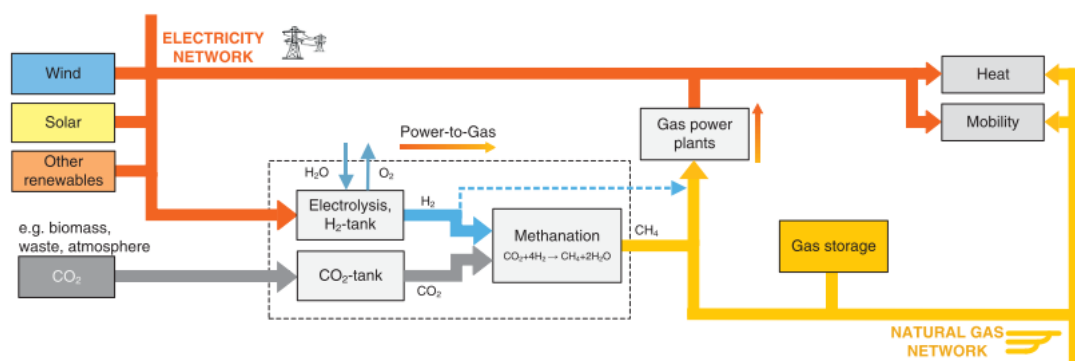
Kuva 2. Sähköverkkoon yhteydessä olevan BTM-akun konfiguraatio (IRENA 2019a, 7).

BTM-akkujen koko vaihtelee kolmesta kilowatista viiteen megawattiin. Tyypillisesti kuluttajien rakennuksiin liitettävät akut ovat kapasiteetiltaan 5–13,5 kWh. Kaupalliselle tai teolliselle rakennukselle kapasiteetti on yleensä 2–4 megawattitunnin luokkaa. (IRENA 2019a, 6)

FTM-akut ovat yhdistetty suoraan sähkönjakelu tai -siirtoverkkoon tai generaattorin yhteyteen. Niiden varastointikapasiteetti vaihtelee yleensä muutaman megawattitunnin paikkeilta useampaan sataan megawattituntiin. Sähköverkon kanssa sovelletuissa akuissa voidaan käyttää joko litium-ioni-, natriumrikki- tai lyijyhappoteknologiaa. Kuitenkin viime vuosina litium-ioniakkujen osuus markkinoilla on noussut huomattavasti muita teknologioita enemmän. (IRENA 2019b, 6)

### 3.3.3 Power-to-gas

Power-to-gas-teknologia (PtG) on yksi tärkeistä tasapainotusmetodeista uusiutuvien energioiden kanssa. Varsinkin kun pyritään pääsemään pisteeseen, jossa enemmistö energian tarjonnasta koostuu uusiutuvista energioista, on PtG lupaava vaihtoehto uusiutuvien energioiden tuomien haasteiden ratkaisemiseksi. Kuvassa 3 on selkeytettyä PtG-teknologian toiminta. Käytännössä tämä varastointimenetelmä yhdistää energia- ja polttoaine/kaasuverkostot muuntamalla energiaa kaasuksi. Tämä perustuu kahteen päävaiheeseen: vetyä tuotetaan vesielektrolyysin avulla ja sitä seuraava vetymolekyylin ( $H_2$ ) ja hiilidioksidin ( $CO_2$ ) muuntaminen metaaniksi ( $CH_4$ ) Sabatier-reaktiossa. Näin uusiutuvaa sähköä voidaan varastoida luonnolliseen kaasuinfrastruktuuriin. Varastoitu kaasu on täten kestävä ja mukautuva energian kantaja, jota voidaan uudelleen muuttaa sähköksi joko lämmityksen ja jäähdytyksen tarpeisiin tai käyttää vaihtoehtoisena polttoaineena liikennesektorilla. (Jentsch ym. 2014, 255)



Kuva 3. Power-to-gas toimintaperiaate (Jentsch ym. 2014, 255).



### 3.4 Talojen älykäs ohjaus IoT-tekniikan avulla

IoT, eli esineiden internet, mahdollistaa lämpötilan, ilmastoinnin, valaistuksen, sisäänkäynnin, parkkeeraamisen, asumisen, hissien ja energian käytön hallitsemisen ja kontrolloimisen fasiliteeteissa joko paikan päällä tai etäisesti. IoT itsessään voidaan määrittellä suurena määränä datan lähetyspisteitä, jotka tuovat datan pilvipalveluun, jossa analytiikkaa voidaan soveltaa eri lopputulosten aikaansaamiseksi. IoT mahdollistaa monenlaiset sovellukset kytkettyjen laitteiden ja tietopohjaisten päätöksenteon tukijärjestelmien avulla. Näistä ehkäpä hyödyllisimmät tarjoavat ennustavaa tai ennaltaehkäisevää tietoa rakennuksesta tai sen toimintaparametreista kohdevyöhykkeen ulkopuolella.

Analytiikan avulla voidaan ymmärtää mitä rakennuksessa tapahtuu ja tehdä sen perusteella asianmukaisia korjauksia tilanteeseen ja tämä onkin todennäköisesti suurin etu Smart Building-tekniikan ja IoT:in yhdistämisessä. Näin mahdollistetaan nopeat ratkaisut ongelmiin ja voidaan jopa toteuttaa ennaltaehkäiseviä toimenpiteitä ongelmien ratkaisemiseksi jo ennen niiden ilmenemistä. IoT kykenee myös hälyttämään operaattoreita muutoksista, jotka indikoivat potentiaalisesta ongelmasta jo ennen kuin järjestelmään tulee häiriöitä. Tämän avulla teknikot voivat tehdä korjauksia tai säätöjä etukäteen, eikä vasta sitten kun esimerkiksi asukas ilmoittaa ongelmasta. IoT-tekniikan sovellutuksella rakennuksiin pyritään ensisijaisesti vähentämään kuluja ja riskejä sekä parantamaan käyttäjäkokemusta. Toisin sanoen pääasiassa pyritään parantamaan rakennuksen taloudellista kompetenssia.

IoT-tekniikan hyödyntämisen kannalta on tärkeää valita sille sopiva laitteisto ja tekniikka, joka tukee operaattorin ja käyttäjän päämääriä. Tarvitaan myös ihmisiä, jotka osaavat soveltaa ja käyttää kyseistä tekniikkaa tehokkaasti. Yksi hyödyistä on järjestelmän hallinnan joustavuus esimerkiksi langattomasti puhelimen tai tabletin avulla. Rakennuksen käyttäjille voidaan myös tarjota pääsy esimerkiksi lämpötilan ja valaistuksen säätelyyn. Näitä varten tarvitaan lukemattomia sensoripisteitä sekä mekaanisia systeemejä, ja onkin helpompaa implementoida näitä uusiin rakennuksiin kuin saneerauskohteisiin. Haastavaa IoT-tekniikan hyödyntämiseksi tekee se, että kaikki mahdolliset viiteryhmät on saatava samalle sivulle tulevista sovellutuksista, sillä jos yhden osan epäonnistunut asennus koko systeemiin voi tehdä useammankin toimintahäiriön rakennukseen.

Luonnollisesti IoT tarvitsee palomuureja, tiedonsalausta, sekä auktorisointia ja todennusprotokollia verkkoturvallisuuden varmistamiseksi. Yhteistyö ja luottamus integraattorin, fasiliteetin käyttäjähenkilöiden sekä IT-henkilöstön välillä on myös tärkeää jo suunnittelun alkuvaiheessa, jotta saadaan sovittua standardeista IoT-alustan integroimiseksi koko IT-infrastruktuuriin. (Walden 2016)

IoT-pohjaiset rakennuksen hallintaverkostot ovat myös edullisempia kuin normaalisti hyödynnetyt järjestelmät. Buildings.com:in mukaan rakennuksen hallintajärjestelmä maksaa noin 250 000 USA:n dollaria, IoT-pohjaisen verkoston maksaessa sensoreineen 5000-50 000 USA:n dollaria.

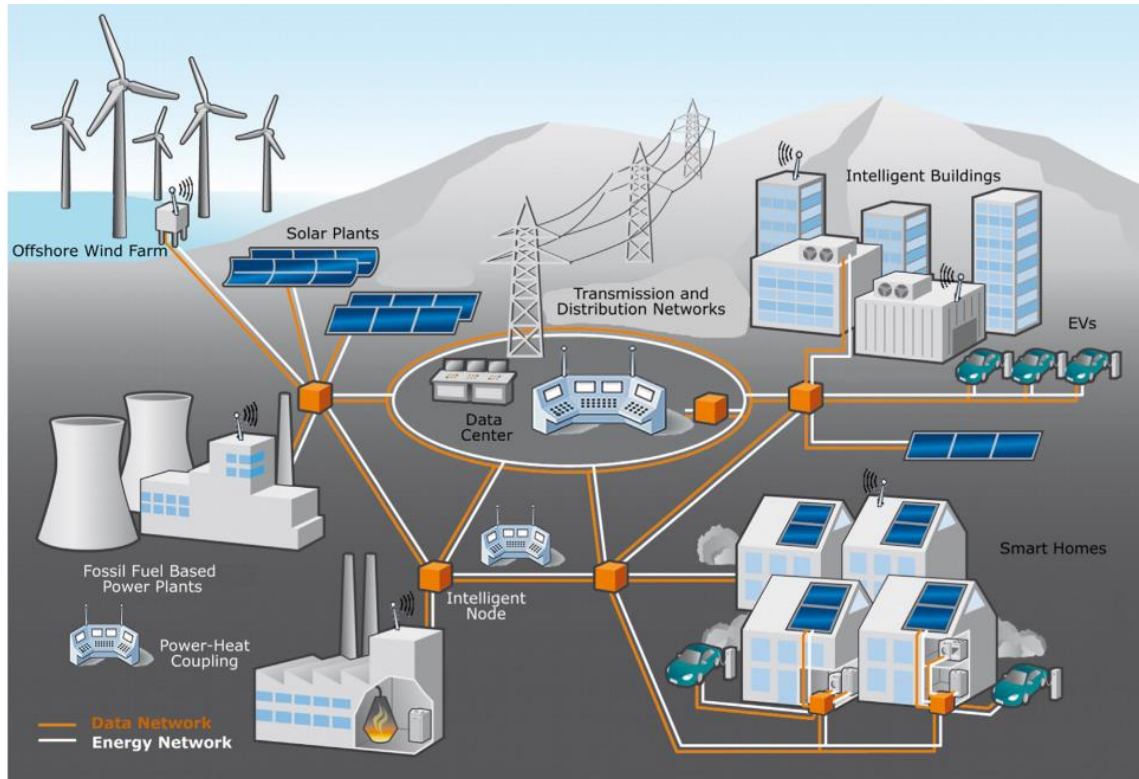
IoT-järjestelmän avulla voidaan säätää valotasoja ajan ja esimerkiksi ikkunoiden ja HVAC-järjestelmän mukaan. Sensoreiden avulla voidaan myös kohdentaa valoa vain sinne, missä on ihmisiä. Kehittyneitä HVAC-järjestelmiä voidaan yhdistää eri sensoreiden kanssa, jotka mahdollistavat nopean ja automaattisen säädön sääennusteiden, tilojen käytön ja tehottomien järjestelmien myötävaikutuksella.

Käytännössä energiaa saadaan kontrolloitua ja säästettyä aktivoimalla ja deaktivoimalla valoja, HVAC-järjestelmiä ja muita laitteita niiden välisen kommunikaation avulla. Myös tilojen käyttöön perustuvan sensoroinnin avulla saadaan lisättyä energiatehokkuutta, kun pystytään paljastamaan käyttämättömiin tiloihin turhaan kuluva energiamäärä. Asukkaiden ja tilojen käyttäjien käyttömukavuus paranee, kun saadaan säädettyä lämpötilaa ja seurattua esimerkiksi ilmankosteutta. (Digital Transformation Monitor Smart Building, 2017, 1–5)

### 3.5 Älykäs sähköverkko

Älykäs sähköverkko (Smart Grid, SG) eroaa normaalista sähköverkosta siten, että se hyödyntää digitaalitekniologiaa, joka taas mahdollistaa kaksisuuntaisen kommunikoinnin tuottajan ja sen asiakkaiden välillä. Tämän lisäksi älykäs sähköverkko hyödyntää sensoreita sähkönsiirtolinjoja pitkin. Internetin tavoin älykäs sähköverkko koostuu yhdessä toimivista kontrolleista, tietokoneista, automaatiosta sekä uusista teknologioista ja laitteista. Tässä tapauksessa nämä teknologiat työskentelevät sähköverkon kanssa, jotta voitaisiin digitaalisesti vastata nopeasti muuttuvaan sähköntarpeeseen. (The Department of Energy's Office of Electricity.) Älykkään sähköverkon kommunikointikomponentteihin voivat kuulua sekä kiinteä linja että langattomat menetelmät,

kuten sähkölinjakommunikaatio, IEEE 802.15.4 -protokollan mukaiset teknologiat ja/tai välittäjään perustuvat kontrollimekanismit (Kabalci 2016). Kuvassa 4 on havainnoillistettuna kaikki eri komponentit.



Kuva 4. Esitys älykkään sähköverkon kaikista komponenteista (Kabalci 2016).

Älykkään sähköverkon hyötyjä ovat muun muassa (The Department of Energy's Office of Electricity.)

- pienemmät operointi- ja hallinnointikulut sähkön tuottajille, joka näkyy lopulta matalampana sähkönhintana kuluttajille
- parempi kuluttajaomisteisten sähköntuotantojärjestelmien integrointi, mukaan lukien uusiutuvien energioiden järjestelmät
- lisääntynyt ison mittakaavan uusiutuvien energiasysteemien integrointi
- nopeampi sähkönpalautus häiriöiden jälkeen
- tehokkaampi sähkönsiirto
- vähentynyt huippukysyntä

- paranneltu turvallisuus.

Älykkään sähköverkon implementointi tuo lisää kestävyttä ja joustavuutta tämänhetkiseen sähkövoimajärjestelmäämme, sekä lisää sen valmiutta eri hätätilanteissa, kuten esimerkiksi myrskyissä. Kaksisuuntaisen vuorovaikutteisuuskapasiteetin ansiosta SG:it kykenevät automaattiseen uudelleenreititykseen laitteiston pettäessä tai katkosten ilmetessä. Tämä minimoi ylipäänsä katkosten esiintyvyyttä sekä niiden aiheuttamia vaikutuksia. SG-teknologia kykenee tunnistamaan ja eristämään katkoksia ja näin ollen myös ehkäisemään suuren mittakaavan sähkökatkoksia. Uusien teknologioiden avulla voidaan toisaalta hätätilanteessa ohjata sähköä ensisijaisesti sinne, missä sitä tarvitaan eniten.

SG käyttää myös enemmän hyödykseen kuluttajaomisteisia sähkögeneraattoreita aikoina, jolloin sitä ei jostain syystä ole saatavilla isommilta toimijoilta. Yhdistämällä näitä hajautettuja energiantuotantolähteitä, kommuunit kykenevät hätätilanteessa pitämään tärkeimmät laitoksensa toiminnassa, kuten esimerkiksi terveyskeskukset, poliisilaitokset, liikennevalot, ruokakaupat ja puhelinpalvelimet. Yksi isoimmista hyödyistä onkin järjestelmän luoma turva sähköntoimitukseen sen kannustaessa enenevässä määrin kodeissa tuotettuun energiaan, joka ei ole niin altis luonnonmullistuksille ja hyökkäyksille.

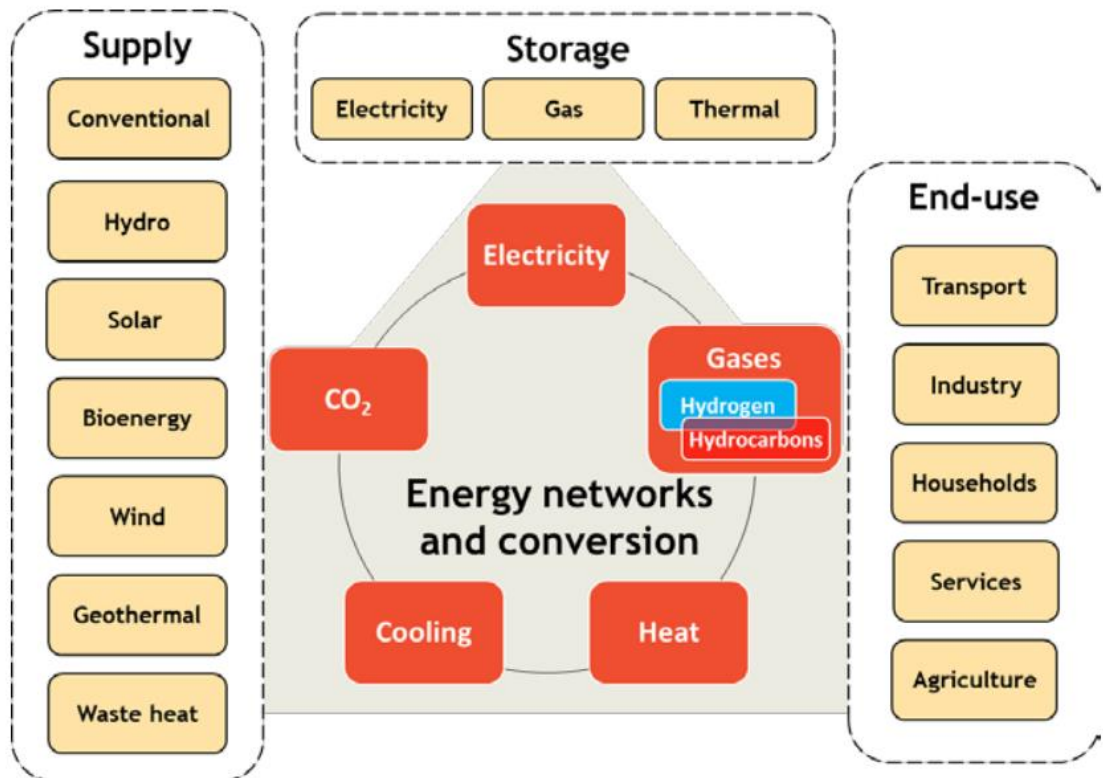
SG-systeemit sinällään mahdollistavat myös kuluttajan osallistamisen aivan eri tavalla kuin nykyinen sähköverkko. Esimerkiksi sähkönkulutuksen tiedostaminen onnistuu aivan uudella tavalla, kun kulutusta pystyy seuraamaan reaaliajassa. ”Smart meter”, eli niin sanottujen älykkäiden mittaus- ja muiden laitteistojen avulla voi saada selkeän kuvan energian kulutuksesta, sen hinnasta sekä käyttöajoista. Reaaliaikaisen hinnoittelun ansiosta kuluttajalla on myös mahdollisuus pyrkiä käyttämään vähemmän energiaa silloin kun se on kallista, ja näin säästää myös rahaa. (The Department of Energy's Office of Electricity.) Näin saadaan siis motivoitua energiankuluttajat kiinnostumaan enemmän energiankäytöstään, ja mahdollisesti myös vähentämään omaa kulutustaan.

### 3.6 Sector Coupling

Sector Couplingin alkuperäinen idea on lähtenyt liikkeelle energian loppukäytön sektoreiden sähköistämisestä. Näitä sähköistämisen kohteita ovat esimerkiksi lämmitys ja liikenne. Tarkoituksena on lisätä uusiutuvien energioiden osuutta näillä sektoreilla ja tarjota tasapainotuspalveluita energiasektorille. Sittenkin tämä käsite on laajentunut

myös tarjontasektorille. Tarjontasektori keskittyy energia- ja polttoaine/kaasuteknologian integroimiseen esimerkiksi power-to-gas (energiasta polttoaineeksi, PtG)-teknologian avulla. Sector coupling strategiana tarjoaa parempaa joustavuutta energiajärjestelmään, jotta dekarbonisaatio saadaan toteutettua kustannustehokkaammin.

Käsitteenä sector coupling on hyvin lähellä energiajärjestelmän integraatiota, joka on kuvattu energiajärjestelmien suunnittelun ja operoinnin koordinoinnin prosessina monien eri polkujen ja geologisten mittakaavojen kautta, jotta saataisiin toimitettua luotettavia ja kustannustehokkaita energiapalveluita mahdollisimman pienillä ympäristövaikutuksilla. Kuvassa 5 selkeytettyinä sector couplingin toimintaperiaate. Energiantarjonnassa on pääasiassa uusiutuvia energialähteitä, joita voidaan varastoida joko sähköksi, polttoaineeksi tai lämmöksi ja siitä siirtää loppukäyttäjälle kustannustehokkaasti.



Kuva 5. Sector coupling toimintaperiaate (van Nuffel ym. 2018, 9).

Keskeisin rooli sector couplingissa on kuitenkin loppukäytön sähköistämisellä, jotta saadaan luotua kustannustehokas energiajärjestelmän dekarbonisaatio, eli hiilineutraaliuteen pyrkivä tilanne. Energiantarjonta-sektorin integroinnilla voidaan kuitenkin edesauttaa tätä päämäärää ja samalla tarjota lisäjoustavuutta järjestelmään. (van Nuffel ym. 2018, 9.)

### 3.7 Tapaustutkimukset

#### 3.7.1 München- Smarter Together-projekti

Münchenin Lighthouse-demonstraatioalue on kaupungin läntisessä reunassa alueilla Neuaubing-Westkreuz ja Freiam. Alueiden on tarkoitus kehittyä vähähiiliseksi urbaaniseksi alueeksi 20 000 asukkaalle ja 7500 uudelle työpaikalle. Münchenin tavoitteena on leikata hiilipäästöjä yli 20 prosenttia, lisätä uusiutuvien energioiden kiintiötä yli 20 prosenttiin sekä parantaa energiatehokkuutta yli 20 prosentilla.

Münchenissa tullaan muun muassa kehittämään energiatehokkuutta rakennuksissa ja saneeraamaan ja kunnostamaan vanhoja sekä yksityis- että julkisomisteisia rakennuksia. Tähän sisältyy esimerkiksi 42 000 neliömetrin lattiapinta-alan korkealaatuinen kunnostus. Alueelle rakennetaan myös uusiutuviin energioihin, kuten maalämpöpumppuihin, perustuvaa kaukolämpöä.

Katuvalaistus tullaan toteuttamaan älyteknologialla muun muassa yhdistämällä katuvalaistus urbaaniin data-alustaan. Tämän avulla uusien palveluiden ja turvallisuuden pitäisi lisääntyä alueella. Myös energiankulutusta saadaan vähennettyä. Katuvalot tulevat tarjoamaan sensoreihin perustuvia innovatiivisia ratkaisuja valaistusinfrastruktuurin sisällä, kuten mukautuva valaistus, parkkeeraus, ilmainen WiFi ja niin edelleen.

Liikkumisen ja liikenteen aiheuttamia päästöjä vähennetään rakentamalla moninaisia liikkumisasemia e-liikkumisen lisäämiseksi. Nämä asemat tulevat myös toimimaan hyödykkeiden vaihto- ja toimituslaitoksina. Lisäksi München pyrkii lisäämään puhtaiden polttoaineiden ja niiden infrastruktuurin tarjontaa.

Lyhtypylväisiin tullaan integroimaan kaksi latausasemaa ja e-kulkuvälineiden sekä puhtaisiin polttoaineisiin perustuvien ajoneuvojen käytön helpottamiseksi sähköisiä kolmipyöriä ja kuormallisia sähköpyöriä tullaan lisäämään. Myös sähköautojen varausta lisätään ajoneuvojen jakamisteeman mukaisesti.

Kaupungin data-alusta tullaan päivittämään älyteknologiaan. Alustaa tullaan kontrolloimaan julkisen hallinnon avulla turvallisuuden ja laadun takaamiseksi. Tämä alusta vastaanottaa informaatiota esimerkiksi infrastruktuuriin asennetuilta sensoreilta ja ja kunnostettuihin älytaloihin integroiduilta sensoreilta. Tätä dataa voidaan taas

hyödyntää älypalvelujen kehittämisessä. Alueelle luodaan myös integroitua infrastruktuureita esimerkiksi datan hallinta-alustoille, älypalveluille, älylyhtypylvälle, paikallisille jakelukeskuksille, jakamistolouteen perustuvilla palveluilla ja sovelluksilla.

Müncheniin asennetaan 400 plug and play älykotiratkaisua ja -yhteyttä data-alustaan. Älykaupunki-sovellus antaa oikeudet palveluihin, joita on kehitetty tämän projektin aikana, ja tarjoaa palveluita, kuten todentamista ja maksu- ja pääsykontrollointia. Sovellus antaa myös henkilöiden tutkia heidän yksityistä dataansa ja verrata sitä muiden projektiin osallistujien keskiarvoon. (SCISb).

### 3.7.2 Stavanger- Triangulum-projekti

Stavanger on kaupunki Norjassa, joka toimii yhtenä Lighthouse-kaupungeista Triangulum-projektissa. Stavanger on asentanut uusiutuvan energialaitoksen kolmelle kunnalliselle hallintorakennukselle. Tämä energialaitos tuottaa lämpöä sekä jäähdytystä näille rakennuksille käyttämällä kaupungin viemärin jäte- ja sadevesistä saatua energiaa. 100 metrin tunneli on varustettu 108:lla viemärin kuivalämmönsiirtimellä.

Tämän järjestelmän hyötyjä on fossiilisten polttoaineiden ja kasvihuonekaasujen vähentäminen, uusiutuvien energioiden kiintiön lisääminen ja ilmanlaadun parantuminen. Suurimpia haasteita toteuttamisen kanssa oli putkistojen yhteys jätevesilaitokselta rakennukseen, sillä maasto oli erittäin kivistä ja asennuspisteille pääsy hankalaa.

Stavangerin yliopisto on kehittänyt Cloud Data Hubin informaation ja keräämiselle ja analysoinnille 23 projektikumppanilta Triangulum-projektista. Data-analytiikka työkalusetti mahdollistaa Triangulumin analysoinnin muiden osapuolien puolesta, sekä älykaupungin omiin käyttöihin. Tämän avulla saadaan paranneltua alueellisia palveluita ja mahdollistetaan Triangulumin tarjoamien ratkaisujen replikaatio muissa kohteissa. Suurin ongelma samaan aikaan julkis- ja yksityisomisteisen datan tarjoamisessa on näiden tasapainottaminen.

Rogalandin piirikunta tilasi kolme sähköbussia Alankomailta. Nämä sähköbussit ovat kulkeneet paikallisen julkisen liikenteen kuljetusyhtiö Kolumbuksen operoimina jo vuodesta 2017 saakka ja toimineet moitteettomasti. Bussien ulkonäköä koskien järjestettiin suunnittelukilpailu, johon kolme paikallista lukiota osallistui. Lopullinen päämäärä Rogalandin piirikunnalle on saavuttaa fossiilivapaa laivasto vuoteen 2025

mennessä. Tämän implementoinnin hyötyjä ovat uuden teknologian kenttäkokeet, monijärjestöllinen yhteistyö ja osallistuminen sekä empiiristen arvojen keräys hiilidioksidin vähennysmahdollisuuksista. Busseihin liittyvä suurin haaste oli löytää ratkaisu siihen, kun ne eivät toimi. (Triangulum.)



## 4 LOPUKSI

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarjota perusteellinen katsaus energiapositiivisiin alueisiin ja niiden edistämiseen. Yhtenä työn haasteista oli tiedon puute jo olemassa olevista toteutuksista tai tähän tietoon käsiksi pääseminen. Informaatiota joutui myös yhdistelemään todella paljon eri lähteistä, jotka eivät välttämättä itsessään käsitelleet energiapositiivisia alueita vaan ylipäänsä kestäväen kehityksen ja uusiutuvien energioiden soveltamista esimerkiksi kaupunkiympäristössä. Valmistuneita alueita on vain todella vähän, ja niistäkään saatava tieto ei ole välttämättä oleellista Suomen olosuhteiden kannalta. Useampikin Lighthouse-hankkeeseen kuuluva kaupunki myös toteuttaa eri teknologioiden implementointia pieni osa kerrallaan, ja hankkeiden lopullisessa valmistumisessa voi helposti kulua vuosikymmen tai jopa vuosikymmeniä. Täten iso osa saatavilla olevasta informaatiosta kattaa vain pieniä osia energiapositiivisuus-käsitteen kokonaisuudesta.

Energiapositiiviset alueet on myös käsitteenä jokseenkin laaja konsepti. Pelkästään älyteknologiaa käyttävät rakennukset ovat jo suhteellisen laaja osa kokonaisuutta, mutta huomioon tulisi ottaa myös eri tavat tuottaa energiaa paikallisesti ja päästöttömästi sekä infrastruktuuriin tarvittavat rakennemuutokset. Lisäksi ihmisten kouluttaminen tietoisiksi energiankuluttajiksi ja heidän osallistaminen toteutettaviin hankkeisiin sekä suunnitteluprosessi ja lainsäädännölliset puutteet vaatii erityistä huomiota. Infrastruktuurin osalta tulisi myös ottaa huomioon julkisen ja yksityisen liikenteen vaatimat muutokset sekä palveluiden keskittäminen turhan pitkän matkan liikenteen välttämiseksi. Useammassakin implementoinnista saatetaan keskittyä vain yhteen osaluueeseen koko infrastruktuurin kaipaamasta siirtymästä älyteknologiaan.

Työssä on onnistuttu selittämään energiapositiivisten alueiden merkitys kehittyvässä maailmassa ja varsinkin urbaanin ympäristön energiankulutuksen minimoimisen keinona. Aihe on kuitenkin rajattu niin, että tärkeimmistä teknologioista ja ratkaisuista on kerrottu vain kaikkein oleellisin tieto, yksityiskohtaisiin integroimismenetelmiin sen enempiä puuttumatta. Infrastruktuurin vaatimia ratkaisuja on myös käsitelty lähinnä sähkö- ja lämpöverkoston uusien teknologioiden kautta.

## LÄHTEET

Aelenei, L.; Aeleinei, D.; Gonçalves, H.; Lollini, R.; Musall, E.; Scognamiglio, A.; Cubi, E. & Noguchi, M. 2012. DESIGN ISSUES FOR NET-ZERO BUILDINGS.

Ala-Juusela, M.; Crosbie, T. & Hukkalainen, M. 2016. Defining and operationalising the concept of an energy positive neighbourhood.

Alpagut, B.; Akyürek, Ö. & Mitre, E. M. 2019. Positive Energy Districts Methodology and Its Replication Potential.

Annunziata, E.; Frey, M. & Rizzi, F. 2013. Towards nearly zero-energy buildings: The state-of-art of national regulations in Europe.

Cambridge Dictionary. Viitattu: 8.5.2020.  
Available at: [dictionary.cambridge.org](https://dictionary.cambridge.org)

Cole, R. J. 2015. Net-zero and net-positive design: a question of value. Building Research & Information.

EIPSCC 2020. Smart City Lighthouse Projects. Viitattu 8.5.2020.  
Saatavilla osoitteessa: <https://eu-smartcities.eu/projects/1972/description>

European Commission's Directorates-General for Research and Innovation, J. R. C. 2018. SET-Plan ACTION n°3.2 Implementation Plan.

Gollner, C. 2019. PEDs for sustainable urbanization. JPI Urban Europe. Viitattu 31.5.2020.  
Saatavilla osoitteessa: <https://jpi-urbaneurope.eu/news/peds-for-sustainable-urbanization/>

Haarstad, H. & Wathne, M. W. 2018. Smart cities as strategic actors: Insights from EU Lighthouse projects in Stavanger, Stockholm, and Nottingham.

IRENA 2013. Thermal Energy Storage. International Renewable Energy Agency.

IRENA 2017. Geothermal Power: Technology Brief. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA 2019a. Innovation landscape brief: Behind-the-meter batteries. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA 2019b. Innovation landscape brief: Utility-scale batteries. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency.

IRENA. Viitattu 26.5.2020.  
Saatavilla osoitteessa: <https://www.irena.org/geothermal>

Jentsch, M.; Trost, T. & Sterner, M. 2014. Optimal Use of Power-to-Gas Energy Storage Systems in an 85 % Renewable Energy Scenario. 8th International Renewable Energy Storage Conference and Exhibition, IRES 2013.

JPI Urban Europe. Positive Energy Districts (PED). Viitattu 24.5.2020.  
Saatavilla osoitteessa: <https://jpi-urbaneurope.eu/ped/>

Kabalci, Y. 2016. A survey on smart metering and smart grid communication. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Kalkbrenner, B. J. & Roosen, J. 2016. Citizens' willingness to participate in local renewable energy projects: The role of community and trust in Germany. Energy Research & Social Science.

Kivimaa, P.; Kangas, H.; Lazarevic, D.; Lukkarinen, J.; Åkerman, M.; Halonen, M & Nieminen, M. 2019. Transition towards zero energy buildings. Helsinki: Finnish Environment Institute.

Knieling, J. & Lange, K. 2019. Smart City Governance in Practice – the Example of mySMARTLife Project in Hamburg.

Li, D. H.; Yang, L. & Lam, J. C. 2013. Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. Energy.

Lund, H.; Marszal, A. & Heiselberg, P. 2014. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy.

Making City, 2020. THE MAKING-CITY PROJECT. Viitattu 8.5.2020. Saatavilla osoitteessa: <http://makingcity.eu/the-project/>

Digital Transformation Monitor 2017. Smart Building. Euroopan komissio.

Monti, A.; Pesch, D.; Keith, E. A. & Mancarella, P. 2017. Energy Positive Neighborhoods and Smart Energy Districts: Methods, Tools and Experiences from the Field. Elsevier.

Nuffel, L. v.; Dedecca, J. G.; Smit, T. & Rademaekers, K. 2018. Sector coupling: how can it be enhanced in the EU to foster grid stability and decarbonise? European Parliament.

Nzengue, Y.; du Boishamon, A.; Laffont-Eloire, K.;Partenay, V.; Abdelouadoud, Y.; Zambelli, P.; D'Alonso, V.& Vaccaro, R. 2017. Planning City Refurbishment: an Exploratory Study at District Scale. Engineering, technology & innovation management beyond 2020: new challenges, new approaches. IEEE.

Panão, M. J. N. O.; Rebelo, M. P. & Camelo, S. M. L. 2013. How low should be the energy required by a nearly Zero-Energy Building? The load/generation energy balance of Mediterranean housing. Energy and Buildings.

Pikas, E.; Thalfeldt, M. & Kurnitski, J. 2014. Cost optimal and nearly zero energy building solutions for office buildings. Energy and Buildings.

Ristimäki, M.; Säynäjoki, A.; Heinonen, J. & Junnila, S. 2013. Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. Energy.

Rousselot, M., 2018. Energy efficiency trends in buildings. Odyssee-Mure.

SCIS 2019. SCIS Brochure.

SCISa. Smart Cities and Communities Lighthouse projects. Viitattu 31.5.2020. Saatavilla osoitteessa: <https://smartcities-infosystem.eu/scc-lighthouse-projects>

SCISb. EU Smart Cities Information System. Viitattu 26.5.2020. Saatavilla osoitteessa: <https://smartcities-infosystem.eu/scis-projects/demo-sites/smarter-together-site-munich>

SCIS 2020. Smart Cities Information System. Viitattu 8.5.2020. Saatavilla soitteessa: <https://smartcities-infosystem.eu/sites-projects/projects/making-city>

Seyam, S. 2018. Types of HVAC Systems. HVAC System. IntechOpen.

Sharing Cities. Viitattu 10.5.2020. Saatavilla osoitteessa: <http://www.sharingcities.eu/sharingcities/about>

Sinfonia 2020. Sinfonia. Viitattu 9.5.2020. Saatavilla osoitteessa: <http://www.sinfonia-smartcities.eu/en/project>

- SmartGrid.gov. Viitattu 23.5.2020.  
Saataavilla osoitteessa: [https://www.smartgrid.gov/the\\_smart\\_grid/smart\\_grid.html](https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html)
- Stardust 2020. Stardust project. Viitattu 10.5.2020.  
Saataavilla osoitteessa: <https://stardustproject.eu/>
- Triangulum. INTEGRATED SOLUTIONS FOR SMART CITIES
- Triangulum 2020. Triangulum-project. Viitattu 10.5.2020.  
Saataavilla osoitteessa: [https://www.triangulum-project.eu/?page\\_id=82](https://www.triangulum-project.eu/?page_id=82)
- Walden, L. 2016. Applying the 'Internet of Things' to Create Smart Buildings. Viitattu 23.5.2020.  
Saataavilla osoitteessa: <https://www.contractingbusiness.com/commercial-hvac/article/20868312/applying-the-internet-of-things-to-create-smart-buildings>
- Walker, G.; Devine-Wright, P.; Hunter, S.; High, H. & Evans, B. 2010. Trust and community: Exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy. Elsevier Ltd.
- Waste heat. Interreg. Viitattu: 25.5.2020.  
Saataavilla osoitteessa: <https://www.waste-heat.eu/about-waste-heat>

## Taulukko Horizon 2020 Lighthouse-hankkeista

Lähteet: Rauli Lautkankare &amp; SCISa

Horizon 2020 Lighthouse-hankkeet					
Hanke	Aloituvuosi	Lighthouse	Fellow/ Follower	Lighthouse- kaupungit	Fellow/Follower- kaupungit
Remo Urban	2015	3	2	Valladolid, Nottingham & Tepebasi	Seraing & Miskolc
GrowSmarter	2015	3	5	Stockholm, Cologne & Barcelona	Valletta, Suceava, Porto, Cork & Graz
Triangulum	2015	3	4	Stavanger, Eindhoven & Manchester	Tianjin, Prague, Leipzig & Sabadell
Smarter Together	2015	3	3	Vienna, Munich & Lyon	Santiago de Compostela, Sofia & Venice
Replicate	2015	3	4	San Sebastia, Florence & Bristol	Essen, Nilufer & Lausanne
Sharing Cities	2015	3	3	Lisbon, London & Milan	Bordeaux, Burgas & Warsaw
SmartEnCity	2016	3	2	Vitoria-Gasteiz, Tartu & Sonderborg	Lecce & Asenovgrad
mySMARTLife	2016	3	3	Nantes, <b>Helsinki</b> & Hamburg	Bydgoszcz, Rijeka & Palencia
Ruggedised	2017	3	3	Rotterdam, Glasgow & Umeå	Brno, Gdansk & Parma
IRIS	2017	3	4	Utrecht, Nice & Gothenburg	<b>Vaasa</b> , Alexandroupolis, Santa Cruz de Tenerife & Focsani
Stardust	2017	3	4	Pamplona, <b>Tampere</b> & Trento	Cluj-Napoca, Derry, Kozani & Litoměřice
MAatchUP	2017	3	4	Antalya, Dresden & Valencia	Herzliya, <b>Kerava</b> , Ostend & Skopje
+CityxChange	2018	2	6	Trondheim & Limerick	Alba, Iulia, Pisek, Sestao, Smolyan & Voru
MAKING-CITY	2018	2	6	Groningen & <b>Oulu</b>	Bassano del Grappa, Kadiköy, León, Lublin, Poprad & Vidin
Atelier	2019	2	6	Amsterdam & Bilbao	Bratislava, Budapest, Copenhagen, Krakow, Matosinhos & Riga
Sparcs	2019	2	5	<b>Espoo</b> & Leipzig	Reykjavik, Maia, Kladno, Lviv & Kifissia
POCITYF	2019	2	6	Evora & Alkmaar	Granada, Bari, Celje, Ujpest, Ioannina & Hvidovre
RESPONSE	2020	2	6	<b>Turku</b> & Dijon	Zaragoza, Brussels, Gabrovo, Ptolemaida, Botosani & Severodonetsk
<b>18</b>		<b>48</b>	<b>76</b>		