



**TURUN
YLIOPISTO**

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Kestävän energiantuotannon haasteet Singaporessa

Maantiede
LuK-tutkielma

Iida Grönroos

13.4.2026

Turku

Turun yliopiston laatu järjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu

Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Pääaine: Maantiede

Tekijä: Iida Grönroos

Otsikko: Kestävän energiantuotannon haasteet Singaporessa

Ohjaaja: KTT Päivi Oinas

Sivumäärä: 35 sivua

Päivämäärä: 13.4.2026

Kestävän kehityksen edistäminen ja siihen liittyvä energiantuotannon päästöjen vähentäminen ovat keskeisiä tavoitteita ilmastonmuutoksen hillinnässä, sillä energiasektori tuottaa toistaiseksi valtaosan kasvihuonekaasupäästöistä. Maailmanlaajuisesti uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinko- ja tuulivoiman, käyttö on lisääntynyt, mutta siirtymä näihin on kuitenkin edelleen haastavaa fossiilisista polttoaineista riippuvaisissa maissa.

Singapore on hyvä esimerkki tiiviisti rakennetusta kaupunkivaltiosta, jossa tilanpuute, ilmasto ja luonnonvarojen vähäisyys rajoittavat kestäväää energiantuotantoa. Singapore on edelleen hyvin riippuvainen naapurimaidensa energiantuotannosta, joka on pääosin fossiilisilla polttoaineilla tuotettua. Aurinkoenergia on kaupunkivaltion potentiaalisin uusiutuvan energian vaihtoehto, mutta myös siihen liittyy tilan ja sääolosuhteiden tuomia haasteita. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää Singaporen kestäväää energiantuotantoon siirtymisen haasteita sekä ottaa selvää mahdollisista ratkaisuista, joiden avulla maa pystyy siirtymään kohti kestäväämpää energiantuotantoa.

Tutkielmassa hyödynnetään pääasiassa kirjallisia lähteitä sekä sisällönanalyysejä. Lisäksi tutkimuksessa käytetään joitakin tilastollisia aineistoja, kuten Maailmanpankin tilastoja ja MarketLinen toimialaprofiilia. Lähteet koostuvat useista tieteellisistä artikkeleista, sekä Singaporen valtionhallinnon tuottamista teksteistä ja raporteista. Aineistoissa käsitellään maan nykytilannetta ja tulevaisuuden tavoitteita kestäväää energiantuotannon suhteen.

Tutkimustulokset kertovat Singaporella olevan paljon haasteita kestäväää energiantuotantoon siirtymisessä, pääosin keskittyen alueen tilanpuutteeseen, maantieteelliseen sijaintiin ja uusiutuvien luonnonvarojen vähäisyyteen. Singapore on haasteistaan huolimatta kehittänyt erilaisia kestäväää kehityksen hankkeita kuten vedenpäällisiä aurinkopaneelipuistoja, joiden avulla pyritään tekemään maan energiantuotannosta kestäväämpää ja omavaraisempaa.

Singapore ei pääse vielä lähitulevaisuudessa täysin omavaraiseksi tai päästöttömäksi energiantuottajaksi, mutta kansainvälisen yhteistyön ja uusien teknologisten innovaatioiden avulla kestäväää energiantuotantoa pystytään jatkuvasti kehittämään. Singapore on asettanut korkeat tavoitteet hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi ja pyrkii päättäväisesti kohti kestäväämpää tulevaisuutta yhteistyössä naapurimaidensa kanssa.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	5
2	Tutkimuksen tausta	8
2.1	Energian maantiede: alueelliset ulottuvuudet ja globaalit vaikutussuhteet	8
2.2	Singapore tutkimuskohteena	10
2.3	Kestävä kehitys ja energiantuotanto	12
2.4	Uusiutuvat energialähteet	13
2.5	Tulevaisuuden tavoitteita - Green Plan 2030	15
3	Aineistot ja menetelmät	17
3.1	Kirjalliset aineistot pääosassa	17
3.2	Analyysimenetelmä – kirjallisuuskatsaus	18
4	Tulokset	19
4.1	Energiantuotanto Singaporessa	19
4.2	Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen	20
4.3	Haasteet kestäväan energiantuotantoon siirtymisessä	21
4.4	Tilan ongelmat	23
4.5	Ratkaisuja haasteisiin	24
4.5.1	Aurinkovoima	24
4.5.2	Muita mahdollisuuksia	28
5	Keskustelu ja johtopäätökset	30
	Lähteet	33

1 Johdanto

Kestävä kehitys, ilmastonmuutos ja kasvihuonekaasupäästöt ovat keskustelluimpia aiheita nyky-yhteiskunnassa. Suurin osa kasvihuonekaasupäästöistä tulee energiasektorilta, esimerkiksi kaupunkien lämmityksestä. Energiantuotanto oli vuonna 2023 suurin päästöjen lähde maailmassa ja uusiutumattomat, fossiiliset polttoaineet tuottivat lähes 60 % koko energiantuotannosta (United Nations s.a.). On tutkittu, että ilmastonmuutoksen pahimpien uhkakuvien estämiseksi päästöjä on rajoitettava melkein puolella vuoteen 2030 mennessä, ja tavoittaa nettonollapäästöt vuoteen 2050 mennessä. Jotta näihin tavoitteisiin päästään, pitäisi energiantuotannossa tapahtua paljon muutoksia kestävämpään suuntaan, mikä onnistuu hyödyntämällä uusiutuvia energianlähteitä.

Aurinkovoiman, tuulen, veden, orgaanisen jätteen ja maan lämmön hyödyntäminen ovat avainasemassa siirryttäessä kohti kestävämpää sähköntuotantoa. Ne ovat uusiutuvia ja tuottavat vain vähän tai ei ollenkaan päästöjä, joiden avulla pystytään tuottamaan suuriakin määriä energiaa. Aurinko- ja tuulivoima ovatkin nopeinten kasvavia sähköntuotannon lähteitä maailmassa (Cambridge Institute for Sustainability Leadership 2024). Uusiutuvia energiavaroja hyödynnetään siis sähköntuotannossa jatkuvasti enemmän. Vuosina 2015–2024 uusiutuvan energian sähköntuotantokapasiteetti kasvoi 140 % eli jopa noin 2 600 gigawattia (United Nations s.a.). Niistä pyritään myös teknologian kehittymisen takia tekemään jatkuvasti toimivimpia, halvempia ja tehokkaampia energiantuotantovälineitä (Cambridge Institute for Sustainability Leadership 2024).

Fossiilisten polttoaineiden vähentäminen on haasteellista etenkin maissa, jotka ovat hyvin riippuvaisia hiilestä. Maantieteelliset olosuhteet ja sosiopoliittiset tekijät vaikuttavat suuresti siirtymään kohti kestävämpää energiantuotantoa, ja monet maat kohtaavat siinä paljon haasteita (Cambridge Institute for Sustainability Leadership 2024). Tämän vuoksi kestävässä siirtymässä kansainvälinen yhteistyö ja määrätietoinen toiminta ovat äärimmäisen tärkeitä kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Uusiutuvien energialähteiden saatavuutta tulee edistää kansainvälisen koordinaation

avulla, jotta kaikki saavat tasavertaiset mahdollisuudet niiden käyttöönottoon. Jokaisen maan oma kotimainen politiikka on myös tärkeää, jotta uusiutuvien energiahankkeiden käyttöönottoa voidaan edistää ja nopeuttaa. Poliitikalla voidaan mahdollistaa esimerkiksi tukia yrityksille kestävämpään energiantuotantoon siirtymisen avustamiseksi ja poistaa turhia lupaprosesseja uusien hankkeiden suunnittelussa. Lisäksi uusiutuva energiasektori vaatii investointeja, jotta tutkimusta voidaan edistää ja kehittää sujuvammaksi. Kestävään energiantuotantoon siirtyminen tarvitsee siis kaikkien osapuolien globaalia yhteistyötä ja motivaatiota edistää kestävää kehitystä (Cambridge Institute for Sustainability Leadership 2024).

Kaupungit kohtaavat monia ongelmia liittyen kestävään energiantuotantoon. Usein tila, väestötiheys, ja maantieteellinen sijainti tuovat haasteita uusiutuvien energiavaihtoehtojen käyttöönottoon. Kaupungit kuluttavat kuitenkin yli kaksi kolmasosaa maailman energiavaroista, joten ne ovat keskeisessä asemassa kestävyys siirtymän toteutumisessa. (UNEP s.a.). Singapore on pieni kaupunkivaltio Kaakkois-Aasiassa, jossa on rajallinen määrä luonnonvaroja ja kestäviä energialähteitä. Singaporessa energiansaanti perustuu tällä hetkellä tuontiin naapurimaista (NCCS s.a.). Maalla on monia haasteita tuottaa itse puhdasta energiaa, sillä monet ympäristöystävälliset energiantuotantotavat eivät ole siellä mahdollisia. Pieni maa-ala, korkea väestötiheys ja maankäytön rajoitukset tuovat lisää haasteita siirtymässä kestävään energiantuotantoon (Quek ym. 2018). Singapore on kuitenkin monella tapaa edistyksellinen esimerkiksi infrastruktuurin ja teknologian kehityksen suhteen, ja sen määrätietoinen suhtautuminen kestäväan energian lisäämiseen edesauttaa tavoitteiden saavuttamista.

Tutkimuskohteeksi valikoitui Singaporen sen omalaatuisuuden vuoksi. Singapore on vauras kaupunkivaltio keskellä köyhempää Kaakkois-Aasiaa, se on tärkeä logistinen solmukohta ja maailmanlaajuinen innovaatiokeskus, sekä myös monella tapaa tulevaisuuden kaupunkien edelläkävijä. Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää kestävään energiantuotantoon siirtymisen haasteita Singaporessa. Tutkimuksessa pyritään tutkimaan kaupungin ongelmakohtia kestäväan energiantuotannon lisäämisessä esimerkiksi kaupunkitilan, resurssien ja maantieteellisen sijainnin näkökulmasta.

Tutkimuksessa pyritään myös löytämään ratkaisuja näihin ongelmakohtiin sekä ottaa selvää mahdollisista ratkaisuista.

Tutkimuskysymykset tässä tutkimuksessa ovat seuraavat:

1. Millaisia haasteita Singaporessa on kestävään energiantuotantoon siirtymisessä ja mistä nämä haasteet johtuvat?
2. Millaisia ratkaisuja näihin haasteisiin on kehitetty tai voidaan kehittää?

Tutkimuksessa hyödynnetään pääosin erilaisia kirjallisia lähteitä aiheesta, tämän takia käytetty tutkimusmenetelmä on pääosin laadullista kirjallisuusanalyysiä. Tutkimus keskittyy etenkin aiheeseen liittyviin tieteellisiin artikkeleihin. Tärkeitä lähteitä ovat myös Singaporen valtion ja yksityisten toimijoiden tuottamat aineistot sekä kirjalliset raportit, etenkin tutkimuskysymykseen 2. vastatessa. Tutkielmassa vastataan tutkimuskysymyksiin aikaisemman tutkimuksen sekä Singaporen valtion tuottamien aineistojen perusteella.

2 Tutkimuksen tausta

2.1 Energian maantiede: alueelliset ulottuvuudet ja globaalit vaikutussuhteet

Maantieteessä tutkitaan eri energijärjestelmien tilallisia ulottuvuuksia, kuten infrastruktuurin jakautumista, resurssien sijaintia ja energian kulutusta eri alueilla. Energia ja sen tuottaminen on tilallinen ja sosiaalisesti rakentunut ilmiö, jossa tulee huomioida teknisen ja taloudellisen puolen lisäksi myös sijainnin ja sosiaalisten ulottuvuuksien merkitykset. Energian tuotanto, jakelu ja käyttö ovat tiukasti yhteydessä paikalliseen ympäristöön ja yhteisöön. Maantieteessä käytetyt peruskäsitteet, kuten tila, paikka, aika, alue, verkostot ja hierarkiat ovat myös energiantuotannon näkökulmasta merkittäviä käsitteitä, jonka takia energiaa ja maantiedettä voi tutkia samoista näkökulmista (Neog 2026: 116–125).

Energia, sen tuotanto ja lähteet ovat tiukasti sidottuja globaaliin tilan ja paikan käsitteeseen. Fossiilisten polttoaineiden ja uusiutuvien energialähteiden epätasainen maantieteellinen jakautuneisuus vaikuttaa globaaleihin geopoliittisiin suhteisiin, maiden talouteen ja ympäristöihin. Tämän vuoksi maantieteellinen näkökulma on erittäin tärkeää ottaa huomioon energiantuotannon kehittämisessä. Uusiutuvan energian kehittäminen on sidoksissa geopolitiikkaan ja resurssien alueelliseen jakautumiseen. Muun muassa öljyn alueellinen jakautuneisuus muodostaa erilaisia globaaleja verkostoja ja valtasuhteita, joka nostaa esiin myös oikeudenmukaisuuden epäkohtia (Neog 2026: 116).

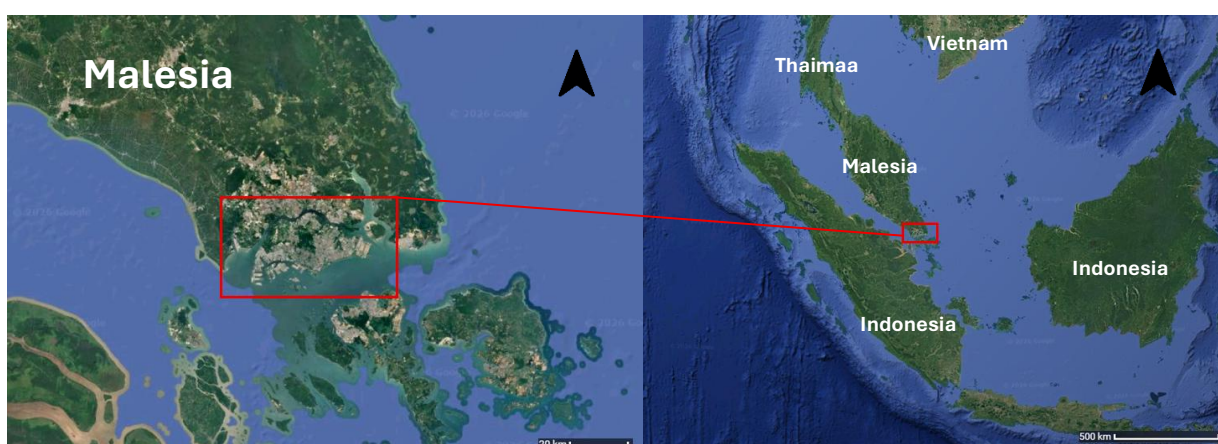
Uusiutuvien energialähteiden saatavuus ja jakautuminen on globaalisti epätasaista, joka aiheuttaa ristiriitoja maiden välille. Tällä hetkellä uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoa ohjaa pääasiassa niiden maantieteellinen sijainti, joka luo epäoikeudenmukaisia verkostoja globaaliin kehitykseen. Toisaalta uusiutuvat energialähteet toimivat globaalin vallan muuttajina vähentämällä fossiilisten polttoaineiden merkitystä kansainvälisessä geopoliittisessa muutoksessa. Eri alueiden energiapolitiikoilla pystytään myös vaikuttamaan globaaliin kehitykseen ja poliittisiin jännitteisiin (Neog 2026: 116–125).

Kaupunkien kehitys on vahvasti riippuvainen energiantuotannosta. Energian kulutus lisääntyy jatkuvasti keskittyen etenkin kulutuksen keskuksiin eli kaupunkeihin (Huhtinen 2024). Usein kaupungin energiantuotanto lähtee liikkeelle kaukana kaupungista, mikä korostaa alueellisten tekijöiden ja energian virtauksien merkitystä energiantuotannossa. Energian liikkuvuus nyky-yhteiskunnassa kattaa globaalit virtaukset, jotka yhdistävät kaupunkeja ja syrjäseutuja, ja näin ollen muovaa alueiden välisiä energiayhteyksiä ja riippuvaisuuksia. Energia ei liiku vain paikallisesti, vaan siihen vaikuttavat globaalit markkinat ja poliittiset päätöksenteot, mikä lisää energian maantieteen monimutkaista merkitystä (Huhtinen 2024). Tuulivoima ja muut uusiutuvan energian muodot keskittyvät yhä enemmän alueille, joita säädellään paikallisesti ja kansainvälisesti eri sääntöjen ja lakien avulla. Nämä hallintomekanismit vaikuttavat energian jakeluun ja alueiden välisiin suhteisiin. Energian virtaukset muokkaavat myös alueiden hallinnollisia rajoja, eikä energia pysy enää vain paikallisena resurssina. Se on kehittynyt globaalilla tasolla arvoksi, joka vaikuttaa alueiden ja yhteisöiden identiteettiin ja itsenäisyyteen (Huhtinen 2024).

Maantiede ja energiantuotanto ovat siis kytkeytyneet toisiinsa useasta eri näkökulmasta tarkasteltuna. Etenkin energijärjestelmien alueellisuus ja jakautuneisuuden eriarvioisuus ovat geopolittisesti merkittäviä näkökulmia energian ja maantieteen yhteyksiä tutkiessa. Energia on sidoksissa maantieteellisiin käsitteisiin, kuten resurssien jakautumiseen, infrastruktuurin sijaintiin ja globaaleihin voimasuhteisiin. Myös valta, alueellisuus, tilan merkitys ja oikeudenmukaisuus ovat keskeisiä energiapolitiikan kulmakiviä, jotka ovat myös tärkeitä maantieteen aihealueita. Energian maantieteellistä ymmärrystä voidaan tutkia näiden käsitteiden avulla (Neog 2026: 116–125). Energian liikkuvuuteen liittyy myös kritiikkiä, esimerkiksi riskejä erilaisten toimijoiden muodostumiseen ja hajanaisen infrastruktuurin syntyyn, jotka voivat vaikuttaa kaupunkirakenteiden ja hallintojen hahmottamiseen (Huhtinen 2024). Energia on ilmiönä siis hyvin monimutkainen, ja se vaatii sääntöjä ja poliittisia määräyksiä toimiakseen globaalilla tasolla tasavertaisesti. Energia on siis hyvin laaja, monitieteinen ja yhteiskunnallinen ilmiö, jossa maantiede ja alueellisuus ovat tärkeässä osassa sen kokonaisvaltaista käsittelyä (Neog 2026: 116–125).

2.2 Singapore tutkimuskohteena

Singapore on Kaakkois-Aasiassa sijaitseva kaupunkivaltio, joka on saari Malesian ja Indonesian välissä (Kuva 1). Singapore koostuu noin 60 pienemmästä saaresta sekä suuremmasta pääsaaresta Pulau Ujongista (Central Intelligence Agency 2026). Maalla on yhteensä 193 km rantaviivaa. Valtio koostuu pääosin rakennetusta ympäristöstä, vain noin 23 % maan pinta-alasta on metsää tai peltoa. Maa on kokonaisuudessaan myös hyvin tasainen, sen korkein kohta Bukit Timah on vain 166 metriä korkea (Central Intelligence Agency 2026).

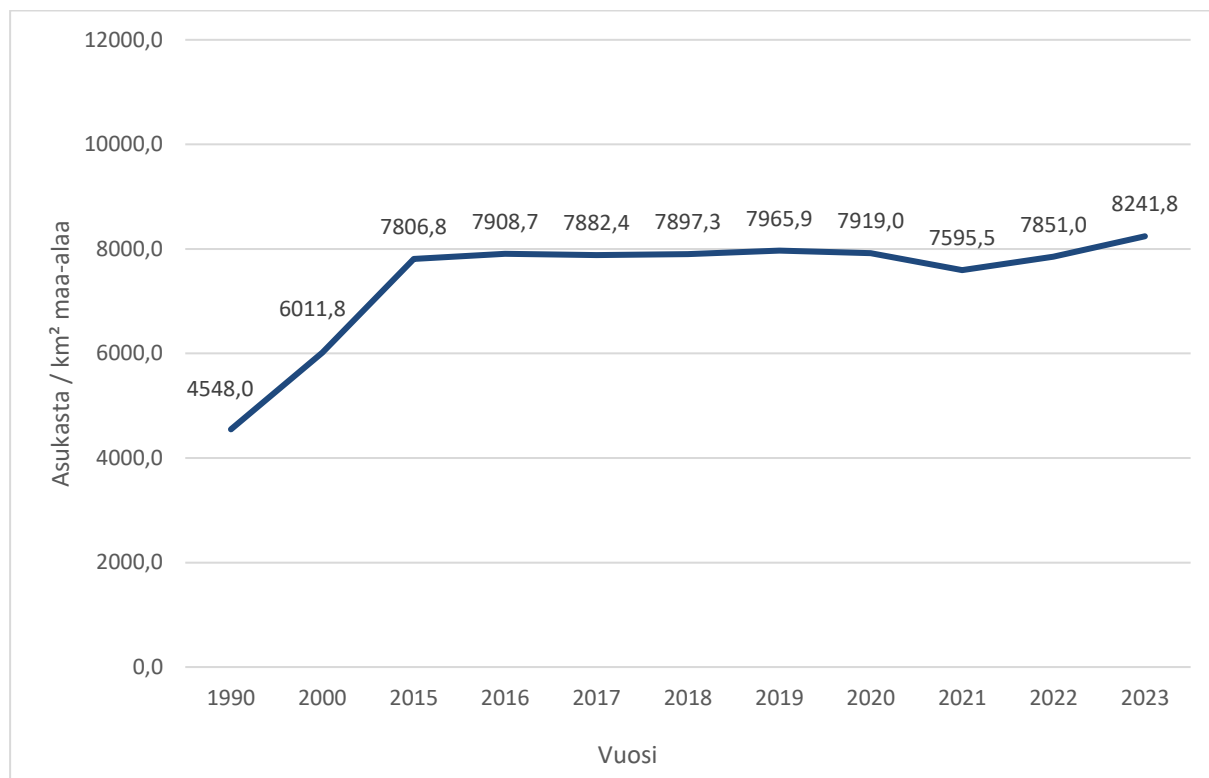


Kuva 1. Singapore kartalla. Lähde: Google Maps Satellite (2026) Landsat / Copernicux Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO

Singapore on yksi maailman vauraimmista valtioista, ja sen bruttokansantuote asukasta kohden kuuluu maailman parhaimpiin lukemiin. Singaporella on myös loistavat kansainväliset yhteydet ja se on myös suosittu turismikohte. Suurin osa väestöstä on keskittynyt maan etelärannikolle Singaporen kaupunkiin, jossa väestö on paikoin hyvin tiivistä. Kaupunkiväestön osuus on 100 % maan väestöstä. Singaporella on hyvin vähän omia luonnonvaroja, kalat ja syvänveden satamat ovat maan ainoat omat luonnonvarat. Maan ilmasto on kuumaa kostea ja sateinen, sisältäen kaksi monsuunikautta vuosittain (Central Intelligence Agency 2026).

Singapore on tutkimuskohteena poikkeava. Se on samalla sekä saari että kaupunkivaltio, ja on samalla yksi maailman väestötiheimmistä alueista. Singapore on kooltaan noin 710 km² (Quek ym. 2018) ja alueella asuu noin 6,04 miljoonaa ihmistä (World Bank, 2024).

Väestötiheys oli vuonna 2023 noin 8240 asukasta neliökilometriä kohden (Kuva 2). Väestötiheys on ollut noususuuntainen vuodesta 1990 lähtien, ja sen ennustetaan kasvavan lisää tulevaisuudessa (Kuva 2).



Kuva 2. Väestötiheys (asukasta / km² maa-alaa) - Singapore. Lähde: World Bank, 2023

Jatkuva väestönkasvu tuo haasteita kaupungin kestävän kehityksen siirtymässä, kun tilan- ja energian tarve kasvaa. Väestön lisääntyminen tuo mukanaan uusia haasteita jo valmiiksi tilanpuutteessa olevaan kaupunkiin, kun ihmiset tarvitsevat lisää asuin- ja oleskelutilaa. Samalla myös energiantuotannon tarve ja kysyntä kasvaa, joka luo lisää paineita uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoon ja tehokkuuteen. Kasvava väestö vie maanpäällistä tilaa pois uusilta energiantuotannon projekteilta ja kasvattaa energiatarpeita, joka pakottaa Singaporen keksimään uusia ratkaisuja energian kestävään tuottamiseen ja siirtymään kohti omavaraisempaa valtiota (Quek ym. 2018).

2.3 Kestävä kehitys ja energiantuotanto

Kestävä kehitys on saanut alkunsa vuonna 1987 Yhdistyneiden kansakuntien Brundtlandin komissiossa, josta käsitteen laajeneminen kansainväliseksi kokonaisuudeksi alkoi (Ympäristöministeriö 2023). Kestävyys on määritelty käsitteenä monin eri tavoin. Se on määritelty esimerkiksi kyvyksi pitäytyä tietyllä tasolla, luonnonvarojen säilyttämiseksi ja kestävyuden laadun säilyttämiseksi. Kestävä kehitys taas tarkoittaa maailmanlaajuista, yhteiskunnallista muutosta, jonka tavoitteena on turvata hyvät mahdollisuudet elämään sekä nykyisille että tuleville sukupolville. Kestävässä kehityksessä on tärkeää tasavertaisuus ympäristön, ihmisten ja talouden välillä (Halawa 2024).

Kestävä energiantuotanto on määritelty kyvyksi täyttää nykyisen sukupolven energiantarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien kykyä täyttää omat tarpeensa. Joidenkin määritelmien mukaan kestävä energia koostuu uusiutuvasta energiasta ja energiatehokkuudesta. Voidaan sanoa, että kaikki kestävänsä energian määritelmät ovat jollain tapaa peräisin Brundtlandin komission raportista. Edward Halawan (2024) raportissa *Sustainable Energy: Concept and Definition in the Context of the Energy Transition—A Critical Review* määritellään käsitteelle kaksi avainsanaa, jotka ovat nykyinen sukupolvi ja kompromissi. Nämä tarkoittavat siis kompromissien tekemistä kestävyuden edesauttamiseksi vaarantamatta nykyistä sukupolvea. Halawan mukaan näitä kestävänsä energian avainsanoja ja käyttöönottoa tukevia tavoitteita ei olla tarkasteltu riittävän kriittisesti ja perusteellisesti, mikä heikentää niiden mahdollisuuksia toteutua.

Kestävänsä kehityksen ja energiantuotannon välinen yhteys on hyvin keskeinen aihe nykypäivän keskusteluissa koskien ympäristön muuttumista ja ilmastonmuutosta. Yleisin energiantuotannon muoto on fossiilisiin polttoaineisiin perustuva energiantuotanto, joka on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde. Tämä vaarantaa globaalin kestävänsä kehityksen edistymisen. Tämän takia kestävänsä energiantuotannon merkitystä on pyritty tuomaan jatkuvasti enemmän esille. Sen tavoitteena on vähentää

hiilidioksidipäästöjä ja muita ympäristövaikutuksia vaarantamatta kuitenkin energian riittävyyttä tai saavutettavuutta (Quek ym. 2018: 389)

Kestävään energiajärjestelmään kuuluvat uusiutuvat energialähteet, kuten aurinko-, tuuli-, bio- ja geoterminen energia, sekä vesivoima. Ne ovat luonnon muodostamia, uusiutuvia ja vähäpäästöisiä lähteitä. Näiden lähteiden hyödyntäminen edistää kestävästä kehitystä, hillitsee ilmastonmuutosta ja edistää luonnonvarojen kestävästä hyödyntämisestä säästämällä samalla uusiutumattomia luonnonvaroja. Kestävän energiantuotannon tulee myös ottaa huomioon energian tehokas tuottaminen, sen varastointi ja siirto, sekä mahdolliset sivuvaikutukset, kuten rakennusvaiheen päästöt (Quek ym. 2018: 389).

Energiapolitiikan rooli on tärkeä kestävästä energiantuotannon turvaamisessa. Yhteiskuntien pitää huomioida energiajärjestelmän elinkaaret, joissa ovat mukana ihmisten muuttuvat tarpeet sekä teknologian ja talouden kehittyminen. Kestävä energiantuotanto tarvitsee sijoituksia ja investointeja, joita valtion poliittisilla päätöksillä pystytään tukemaan (Quek ym. 2018: 389). Kestävästä energiantuotantoa voidaan edistää erilaisin kannustimin, sekä esimerkiksi sijoittamalla uusiutuviin energialähteisiin, säästötoimenpiteisiin ja tehokkaisiin sähköverkkostoihin. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan tarkastella yksityiskohtaisesti maan energiapolitiittisia tukitoimia. Kokonaisuudessaan kestävä kehitys energiantuotannossa tavoittelee taloudellisesti tehokasta, ympäristöä säästävää, oikeudenmukaista energiantuotantoa, joka pystyy turvaamaan energiantuotannon sekä nykyisille että tuleville sukupolville kuormittamatta luonnonvaroja liikaa (Quek ym. 2018: 389).

2.4 Uusiutuvat energialähteet

Uusiutuvat energialähteet ovat jatkuvasti itsestään uusiutuvia, luonnollisten prosessien synnyttämiä lähteitä. Tärkeimpiä uusiutuvia resursseja ovat auringonvalo, tuuli, vesi, biomassa ja merien lämpötilaerot. Niillä on suuri potentiaali energiamarkkinoilla, mutta niiden hyödyntäminen energiantuotannossa on toistaiseksi vielä rajallista muun muassa teknologisten haasteiden, ympäristövaikutusten ja suurien kustannusten takia (Moriarty & Honnery 2011: 244–252). Maailmanlaajuisesti uusiutuvien energiamuotojen resurssit

ovat valtavat, mutta siirtymä nykyisestä energiantuotannosta täysin uusiutuvien energialähteiden käyttöön vaatii vielä teknologisia edistysaskeleita, tehokkaampia tuotantomuotoja ja nykyisen energiankulutuksen vähenemistä (Moriarty & Honnery 2011: 244–252).

Auringon energia on merkittävin uusiutuva luonnonvara, jota voidaan käyttää kestävässä energiantuotannossa. Käytännössä sen hyödyntäminen on kuitenkin toistaiseksi hyvin rajallista. Aurinkoenergian tuottaminen vaatii tietyt sääolosuhteet ja sen tehokas hyödyntäminen tarvitsee usein energianvarastointijärjestelmiä ja muita teknologisia edistysaskeleita. Tuulivoiman potentiaali on aurinkovoiman tavoin merkittävä, mutta sekin vaatii tietyt tuulen olosuhteet ja paljon resursseja. On myös arvioitu ilmastonmuutoksen vaikuttavan tuulen nopeuksiin, joka luo uuden epävarmuustekijän tuulivoiman hyödyntämiseen (Moriarty & Honnery 2011: 244–252). Vesivoima taas on jo pitkään hyödynnetty energian lähde, mutta siinäkin on omat haasteensa ympäristövaikutusten ja resurssien puutteen vuoksi. Myös merien lämpötilaeroja on tutkittu mahdollisena uusiutuvana energialähteenä, mutta niiden käyttöönotto on vasta kehitysvaiheessa. Biomassan, kuten metsien ja maatalouden jätteen hyödyntäminen tarjoaa mahdollisuuden uusiutuvan energian tuottamiseen, mutta ilmastonmuutos, biomassasta käytävä kilpailu ja sen epävarma saatavuus ovat ongelmakohtia sen tehokkaassa hyödyntämisessä (Moriarty & Honnery 2011: 244–252).

Uusiutuvilla energiamuodoilla on keskeinen rooli ilmastonmuutoksen hillitsemisessä ja siirtymässä kestävämpään, vähähiiliseen energiantuotantoon. Tulevaisuudessa uusiutuvien energialähteiden odotetaan kasvavan merkittävästi teknologian kehittyessä ja kustannusten alentuessa. Aurinko- ja tuulienergia ovat jo saavuttaneet kilpailukyyn fossiilisiin energialähteisiin verrattuna, tehden niistä tärkeän osan energiamarkkinoita tulevaisuudessa. Jatkuvien investointien, uusien ohjauskeinojen, poliittisten tukien, ja verkostojen kehittymisen ansiosta uusiutuvat energialähteet siirtyvät jatkuvasti kohti energiamarkkinoiden keskusta (Azhgaliyeva ym. 2022: 71–87).

Aasian alueella uusiutuvien energialähteiden osuus kasvaa nopeasti. Aasian alueen johtavat maat investoivat uusiutuvaan energiaan merkittävästi resursseja talouskasvun

tukemiseksi, ilmastonmuutoksen torjunnaksi ja päästöjen vähentämiseksi. Kiinassa ja Intiassa erityisesti aurinko- ja tuulienergian käyttö kasvaa nopeasti. Filippiineillä ja Thaimaassa taas on suuri potentiaali erityisesti vesivoiman ja biomassan hyödyntämisessä. Singaporessa on myös pyritty ottamaan käyttöön uusia energiantuotantomuotoja, mutta maapinta-alan ja resurssien puute ovat tuottaneet haasteita uusiutuvan energian lisäämisessä. Maassa on kuitenkin pyritty keksimään uusia innovatiivisia ratkaisuja kestävän energian tuotantoon (Azhgaliyeva ym. 2022:71–87).

Yleisesti ottaen uusiutuviin energialähteisiin siirtyminen vaatii siis suuria investointeja ja infrastruktuurin muutoksia, jotka aiheuttavat haasteita etenkin köyhimmissä maissa. Erilaiset sääntely- ja rahoitusesteet, korkeat kustannukset ja poliittiset ristiriidat hidastavat kestävään energiaan siirtymistä (Azhgaliyeva ym. 2022:71–87).

Vaikka uusiutuvan energian potentiaali on valtava, sen kokonaisvaltainen hyödyntäminen edellyttää edelleen merkittäviä edistysaskelia teknologian kehityksessä, ympäristövaikutusten minimoinnissa ja ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. Laajempi ja tehokkaampi käyttöönotto vaatii lisäksi enemmän energian varastointiratkaisuja ja infrastruktuurin kehittymistä. Potentiaalisia uusiutuvia energialähteitä on siis runsaasti, mutta niiden merkittävä hyödyntäminen edellyttää edelleen lisää tutkimustietoa sekä teknologisten, ympäristöllisten ja resurssien saatavuuteen liittyvien haasteiden tarkempaa ymmärrystä (Moriarty & Honnery 2011: 244–252).

2.5 Tulevaisuuden tavoitteita - Green Plan 2030

Singaporessa on käynnissä Green Plan 2030 hanke, jonka tavoitteena on edistää kaupungin kansallista kestävän kehityksen ohjelmaa. Se pyrkii saavuttamaan tiettyjä kestävän kehityksen tavoitteita vuoteen 2030 mennessä, ja vahvistaa sitoutumista YK:n Agenda 2030 kestävän kehityksen toimintaohjelmaan sekä Pariisin ilmastopöytäkirjaan (Singapore Government 2025).

Yksi hankkeen viidestä pääpilarista on energian uudistaminen ja vihreän energian edistäminen. Tavoitteena on saavuttaa kansainvälisen siviili-ilmailujärjestön antama tavoite nettonollahiilipäästöistä vuoteen 2050 mennessä sekä saavuttaa kansainvälisen merenkulkujärjestön tavoite vähentää kasvihuonekaasupäästöjä vähintään 50 prosenttia vuoteen 2050 mennessä verrattuna 2008 tasoon ja lopulta poistaa päästöt kokonaan. Singapore on asentanut 1,5 gigawatin huipputehoisen aurinkovoimajärjestelmän, joka kattaa noin 2 % maan arvioidusta sähkönkulutuksesta vuodelle 2025 ja riittää tuottamaan sähköä noin 260 000 kotitaloudelle vuodessa. Lisäksi käyttöön on otettu 200 megawattitunnin energianvarastointijärjestelmä, joka vahvistaa sähköverkon toimintavarmuutta ja tukee siirtymistä puhtaampaan energiaan. Vuoden 2030 tavoitteena on, että aurinkoenergiakapasiteettia kasvatetaan vähintään 2 gigawatin huipputehoon, mikä kattaa noin 3 % Singaporen arvioidusta sähkönkulutuksesta vuodelle 2030 ja riittää tuottamaan sähköä noin 350 000 kotitaloudelle vuodessa (Singapore Government 2025).

Toiseksi tavoitteeksi on määritetty, että sähkö tuotetaan huipputeknologialla, joka täyttää päästövaatimukset ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Vihreän energian tavoitteisiin lukeutuu myös lukuisia muita tavoitteita koskien esimerkiksi infrastruktuurin ja liikkumisen kestävästä energiankulutuksesta, tehokasta energiantuotantoa sekä energiankulutuksen vähentämistä. Tavoitteena on esimerkiksi tehdä vähän sähköä kuluttavia rakennuksia, lisätä puhtaammalla energialla kulkevia ajoneuvoja sekä vähentää kaupungin alueiden energiankulutusta (Singapore Government 2025).

3 Aineistot ja menetelmät

3.1 Kirjalliset aineistot pääosassa

Tutkielman aineistoina ovat pääsääntöisesti erilaiset artikkelit ja Singaporen eri virastojen julkaisemat raportit liittyen maan energiantuotantoon. Keräämällä aineistoa useista eri lähteistä voidaan varmistaa täsmällisempi tiedonkeruu tutkimuksen eri aihealueista.

Lähdeaineistoina käytetään eri tietokantojen, kuten Google Scholarin ja Turun yliopiston kirjaston tarjoamia aiempia tutkimuksia aiheesta. Kirjallisten artikkeleiden sisältö pohjautuu pääosin Singaporen energiantuotannon käytäntöihin, kestävään kehitykseen, uusiutuviin energialähteisiin ja kaupunkien haasteisiin kestävässä energiantuotannossa. Yksi tärkeimmistä käytetyistä aineistoista tässä tutkimuksessa on Augustine Quekin ym. (2018) kirjoittama artikkeli *Challenges in Environmental Sustainability of renewable energy options in Singapore*. Quekin ym. artikkeli kertoo tutkimuskohteen siirtymästä kohti kestävämpää energiantuotantoa tutkien esimerkiksi uusien tuotantotapojen ympäristövaikutuksia sekä kaupungin tuomia haasteita puhtaampaan energiantuotantoon pyrkiessä, ja on täten täsmällinen tutkimusaiheeseen sopiva tiedonlähde.

Singaporen hallinnolliset alustat tarjoavat myös paljon merkittävää tietoa tutkimuksen kannalta. Singaporen valtion ja ympäristöministeriön tuottamat artikkelit maan kestävästä energiantuotannosta ovat tieteellisten artikkeleiden nojalla toinen tärkeä lähde tutkimuksessa. Valtion tuottamat aineistot ovat sekä laadullista että määrällistä, sisältäen raportteja ja kirjallisia artikkeleja Singaporen energiantuotannosta. Nämä lähteet ovat hyödyllisiä tulosten kannalta, sillä ne kertovat Singaporen energiantuotannon tilanteen sekä nykyhetkessä että tulevaisuudessa. Ne myös antavat yksityiskohtaista tietoa kaupungin tuotantoprojekteista ja hankkeista kestävästä energiantuotannon parantamiseksi.

Tutkimuksessa käytetään myös muutamia määrällisiä aineistoja, joista saadaan tilastollista pohjaa tutkimukseen. Maailmanpankin tilastoista saadaan tutkimuksen kannalta merkittävää numeerista tietoa Singaporen uusiutuvien energialähteiden

käytöstä, jota käytetään tutkimuksen määrällisenä aineistona. Tutkimuksessa hyödynnetään myös erilaisia raportteja Singaporen energiantuotannosta, jotka voidaan myös lukea määrällisiksi aineistoiksi. Esimerkiksi MarketLine ja TotalEnergies -yhtiöiden raportit uusiutuvista energianlähteistä ovat tutkimuksen kannalta merkittäviä määrällisiä aineistoja. Määrälliset aineistot mahdollistavat aineiston esittämisen visuaalisesti esimerkiksi kuvaajien avulla, mikä helpottaa tulosten ymmärtämistä ja auttaa antamaan selkeän kokonaiskuvan energiantuotannosta tutkimuskohteessa.

3.2 Analyysimenetelmä – kirjallisuuskatsaus

Tutkielma voidaan luokitella kirjallisuuskatsaukseksi. Tutkimusmenetelmä on laadullinen kirjallisuusanalyysi, sillä tutkimuksen lähdeaineistot ovat pääosin kirjallisia artikkeleja. Tätä täydentävät muutamat tilastolliset aineistot, joiden tarkastelussa keskitytään etenkin energiantuotannon kehitykseen ja uusiutuvien energialähteiden käyttöön Singaporessa. Määrällisiin aineistoihin perustuen laaditaan kuvaajia, joiden avulla havainnollistetaan numeerista aineistoa visuaalisesti. Kirjallisuusanalyysissä tarkastellaan aiheeseen liittyviä tekstejä erityisesti niiden merkityksellisyyden ja luotettavuuden näkökulmasta. Analyysin avulla etsitään lähteistä tutkimukselle olennainen tieto, jonka pohjalta luodaan yhtenäinen tekstikokonaisuus. Lähteiksi pyritään valitsemaan ensisijaisesti mahdollisimman ajantasaisia, tutkimusta täydentäviä tekstejä, mutta myös vanhempia julkaisuja hyödynnetään tarvittaessa vertailun vuoksi. Sisältöä analysoidessa pyritään keskittymään tutkimusta tukeviin teemoihin, eli pääosin Singaporen energiantuotantoon, sen kestävyYTEEN, haasteisiin ja ratkaisuihin. Analyysissä keskitytään eri tekstilähteiden tietojen yhdistelyyn, jotta tutkimuksesta saadaan monipuolinen ja merkityksellinen kirjallisuuskatsaus. Kestävää energiantuotantoa pyritään tutkimaan aihealueittain, jotta saadaan tarkkaa tietoa jokaisesta tutkimuksen vaiheesta. Lopuksi kerätty tieto yhdistetään kokonaisuudeksi, jonka pohjalta pystytään vastaamaan tutkimuskysymyksiin kattavasti.

4 Tulokset

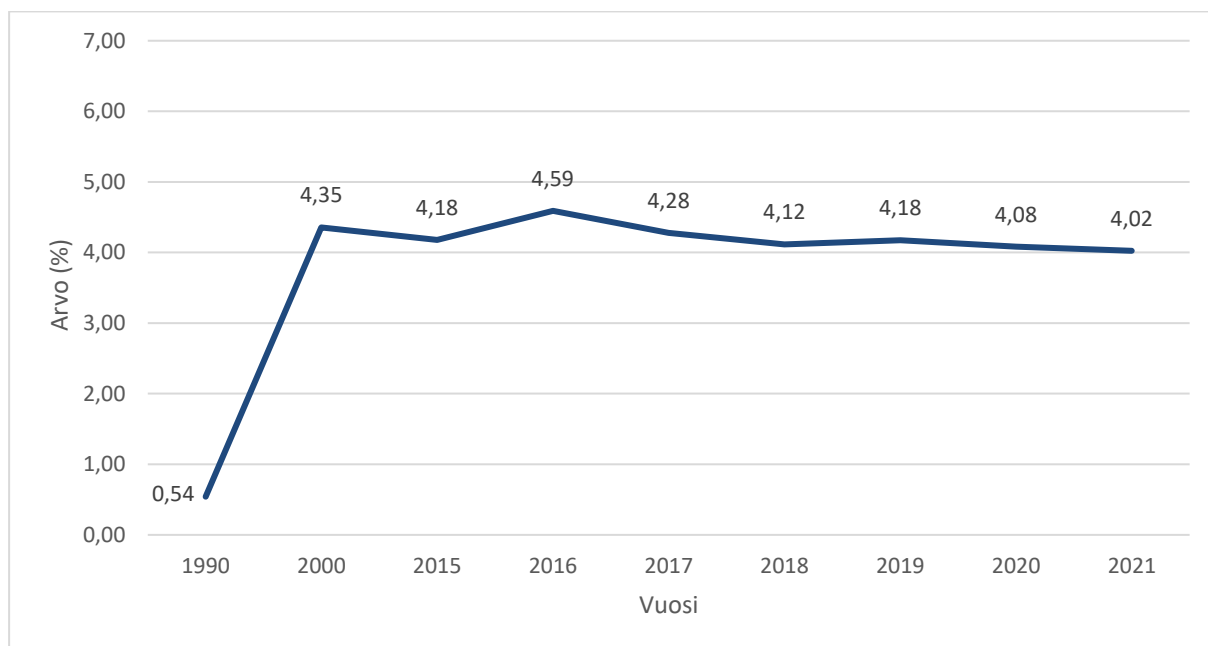
4.1 Energiantuotanto Singaporessa

Sähkön asennettu tuotantokapasiteetti Singaporessa oli arviolta noin 13,130 miljoonaa kW vuonna 2023. Kulutus taas oli noin 56 miljardia kWh (Central Intelligence Agency 2026). Yli 95 % Singaporen sähköntuotannosta perustuu maakaasuun, joka tuodaan Malesiasta ja Indonesiasta (Quek ym. 2018). Singaporessa hyödynnetään myös polttoöljyä, hiiltä ja kiinteän jätteen polttoa. Maakaasu on yksi uusiutumattomista, fossiilisista polttoaineista, mutta se on äärimmäisen tärkeä energianlähde Singaporessa. Singaporen tulee kuitenkin siirtyä vähitellen kestävämpään energiantuotantoon turvatakseen fossiilisten polttoaineiden riittävyyden ja päästöjen vähenemisen. Singaporen pitää tulevaisuudessa turvautua aurinkoenergiaan ja biokaasuun, sillä muut uusiutuvat energiantuotantotavat, kuten vesivoima, geoterminen energia tai tuulivoima, puuttuvat kaupungista (Quek ym. 2018).

Singaporen uusiutuvan energian markkinat kasvoivat 25,4 % vuonna 2024, ja se muodostaa 0,2 % Aasian ja Tyynenmeren alueen uusiutuvan energian markkina-arvosta. (MarketLine 2025). Uusiutuvan energian markkinoiden ennustetaan myös kasvavan 116,9 % vuoteen 2029 mennessä verrattuna vuoteen 2024 (Central Intelligence Agency 2026). Uusiutuvan energian markkinat keskittyvät aurinkoenergiaan ja sen varastointiin maan vähäisten mahdollisuuksien takia liittyen tilan puutteeseen ja vesivoimien tai biomassan käyttökelvottomuuteen. Singapore muuttaa suuren osan jätteestään jo energiaksi, eikä sen takia biomassan käyttö ole mahdollinen osa kestävään energiatuotantoon siirtymistä (Ministry of Sustainability and the Environment 2019). Kilpailu kestävästä energiantuotannosta markkinoilla on melko vähäistä, ja se painottuu valtion omistamiin yhtiöihin ja muutamiin yksityisiin toimijoihin. Aurinkoenergiaan, jätteenpolttoon ja sähköverkon kehittämiseen erikoistuneet Vena Energy ja SP Group ovat merkittävimpiä kestävästä energian tuottajia Singaporessa. Maan hallitus on rajallisista mahdollisuuksista huolimatta keskittänyt politiikkansa kestävien energialähteiden tuotannon tukemiseen, esimerkiksi kelluvien aurinkovoimaloiden kehittämiseen ja muihin sähköntuotantohankkeisiin (MarketLine 2025).

4.2 Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen

Singaporessa on haasteita ottaa käyttöön uusiutuvia energialähteitä. Maan lähtökohdat uusiutuvan energian tuotantoon ovat heikot ja energiansaanti perustuu tuontienergiiaan, eivätkä köyhät naapurimaat ole pystyneet keskittämään resurssejaan uusiutuviin energialähteisiin. Hyvin pieni osa Singaporen sähköntuotannosta tulee siis uusiutuvista energialähteistä. Vain noin 4 % tuotetusta kokonaismäärästä on peräisin uusiutuvista energialähteistä, ja tämä osuus on pysynyt suunnilleen samana viime vuosikymmenen ajan (Kuva 3). Jopa pientä laskua on havaittu vuoden 2000 luvun jälkeen uusiutuvien energialähteiden osuudessa sähköntuotannossa. Dataa ei ollut saatavilla viimeisiltä 4 vuodelta, joka olisi ollut tutkimuksen kannalta merkittävää tietoa. Vesivoimaa ei ole huomioitu, sillä Singaporen olosuhteiden takia sen osuus uusiutuvasta sähköntuotannosta on 0 % (Ministry of Sustainability and the Environment 2019).

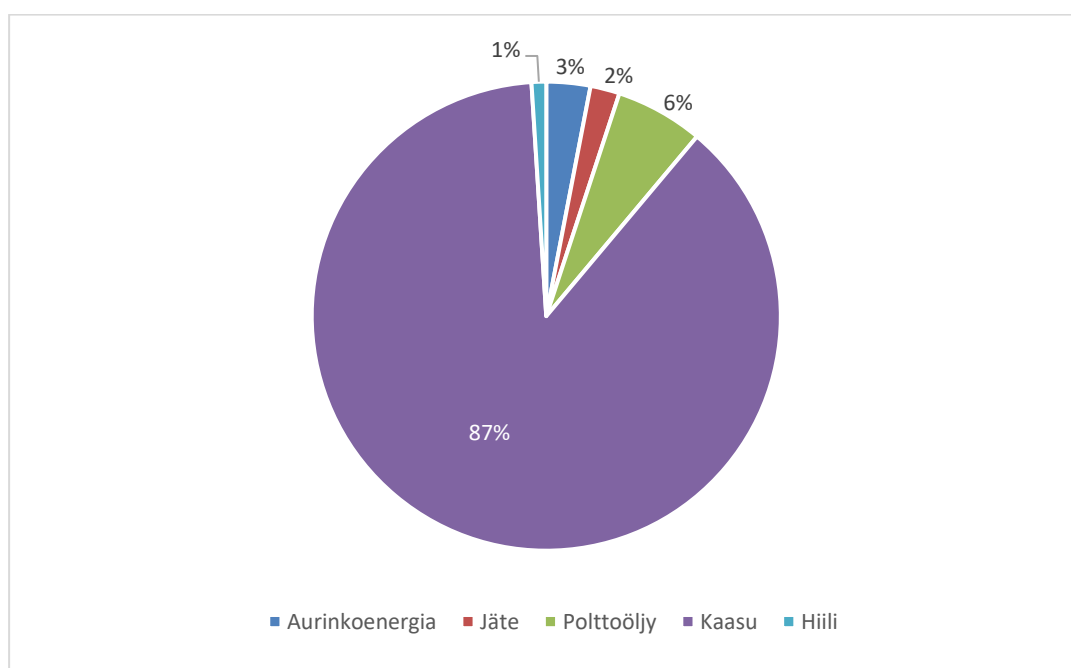


Kuva 3. Uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvan sähköntuotannon osuuden muutos Singaporessa, vesivoimaa lukuun ottamatta (% kokonaismäärästä) – Singapore. Lähde: World Bank, 2021

Singapore on siis erittäin riippuvainen muista maista tuodusta energiasta, ja kestävämpään energiantuotantoon siirtymiseen on vielä paljon matkaa. Singaporen maantieteellinen sijainti tuo paljon haasteita kestävämmän energiantuotannon hyödyntämiseen. Se on tasainen, melko tyyni alue, joka on hyvin tiheään rakennettu. Nämä asiat pelkästään poissulkevat monien kestävien energiantuotantotapojen

hyödyntämisen, kuten tuuli, vesi- ja ydinvoiman käytön (Ministry of Sustainability and The Environment 2019).

Singaporessa kestävien energialähteiden tuotantokapasiteetti ei ole toistaiseksi kovin suuri. Vuonna 2021 kaasu vei vielä 87 % asennetusta sähköntuotantokapasiteetista (Kuva 4), ja ympäristöystävällisten energiatuotantomenetelmien kapasiteetti oli vain 5 %. Loput asennetusta sähköntuotantokapasiteetista koostui polttoöljystä ja hiililähteistä, jotka ovat uusiutumattomia, fossiilisia polttoaineita.



Kuva 4. Asennettu sähköntuotantokapasiteetti Singaporessa huomioiden uusiutuvat luonnonvarat (2021)
Lähde: Total Energies (2025)

Aurinkoenergian sähköntuotantokapasiteetti oli toistaiseksi vain 3 % ja jätteen 2 %, mutta aurinkoenergian on arvioitu kattavan jopa yli 70 % tämän vuosisadan uudesta tuotantokapasiteetin kasvusta (Total Energies 2025). Toistaiseksi Singapore on kuitenkin hyvin riippuvainen maakaasusta.

4.3 Haasteet kestävään energiantuotantoon siirtymisessä

Singapore kohtaa monia haasteita siirryessään kohti kestäväää energiantuotantoa. Singaporen maantieteellinen sijainti, tilanpuute ja omien luonnonvarojen vähäisyys ovat

suurimpia haasteita kestävämpään energiantuotantoon siirtymisessä (UNEP s.a.). Maantieteellisen sijainnin vuoksi tuulivoiman tai vesivoiman hyödyntäminen eivät ole mahdollisia, sillä luonnonolot eivät anna otollisia olosuhteita niiden hyödyntämiseen. Singaporen tyynet merialueet, suppea vuorovesivaihtelu ja virtaavien jokien puute estävät vesivoiman hyödyntämisen maassa. Tuulivoimalat taas toimivat yleensä yli 4,5 m/s tuulennopeuksilla, joka poissulkee niiden käytön keskimääräisen tuulennopeuden ollessa maassa vain noin 2 m/s (NCCS s.a.). Singaporen tilanpuute on ongelmista suurin. Korkea väestötiheys ja maa-alan vähäisyys estävät tuulipuistojen tai suurien aurinkopaneelipuistojen rakentamisen alueelle. Ydinvoimaloiden on taas tutkittu olevan liian riskialttiita rakennuttaa suurkaupungin läheisyyteen (Quek ym. 2018).

Toisen haasteen kestäviin energiamuotoihin siirtymiseen tuo ihmisten asenteet muutosta kohtaan. Kotitaloudet kuluttavat noin 15 % koko maan energiankulutuksesta, joten toimintatapojen muuttaminen kestävämmäksi on tärkeää myös kotitalouksissa. Kuluttajat eivät aina ole tietoisia omasta energiankulutuksestaan, eivätkä välttämättä ymmärrä säästämisen hyötyjä. Ihmiset eivät halua muuttaa kulutustottumuksiaan, ja monet nykyisistä energiansäästöteknologioista eivät ole vielä tarpeeksi kuluttajaystävällisiä (Bhati ym. 2017: 239).

Singaporen hallinto on pyrkinyt tekemään erilaisia energiansäästöehdotuksia ja muita poliittisia säännöksiä energian säästämiseksi, mutta toimien toteutuminen on pitkälti kiinni ihmisten omista asenteista (Bhati ym. 2017: 231). Singaporessa on pyritty tuomaan esille erilaisia älykoteja, jotka ovat energiatehokkaita ja säästeliäitä kulutuksessa, mutta niiden teknologinen kehitys on vielä melko hidasta eikä ota huomioon kuluttajien todellisia tarpeita ja käyttäytymistä (Bhati ym. 2017: 239). Kuluttajien mukavuudenhaluisuus, turvallisuus, ja omat tottumukset vaikuttavat ihmisten asenteisiin uusia energiamuotoja kohtaan. Kuluttajien asenteet voivat olla ristiriidassa optimaalisen teknologian hyödyntämisen ja energiansäästämisen suhteen, joka tuo uuden haasteen lisää kestävämpien energiamuotojen käyttöönottoon (Bhati ym. 2017: 235). Tähänkin ongelmaan pyritään kuitenkin kehittämään ratkaisuja. Esimerkiksi Singaporen Smart Nation -hanke on yksi ratkaisuihin pyrkivä projekti. Hankkeen tarkoituksena on edistää kestävämpää energiajärjestelmää esimerkiksi kehittämällä

tehokkaampia teknologisia järjestelmiä, muuttamatta kuitenkaan ihmisten kulutustottumuksia (Bhati ym. 2017: 239).

4.4 Tilan ongelmat

Singapore on pieni ja hyvin tiivisti rakennettu valtio. Siellä on korkea väestötiheys ja väestö kasvaa jatkuvasti. Maan väestötiheys vuonna 2023 oli noin 8240 asukasta / neliökilometri, joka kertoo Singaporen olevan miljoonien asukkaiden suurkaupunki (World Bank 2023). Tämä tuo omat haasteensa kestävämpään energiantuotantoon siirtymiseen. Väestötiheys on myös ollut noususuuntainen lähivuosina, ja jos kehitys jatkuu samansuuntaisena, se tuottaa lisää haasteita tulevaisuudessa. Korkea väestötiheys tarkoittaa energiantuotannon näkökulmasta sitä, että alueella on paljon ihmisiä, jotka ovat riippuvaisia sähköntuotannosta.

Maan tilasta on jatkuvasti kilpailua, etenkin jatkuvan talouden kehityksen ja vihreän tilan tavoittelemisen vuoksi. Tilaa on pyritty saamaan kaupunkiin lisää rakentamalla korkeita pilvenpiirtäjiä ja maan ennallistamisella. Nämä keinot eivät kuitenkaan riitä enää haasteiden sivuuttamiseen kasvavassa kaupungissa, vaan tilanpuutteesta kehittyvä vähitellen isompi ongelma. Singapore on myös siitä erityinen maa, että siellä ei ole lainkaan syrjäseutua, johon voisi rakentaa suuria aurinkopaneelipuistoja tai tuulivoimaloita (Zhou & Zhao 2016). Haasteista huolimatta on tärkeää, että Singaporen kaltaiset suurkaupungit pyrkivät muilla ratkaisuilla säästämään uusiutumattomia luonnonvaroja ja pyrkivät pois niiden riippuvuudesta kohti kestävämpiä vaihtoehtoja.

Tilanpuute on suurimpia esteitä Singaporen omavaraistumisessa ja siirtymässä kohti kestävää energiantuotantoa. Singapore on toistaiseksi hyvin riippuvainen fossiilisten polttoaineiden tuonnista, kuten maakaasusta. Kotimaisen energiantuotannon osuuden ollessa vielä hyvin pieni, kestää todennäköisesti pitkään ennen kuin maa pääsee kokonaan eroon epäpuhtaasta tuontienergiasta. Singapore on myös käytännössä kokonaan kaupungistunutta aluetta, mikä lisää painetta tilanpuutteesta. Tiivis kaupunkirakenne aiheuttaa vaikeuksia sekä asuinyhteisöille, liikenneverkostoille ja muulle infrastruktuurille, kuten myös energiantuotantoprojekteille. Suurten, kestävien energiaratkaisujen kehittäminen ja toteutus kaupungissa on vaikeaa ilman, että se

vaikuttaa alueen asukkaisiin, elämänlaatuun tai ympäristöön. Tilanpuute edellyttää energijärjestelmiltä erittäin innovatiivisia ja tehokkaita ratkaisuja, kuten aurinkopaneeleja ja biokaasulaitoksia, jotka voidaan asentaa jo olemassa olevaan infrastruktuuriin ja pieniin tiloihin. Puute tilasta antaa erityisen haasteen kaupungille sen siirtymässä kohti kestävämpää energiantuotantoa. Tilan rajallisuus ohjaa Singaporen tulevia energiaratkaisuja ja kestävä kehityksen hankkeita, mutta kaupungin halukkuus innovatiivisuuteen ja tehokkaaseen energiantuotantoon auttaa säästävien ja kekseliäiden energiaratkaisujen kehittämisessä (Quek ym. 2018: 388).

4.5 Ratkaisuja haasteisiin

4.5.1 Aurinkovoima

Aurinkovoiman hyödyntäminen on yksi potentiaalinen vaihtoehto Singaporen kaltaisissa kaupungeissa. Singaporen keskimääräinen vuotuinen aurinkosäteily on noin 1580 kWh/m², joka tekee aurinkoenergian käytöstä tärkeimmän vaihtoehdon uusiutuvien energialähteiden joukosta. Vaikka suurille aurinkopaneelipuistoille ei ole tilaa, on aurinkovoiman muunlainen hyödyntäminen yksi potentiaalisimmista vaihtoehdoista. Aurinkoenergian mahdollisuuksia on tutkittu maassa jo pidemmän aikaa ja uusia innovaatioita sekä erilaisia hankkeita ja projekteja on saatu jatkuvasti vietyä eteenpäin (NCCS s.a.).

Aurinkopaneelit eivät aina vaadi suuria määriä vapaata tilaa, vaan niitä pystyy rakentamaan esimerkiksi rakennusten katoille, ja täten ne ovat mahdollinen kestävä energiantuotannon muoto. Suuret aurinkopaneelipuistot ovat kuitenkin poissuljettu vaihtoehto, sillä avointa tilaa ei maasta löydy (Ministry of Sustainability and The Environment 2019). Maassa pyritään kuitenkin jatkuvasti kehittämään aurinkoenergian käyttöönottoa. Singaporen tavoitteena on saavuttaa vähintään 2 gigawatin aurinkoenergiakapasiteetti vuoteen 2030 mennessä. Tähän tavoitteeseen pyritään päästä lisäämällä aurinkopaneeleita rakennuksien katoille, avoimille alueille ja vesistöjen päälle (NCCS s.a.).

Singaporessa on jo saatu käytäntöön erilaisia keksintöjä kestävän energiantuotannon lisäämiseksi. Singaporen sisämaahan on esimerkiksi rakennettu tekojärvi, joka on tehty aurinkoenergian tuottamista varten (Kuva 5). Noin 45 jalkapallokentän suuruinen Tengehin tekojärvi on täytetty 122 000 aurinkopaneelilla, ja se on teholtaan 60 megawatin luokkaa (PUB 2024). Aurinkovoimala otettiin käyttöön vuonna 2021, ja sen tarkoituksena on edistää Singaporen tavoitetta nelinkertaistaa aurinkoenergian tuotanto vuoteen 2025 mennessä. Laitoksen tuottama sähkö riittää esimerkiksi kattamaan Singaporen kaikkien vedenpuhdistuslaitosten energiantarpeen, mikä merkitsee noin 32 kilotonnin vähennyksiä vuotuisista hiilidioksidipäästöistä.

Aurinkovoimalan negatiivisia vaikutuksia järven terveyteen ja eliöiden toimintaan on pyritty minimoimaan. Aurinkopaneelien väliin on esimerkiksi jätetty paljon rakoja auringonvalon läpäisemisen varmistamiseksi ja ilmankierron parantamiseksi. Tekojärveen on lisätty myös riittäviä happitasoja ylläpitäviä ilmastusjärjestelmiä. Aurinkopaneeleista on myös tehty kestävämpiä, jotta ne pärjäävät Singaporen kosteassa ja kuumassa ilmastossa. Paneelit on asennettu UV-säteilyä kestäville, elintarvikelaatuisesta HDPE-muovista valmistetuille poijuille. Aurinkovoimalaan on myös asennettu nykyaikaiset digitaaliset valvontalaitteet, joiden avulla pystytään seuraamaan ympäristön olosuhteita kuten tuulen nopeutta, lämpötilaa ja auringon säteilyä, sekä mahdollisia poikkeamia paneelien toiminnassa. (Singapore International Water Week 2025)



Kuva 5. Tengehin tekojärven kelluva aurinkovoimala. Lähde: Singapore International Water Week (2025)

Toinen jo käytössä oleva ratkaisu on aurinkopaneelien asentaminen rakennusten katoille. Vuonna 2014 käynnistetty SolarNova-ohjelma, jonka ovat suunnitelleet Singaporen asuinsuunnittelusta vastaava asuinrakennus- ja kehityslautakunta (engl. *Housing and Development Board*) ja taloudellisesta kehityksestä vastaava talouskehityslautakunta (engl. *Economic Development Board*), tähtää aurinkopaneelien laajamittaiseen asentamiseen julkisten ja valtion omistamien rakennusten katoille. Ohjelman tavoitteena on kasvattaa Singaporen aurinkosähkökapasiteettia, sekä edistää sekä asuin- että yrityssektorin laajaa aurinkoenergian käyttöönottoa. Singapore saa vuosittain noin 2065 tuntia auringon säteilyä, jonka takia paneelien asentaminen on hyödyllistä ja järkevää. SolarNova -projekti tekee yhteistyötä esimerkiksi Singaporen aurinkoenergian tutkimuslaitoksen (engl. *Solar Energy Research Institute of Singapore*, SERIS) kanssa, joka tukee tutkimusta ja kehitystä erityisesti trooppisissa ja urbaanisissa ympäristöissä. Ohjelmaan osallistuu myös yksityisen sektorin toimijoita, jotka keskittyvät etenkin teknologiseen puoleen (Tribdino 2025).

Ohjelman ensimmäiset asennukset tapahtuivat jo vuonna 2015. Vuonna 2024 syntyi tavoite tuottaa 200 MWp aurinkosähköä ja asentaa paneeleita jopa 1180 rakennukseen vuoden 2027 loppuun mennessä. Tällä hetkellä projekti on Singaporen suurin

aurinkoenergiahanke sekä ohjelman suurin kokonaisuus. SolarNova -hanke on keskeinen osa Singaporen aurinkoenergiatavoitteita, sillä sen päämääränä on kasvattaa kapasiteettia 2 GWp vuoteen 2030 mennessä. Ohjelman on arvioitu tuottavan noin 420 gigawattituntia aurinkoenergiaa yhden vuoden aikana, mikä on merkittävä määrä hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Projektin tuottama energia siirtyy suoraan Singaporen sähköverkkostoon, mikä on tärkeää energiantuotannon kestävässä siirtymässä ja muutoksessa kohti omavaraisempaa sähköntuotantoa (Tribdino 2025)

Aurinkoenergiassa on kuitenkin omat haasteensa. Sen tuotanto on riippuvainen sääolosuhteista, jotka ovat Singaporessa hyvin vaihtelevia pilvisyyden ja runsaiden sadekuurojen, sekä monsuuniaikojen vuoksi. Tämän vuoksi maassa on otettu käyttöön energian varastointijärjestelmä ESS, joka pyrkii takaamaan kestävästä energiantuotannon olosuhteista riippumatta. Helmikuussa 2023 Singapore on ottanut käyttöön Kaakkois-Aasian suurimman energian varastointijärjestelmän Jurongin saarella (EMA 2023). Energian varastointijärjestelmien avulla pystytään säilömään puhtaasti tuotettua energiaa, jota voi hyödyntää tarpeen tullen. Ne ovat tärkeitä keksintöjä etenkin Singaporen kaltaisessa maassa, jonka kestävä energiantuotanto on riippuvainen auringon energiasta, mutta sääolosuhteet ovat hyvin nopeasti vaihtelevia.

Aurinkoenergia aiheuttaa myös ympäristö- ja terveysvaikutuksia liittyen aurinkopaneelien valmistukseen ja käyttöön. Aurinkopaneelien valmistukseen käytetään paljon raskasmetalleja ja muita haitallisia materiaaleja, kuten lyijyä ja kromia, jotka syntyvät raaka-aineiden louhinnan ja valmistusprosessin yhteydessä. Tämä tuottaa vaaran myös paneelien eliniän päätyttyä, jos niitä ei hävitä asianmukaisesti. Raskasmetallien joutuminen ympäristöön aiheuttaa suuren ympäristö- ja terveysriskin. Paneelien tuotantovaiheessa niiden tekoon käytetään myös esimerkiksi suola- ja rikkihappoa, joiden käsittely voi johtaa kemikaalien vapautumisen ympäristöön ja altistaa paneelien parissa työskentelevät vaarallisille aineille (Quek ym. 2018; 392). On tutkittu, että aurinkoenergian käytön lisäämisessä ihmisten myrkyllisyyspotentiaali (engl. *human toxicity potential*, HTP) kasvaa merkittävästi. HTP on mittari, joka arvioi erilaisten materiaalien, kuten kemikaalien, haitallisia vaikutuksia ihmiskehölle. Laskelmien

mukaan HTP voisi nousta jopa yli tuhatkertaiseksi nykytilanteeseen verrattuna, jos aurinkopaneeleilla tuotetun sähkön osuus olisi 97 % (Quek ym. 2018: 391).

4.5.2 Muita mahdollisuuksia

Alueelliset sähköverkot ovat myös yksi mahdollinen osa Singaporen kestäväan energiaan siirtymistä. Alueelliset sähköverkot mahdollistavat ympäristöystävällisempien energialähteiden hyödyntämisen maan rajojen ulkopuolelta. Vuoteen 2035 mennessä, Singaporella on tavoitteena tuoda 4 gigawattia vähähiilistä sähköä, mikä vastaisi noin 30 prosenttia ennustetusta sähkönkulutuksesta (Singapore Government 2025).

Tämän lisäksi maassa on tutkittu vähähiilisiä vaihtoehtoja energiantuotantoon, kuten hiilidioksidin, vedyn ja geotermisen energian hyödyntämistä. Maa on suunnitellut etenkin keskittyvänsä vedyn hyödyntämiseen päästökseen eroon hiilipäästöjä tuottavasta energiasta (Singapore Government 2025). Myös maanalaisia tunneleita ja muuta kaupungin alla olevaa tilaa voidaan hyödyntää muun infrastruktuurin sijoittamiseen, mikä voi mahdollisesti vapauttaa maanpäällistä tilaa esimerkiksi kestäväan energiantuotannon projekteille (Zhou & Zhao 2016).

Yli 95 % Singaporen sähköntuotannosta perustuu maakaasuun, joka tuodaan Malesiasta ja Indonesiasta (Quek ym. 2018). Tämän vuoksi on tärkeää huomioida myös naapurimaiden energiantuotannon kestävyys. On todennäköistä, että Singapore ei pysty tuottamaan itse tarvitsemaansa energiaa vaan tulee aina olemaan riippuvainen naapurimaidensa energiantuonnista. Maakaasu on fossiilinen polttoaine, joka tuottaa ympäristöpäästöjä. On siis huomioitava, että mikäli Länsi-Aasian energiantuotanto saataisiin ympäristöystävällisemmäksi, se tukisi merkittävästi myös Singaporen kestäväan siirtymää – etenkin kun maa on toistaiseksi lähes täysin tuontisähkön varassa.

Singaporen naapurimaista esimerkiksi Malesia, Indonesia, Thaimaa ja Filippiinit voivat laajentaa uusiutuvan energian käyttöä maissaan, etenkin lisäämällä aurinkovoiman ja vesivoiman hyödyntämistä (Moey ym. 2020: 103). Malesiassa, joka on suurin sähköntuoja Singaporeen, on korkea potentiaali vesivoiman hyödyntämiseen. Vuonna 2016 Malesian sähköntuotannosta 20 prosenttia perustui vesivoimakapasiteettiin. Malesiaan on myös

suunnitteilla Baléh -projekti, joka perustuu suureen vesivoimalan käyttöönottoon Sarawakin alueella. Baléh -projektin odotetaan olevan tärkeä ratkaisu siirtymässä kohti kestävämpää energiantuotantoa (Moey ym. 2020: 103). Tällaisten projektien avulla voidaan tukea myös Singaporen puhtaampaa energiantuotantoa, sillä maa tulee luultavasti olemaan hyvin pitkään riippuvainen naapurimaidensa energiantuotannosta. Onnistunut kestävä siirtymä vaatii kuitenkin tiivistä kansainvälistä yhteistyötä maiden välillä.

Singaporen naapurimaiden tulisi vahvistaa poliittisia käytäntöjään kestävän energiantuotannon tukemiseksi. Erilaisten tukien ja verojen avulla voitaisiin lisätä maiden puhtaampaa energiantuotantoa, jota voitaisiin viedä myös muihin maihin, kuten Singaporeen. Singaporen naapurimaat tarvitsevat tukea suuriin investointeihin ja infrastruktuurin kehittämiseen, sekä osaamisen ja tietoisuuden kasvattamiseen, joita Singaporen kaltaiset edelläkävijät voivat niille tarjota. Maiden rajat ylittävä yhteistyö energiantuotannon suhteen on avainasemassa koko Aasian siirtymässä kohti kestävämpää tulevaisuutta (Moey ym. 2020; 104). Esimerkiksi Malesian ja Singaporen välinen yhteistyö voisi olla molemmille osapuolille hyödyllinen yhtälö. Malesia tarvitsee apua uusissa innovaatioissa ja investointeja kestävän kehityksen projekteihin. Singapore tarvitsee taas maa-alaa, jota hyödyntää kestävässä sähköntuotannossa. Singaporelta löytyy osaamista ja resursseja uusien hankkeiden toteuttamiseen, kun taas Malesiasta löytyy vapaata tilaa niiden perustamiselle. Tämän vuoksi maiden välinen yhteistyö on tärkeää muutoksessa kohti kestävämpää tulevaisuutta ja se nousee Singaporen kannalta tärkeimmäksi ratkaisuksi energiantuotannon parantamisessa.

5 Keskustelu ja johtopäätökset

Singapore on kohdannut monia haasteita siirtyessään kestävämpään energiantuotantoon, ja tulevaisuus tuo varmasti mukanaan lisää vastoinkäymisiä. Suurimmat haasteet ovat valtion maantieteellinen sijainti, pieni koko, väestötiheys ja vapaan maa-alan puute (UNEP s.a.). Singaporessa on kuitenkin käynnissä erilaisia kestävän kehityksen hankkeita, kuten SolarNova ja Green Plan 2030, jotka pyrkivät edistämään Singaporen omavaraisuutta kestävässä energiantuotannossa ja kehittämään uusia ratkaisuja energiantuotannon ongelmille.

Singaporessa on tutkittu uusiutuvien energialähteiden mahdollisuuksia jo pitkään. On todettu, että ydinvoiman hyödyntäminen niin tiheästi asutussa kaupungissa muodostaa liian suuren riskin ihmiskunnalle (Quek ym. 2018). Vesivoimaa ei taas pystytä hyödyntämään Singaporen olosuhteiden vuoksi, sillä maassa on pääosin tynnet vesialueet, ei nopeasti virtaavia jokia, eikä suuria vuorovesivaihteluita. Tutkimusalue on myös melko tuuleton kohde, joka poissulkee tuulivoiman hyödyntämisen (NCCS s.a). Tilanpuutteen vuoksi tuulivoimaloiden massarakentaminen olisi muutenkin hyvin haastavaa. Biokaasua on pohdittu yhdeksi mahdolliseksi ratkaisuksi. Singapore kuitenkin muuttaa jo suuren osan jätteestään energiaksi, jonka takia biokaasu ei ole tulevaisuuden kannalta pätevä vaihtoehto (Singapore Government 2025). Singaporea voidaan pitää tietyllä tapaa epäedullisessa asemassa olevana maana, sillä vaikka resursseja ja halukkuutta kestävämmän energiantuotannon tukemiseen löytyy, muut tekijät, kuten maantieteellinen sijainti, rajoittavat uusiutuvan energian tuotantoa monin tavoin.

Muiden uusiutuvien energialähteiden poissulkemisen jälkeen jäljelle jää aurinkovoiman hyödyntäminen, joka on yksi potentiaalisimpia ratkaisuja kestävämpään energiantuotantoon siirtymisessä. Tietysti myös muita ratkaisuja, kuten alueellisia sähköverkkoja ja vedyn käyttöä on koitettu kehitellä, mutta ne ovat vielä melko alkutekijöissään ja vaativat lisää tutkimusta ja resursseja (Singapore Government 2025). Aurinkovoima on siis pisimmälle edennyt ratkaisu siirtymässä kohti omavaraisempaa sähköntuotantoa. Singaporen kaltaisessa valtiossa aurinkoenergiaa onkin kannattavaa hyödyntää ympärivuotisen säteilyn vuoksi. Vaikka erilaisten innovatiivisten

aurinkovoimaloiden avulla pystytään lisäämään Singaporen omavaraista ja puhdasta energiantuotantoa, pelkästään aurinkovoimalla ei pystytä vielä pitkään aikaan tuottamaan tarpeeksi energiaa täyttämään koko maan tarpeet. Aurinkovoimasta saatavan energian tulisi lisääntyä runsaasti, jotta se yksinään riittäisi tuottamaan kokonaisen kaupungin energiatarpeet. Kehitystä tapahtuu kuitenkin pikkuhiljaa, ja esimerkiksi energianvarastointijärjestelmien avulla pystytään jo varastoimaan aurinkopaneelilla tuotettua energiaa, jota pystyy lähettämään jakeluun pilvisinäkin päivinä (EMA 2023).

Aurinkovoiman lisäämiseen liittyy sään vaihtelevuuden ja teknologisten haasteiden lisäksi myös aurinkopaneelien valmistukseen ja käyttöön kytkeytyviä terveysriskejä. On tutkittu, että aurinkopaneelien valmistuksessa käytetään vaarallisia raskasmetalleja, jotka altistavat paneelien työntekijät terveysriskeille ja vaarantavat ympäristön (Quek ym. 2018: 392). Näiden riskien välttämiseksi on välttämätöntä turvata turvallinen paneelien elinkierto, jossa pidetään huolta materiaalien turvallisesta käsittelystä ja kierrätyksestä. On tärkeää, että paneelien turvallisesta käsittelystä pidetään huolta erilaisien sääntelytoimien avulla, kuten sopimuksien ja lakien avulla. Tulevaisuudessa uusien keksintöjen avulla paneelit tulisi myös valmistaa aineista, jotka eivät olisi haitallisia ihmisille ja ympäristöille. Aiheessa on vielä tarvetta jatkotutkimuksille ja toimenpiteille, jotta paneelien käytön riski voidaan minimoida.

Ihmisten asenteet kulutustottumusten muuttamista kohtaan toimivat yhtenä hidasteena kestävien energiamuotojen lisäämisessä. Vaikka teknologisia edistysaskelia tapahtuu jatkuvasti, ovat nykyiset kuluttajille tarjottavat energiansäästöalot ja muut ratkaisut vielä melko alkutekijöissään käyttäjäystävällisyyden suhteen (Bhati ym. 2017 231–239). Nämä kuluttajia koskevat energiansäästötoimet ja muut uudet keksinnöt pitäisi tuoda kuluttajien haltuun maltillisesti, jotta kulutustottumuksien muuttaminen ei tapahdu niin radikaalisti ja kuluttajat ehtivät vähitellen tottua uusiin teknologioihin ja toimintatapoihin. On tärkeää pitää ihmisten asenteet kestävää energiantuotantoa ja energian käyttöä kohtaan positiivisina ja avoinmielisinä muutoksille. On epätodennäköistä, että uudet ratkaisut saadaan kuluttajaystävällisiksi pakottamalla ihmiset omaksumaan nopeasti uusia, vaikeakäyttöisiä ratkaisuja.

Käytännöllisin ja todennäköisin lähestymistapa Singaporen kestävästä energiantuotannon lisäämisessä on ensisijaisesti tukea naapurimaiden siirtymistä kestävämpään energiantuotantoon, sillä toistaiseksi Singaporen energiasta yli 95 % tulee tällä hetkellä tuontisähköä naapurimaista (Quek ym. 2018). Ei siis ole kovin todennäköistä, että Singaporesta tulisi täysin omavarainen valtio lähiaikoina. Siksi olisi tärkeää tarkastella mahdollisuuksia muuttaa naapurimaiden sähköntuotanto kestävämmäksi. On tutkittu, että Malesiassa on suuri potentiaali vesivoiman hyödyntämiselle, joka voi olla yksi tärkeä ratkaisu myös Singaporen kestävässä siirtymässä (Moey ym. 2020; 104). Jos Malesian sähköntuotannosta saataisiin ympäristölle puhtaampaa, se vaikuttaisi suoraan Singaporen energiaystävällisyyteen. Tämä siirtymä vaatii kuitenkin lujaa yhteistyötä maiden välillä.

Lisäämällä tietoisuutta, tehokkaita tukijärjestelmiä, alueellista yhteistyötä ja uusia energiaratkaisuja, saataisiin Kaakkois-Aasiasta yhtenäisempi, energiatehokkaampi ja kestävämpi kokonaisuus. Koska Singapore on vauras valtio ja monella tapaa edelläkävijä innovaatioiden ja tiedon suhteen, sen tuki on ratkaisevaa naapurimaiden kestävästä energiantuotannon kehityksessä. Singapore on hyvin riippuvainen naapurimaidensa resursseista ja samalla voi hyötyä niiden vapaasta maa-alasta, jonka takia yhteistyö maiden välillä on loppupeleissä koko kestävästä kehityksen siirtymän ydin (Moey ym. 2020; 104).

Lopuksi voidaan todeta, että Singaporella on merkittäviä haasteita kestävästä energiantuotannon toteutuksessa, mutta innovatiivisilla ratkaisuilla, kansainvälisellä yhteistyöllä ja motivoituneella asenteella on mahdollista saavuttaa monia kestävästä kehityksen tavoitteita ja siirtyä kohti ympäristöystävällisempää energiantuotantoa. Täysin omavarainen energiantuotanto ei ole tapahtumassa vielä lähitulevaisuudessa, mutta valtiolla on hyvät valmiudet ja kunnianhimoinen asenne kestävästä energiantuotannon edistämiseen.

Lähteet

- Azhgaliyeva, D., Beirne, J. & Mishra, R. (2022) What matters for private investment in renewable energy? *Climate Policy* 23 (1) 71–87.
<https://doi.org/10.1080/14693062.2022.2069664>
- Bhati, A., Hansen, M. & Chan, C. M. (2017) Energy conservation through smart homes in a smart city: A lesson for Singapore households. *Energy Policy* 104 230–239.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.01.032>
- Central Intelligence Agency (2026) The World Factbook: Singapore – Transnational Issues. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/singapore/#transnational-issues> 25.1.2026
- Energy Market Authority (EMA) (2023) Southeast Asia’s Largest Energy Storage System Officially Opens. 2.2.2023 <https://www.ema.gov.sg/news-events/news/media-releases/2023/southeast-asias-largest-energy-storage-system-officially-opens> 22.1.2026
- Google Maps Satellite (2026) Singapore kartalla. Landsat / Copernicux Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO 3.2.2026
- Halawa, E. (2024) Sustainable Energy: Concept and Definition in the Context of the Energy Transition—A Critical Review. *Sustainability* 16(4) 1523.
<https://doi.org/10.3390/su16041523>
- Huhtinen, E. (2024) Kaupungit, tuulivoima ja energian pysäyttämätön liike: Laajentuneen urbanisaation ilmeneminen tuulivoimaa vastustavissa kommentaissa Vaara-Kainuussa. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, kaupunkitutkimuksen ja suunnittelun maisteriohjelma.
<https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/988ded50-310c-41b4-9188-d314283fa697/content>
- MarketLine (2025) Renewable Energy Industry Profile: Singapore. MarketLine Industry Profiles, 0116-0668.
- Moey, L. K., Goh, K. S., Tong, D. L., Chong, P. L., Adam, N. M. & Ahmad, K. A. (2020) A review on current energy usage and potential of sustainable energy in Southeast Asia countries. *Journal of Sustainability Science and Management* 15(2) 89–107.
<https://jssm.umt.edu.my/wp-content/uploads/sites/51/2020/05/10.15.2pdf.pdf> 29.2.2026
- Moriarty, P. & Honnery, D. (2011) What is the global potential for renewable energy? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1) 244–252.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.151>
- NCCS, National Climate Change Secretariat Singapore (s.a.) Singapore’s approach to alternative energy <https://www.nccs.gov.sg/singapores-climate-action/singapore-approach-to-alternative-energy/> 22.1.2026

- Neog, M. (2026). A comprehensive academic book review of Geography of Energy. *Journal of Geo Research* 1(1) 116-125 <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097086-8.72128-3>
- PUB, Singapore's National Water Agency (2024) Floating Solar Systems. PUB – Singapore's National water agency
<https://www.pub.gov.sg/Public/WaterLoop/Sustainability/Solar/Floating>
21.1.2026
- Quek, A., Ee, A., Ng, A. & Wah, T. Y. (2018) Challenges in Environmental Sustainability of renewable energy options in Singapore. *Energy Policy* 122 388–394.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.07.055>
- Singapore Government (2025) Energy Reset. Singapore Green Plan
<https://www.greenplan.gov.sg/key-focus-areas/energy-reset/> 20.1.2026
- Singapore Government (2025) Our Targets. Singapore Green Plan
<https://www.greenplan.gov.sg/targets/> 20.1.2026
- Singapore International Water Week (2025) *Sembcorp Tengeh Floating Solar Farm*
<https://www.siww.com.sg/spotlight-2023/programme/technical-site-visits/sembcorp-tengeh-floating-solar-farm> 2.2.2026
- Singapore Ministry of Sustainability and the Environment (2019) Why don't we use 100% renewable energy in Singapore? 30.12.2019 <https://www.mse.gov.sg/latest-news/newsletter-why-dont-we-use-100-percent-renewable-energy-in-singapore/> 21.1.2026
- Suomen Ympäristöministeriö (2023) Mitä on kestävä kehitys? 15.3.2023
<https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys> 21.1.2026
- Total energies (2025) Singapore – Energy Market. Installed power capacity (2021)
<https://solar.totalenergies.asia/countries/singapore/> 27.1.2026
- Tribdino, R. (2025) Singapore's Rooftop Solar Ambitions Are Expanding. CleanTechnica
<https://cleantechnica.com/2025/06/30/singapores-rooftop-solar-ambitions-are-expanding/> 26.1.2025
- United Nations (s.a.) Renewable energy. <https://www.un.org/en/climatechange/raising-ambition/renewable-energy> 22.1.2026
- United Nations Environment Programme (UNEP) (s.a.) Urban Energy
<https://www.unep.org/topics/cities/urban-energy> 22.1.2026
- University of Cambridge, Institute for Sustainability Leadership (CISL) (2024) What is the energy transition? <https://www.cisl.cam.ac.uk/news/blog/what-energy-transition> 22.1.2026
- World bank (2021) Electricity production from renewable sources, excluding hydroelectric

<https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=EG.ELC.RNWX.ZS&country=SGP> 20.1.2026

World Bank (2023) Population density

<https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=EN.POP.DNST&country=SGP> 20.1.2026

World Bank (2024) Population, total – Singapore World Population Prospects, United Nations <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=SG>
20.1.2026

Zhou, Y. & Zhao, J. (2016) Advances and Challenges in Underground Space Use in Singapore. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* 47(3) 85–95. <https://doi.org/10.14456/seagj.2016.29>