



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Vihreä siirtymä: Hopean rooli aurinkoenergiassa ja sähköisessä liikenteessä

Teemu Pyörälä

PROSESSI- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Kandidaatintyö

Maaliskuu 2023

TIIVISTELMÄ

Vihreä siirtymä: Hopean rooli aurinkoenergiassa ja sähköisessä liikenteessä

Teemu Pyörälä

Oulun yliopisto, prosessi- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2023, 25 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: TkT Jenni Ylä-Mella

Maailmanlaajuisen ilmastomuutoksen mukanaan tuomien ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan teknologista kehitystä. Tässä kehityksessä erilaiset metallit ovat materiaaleina ensiarvoisen tärkeässä roolissa, mutta samaan aikaan monen metallin varannot hupenevat kovaa vauhtia. Tämän työn tavoitteena on selvittää, riittääkö hopeaa aurinkopaneeliteollisuuden ja sähköistyvän liikenteen tarpeisiin, jotta vihreän siirtymän ja Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteet täyttyisivät.

Hopean tuotanto ja käyttö vähähiilisissä energia- ja liikeneratkaisuissa on tärkeä tutkimusaihe, koska hopea voi tulevaisuudessa olla saatavuudeltaan kriittinen materiaali. Tarkemmin tässä työssä käsitellään globaaleja ilmastotavoitteita, hopean roolia näiden tavoitteiden saavuttamisessa, hopean varantoja ja tarjontaa, hopean tarvetta ja käyttöä erityisesti aurinkopaneeli- ja autoteollisuudessa sekä mahdollisten hopean saatavuusongelmien vaikutuksia globaaleihin ilmastotavoitteisiin. Tutkimusmenetelmänä tässä työssä käytetään kirjallisuuskatsausta.

Työn keskeisin tulos on, etteivät nykyiset hopean tuotantomäärät ole riittäviä eri alojen, erityisesti aurinkopaneeli- ja autoteollisuuden, kasvavaan kysyntään nähden. Hopean tuotanto on viime vuosina ollut noin 21 000 tonnia vuodessa globaalisti tarkasteltuna, josta pelkästään autoteollisuuden hopean tarpeen täyttämiseksi kuluisi tulevaisuudessa noin 4 500 tonnia. Mikäli rahoitusmarkkinoiden ongelmat kyetään ratkaisemaan, voi olla, että hopean kaivostuotantoa voidaan hetkellisesti tulevaisuudessa kasvattaa. Pitkällä aikavälillä tämä ei kuitenkaan ole kestävä ratkaisu, koska maankuoren hopeavarannot ovat rajalliset.

Tulokset antavat mielenkiintoisia lähtökohtia tuleviin tutkimuksiin. Niissä voitaisiin selvittää keinoja esimerkiksi hopean kierrätyksen tehostamiseksi tai korvaavien materiaalien kehittämiseksi, jotta hopean saatavuusongelmat ja maailmanlaajuisten ilmastotavoitteiden vaarantuminen voitaisiin välttää.

Asiasanat: vihreä siirtymä, hopea, aurinkoenergia, sähköinen liikenne

ABSTRACT

Green transition: The role of silver in solar energy and electric transport

Teemu Pyörälä

University of Oulu, Degree Programme of Process and Environmental Engineering

Bachelor's thesis 2023, 25 pp.

Supervisor(s) at the university: D.Sc.(Tech.) Jenni Ylä-Mella

Technological development is needed to solve the problems brought about by global climate change. In this development, various metals play a paramount role as materials, but at the same time, the reserves of many metals are dwindling rapidly. The aim of this thesis is to find out if there is enough silver for the needs of the solar panel industry and electrified transport in order to meet the goals of the green transition and the Paris climate agreement.

The production and use of silver in low-carbon energy and transport solutions is an important research topic, because in the future silver may be a critical material in terms of availability. In more detail, this thesis discusses the global climate goals, the role of silver in achieving these goals, silver reserves and supply, the need and use of silver especially in the solar panel and automotive industry, and the effects of possible silver availability problems on global climate goals. The research method used in this thesis is a literature review.

The most important finding of the thesis is that the current silver production volumes are not sufficient in relation to the growing demand of various sectors, especially the solar panel and automotive industries. In recent years, silver production has been around 21,000 tons per year globally, of which around 4,500 tons would be needed in the future just to meet the automotive industry's need for silver. If the problems in the financial market can be solved, it may be that silver mining production can be temporarily increased in the future. In the long term, however, this is not a sustainable solution, as silver reserves in the earth's crust are limited.

The findings provide interesting starting points for future studies. They could, for example, explore ways to improve the recycling of silver or to develop replacement materials, so that silver availability problems and jeopardization of global climate goals could be avoided.

Keywords: green transition, silver, solar energy, electric transport

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYSLUETTELO

1 Johdanto.....	7
2 Globaalit ilmastotavoitteet ja vihreä siirtymä.....	8
2.1 Pariisin ilmastosopimus	8
2.2 Vihreä siirtymä	9
2.3 EU:n aurinkoenergiastrategia	9
2.4 Fit for 55: Nollapäästöiset kulkuneuvot	10
2.5 Materiaalit uusiutuvan energian teknologioissa	12
3 Hopean varannot ja tarjonta.....	13
4 Aurinkopaneeli- ja autoteollisuuden hopean tarve	16
4.1 Hopea autoteollisuudessa	17
4.2 Hopea aurinkopaneeliteollisuudessa	18
5 Pohdinta.....	21

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Maailmanlaajuinen ilmastonmuutos on eräs merkittävimpiä ihmiskunnan haasteita tällä vuosisadalla. Ilmastonmuutoksen mukanaan tuomien ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan teknologista kehitystä, jotta fossiilisten polttoaineiden käyttöä voidaan vähentää. Tässä kehityksessä erilaiset metallit ovat materiaaleina ensiarvoisen tärkeässä roolissa. Kuitenkin samaan aikaan monen metallin varannot hupenevat kovaa vauhtia, mikä on herättänyt huolia näiden metallien saatavuudesta.

Tässä työssä tutkitaan kirjallisuuskatsauksen avulla hopean tuotantoa ja käyttöä vähähiilisissä energia- ja liikenneratkaisuissa; Riittääkö hopeaa aurinkopaneeli-teollisuuden ja sähköistyvän liikenteen tarpeisiin, jotta vihreän siirtymän ja Pariisin ilmastopimuksen tavoitteet täyttyisivät? Tähän kysymykseen etsitään vastauksia, koska hopea voi tulevaisuudessa olla saatavuudeltaan kriittinen materiaali, jonka merkittävyys muun muassa EU:n ilmastotavoitteiden kannalta on todennäköisesti huomattava.

Aluksi tässä työssä käsitellään EU:n ilmastotavoitteita Pariisin ilmastopimuksen ja vihreän siirtymän tavoitteiden näkökulmasta, ja pohditaan hopean roolia näiden tavoitteiden saavuttamisessa. Seuraavaksi perehdytään hopean varantoihin ja tarjontaan, jonka jälkeen tarkastellaan hopean tarvetta ja käyttöä erityisesti aurinkopaneeli- ja autoteollisuudessa. Lopuksi pohditaan mahdollisten hopean saatavuusongelmien vaikutuksia globaaleihin ilmastotavoitteisiin.

2 GLOBAALIT ILMASTOTAVOITTEET JA VIHREÄ SIIRTYMÄ

Teollisen vallankumouksen myötä fossiilisten polttoaineiden käyttö on lähtenyt jyrkkään kasvuun aiheuttaen useita negatiivisia vaikutuksia, mukaan lukien maailmanlaajuisen ilmastomuutoksen. Ilmastomuutoksen pääsyynä ovat kasvihuonekaasupäästöt, joita aiheutuu ihmistoiminnoista, kuten väestön kasvusta, metsäalan pienentymisestä, maataloudesta ja kaupungistumisesta. (Climate Change Service 2021; Borowski 2020, Regufe et al. 2021 mukaan) Muun muassa näiden toimintojen aiheuttamien haittojen pienentämiseksi ja ehkäisemiseksi, valtiot solmivat Pariisin ilmastosopimuksen, johon myös EU:n jäsenmaat ovat sitoutuneet.

2.1 Pariisin ilmastosopimus

Vuonna 2015 solmittu Pariisin ilmastosopimus ohjaa keskeisellä tavalla EU:n ilmastotavoitteita ja -politiikkaa. Sopimuksen mukaan keskilämpötilan nousu maapallolla halutaan rajoittaa vähintään reilusti alle 2 celsiusasteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna, minkä lisäksi valtioiden välisenä pyrkimyksenä on pysäyttää keskilämpötilan nousu jo 1,5 celsiusasteeseen suhteessa esiteolliseen aikaan (Eurooppa-neuvosto 2022a). Näiden ilmastotavoitteiden saavuttaminen edellyttää massiivisia toimia. Vuonna 2030 EU:n päästöjen tulisi olla 55 % pienemmät, ja vuonna 2050 EU:n tavoite on olla kasvihuonekaasuneutraali, eli tällöin EU:n kasvihuonekaasupäästöjen ja -poistumien tulisi olla tasapainossa (Eurooppa-neuvosto 2021; Hiilineutraalisuomi.fi 2021). Päästöillä tarkoitetaan tässä tapauksessa kasvihuonekaasujen nettopäästöjä, jotka kuvaavat päästöjen ja poistumien välistä erotusta. Varsinaiset päästöjen leikkaustavoitteet vertautuvat vuoden 1990 tasoihin. (Eurooppa-neuvosto 2022b; Hiilineutraalisuomi.fi 2021)

Pariisin ilmastosopimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi netto-nollapäästöjen, eli ihmisen aiheuttamien päästöjen ja kasvihuonekaasujen nielujen välisen tasapainon toteutuminen on välttämätöntä. Monia projekteja ja strategioita onkin kehitetty nykyisten järjestelmien parantamiseksi ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi, ja uusia menetelmiä kehitetään jatkuvasti. (Regufe et al. 2021) Yhteistä näille toimille on niin sanotun vihreän siirtymän edistäminen, joka on myös EU:n päätöksenteon keskiössä.

2.2 Vihreä siirtymä

Suomen Ympäristöministeriön (2022) mukaan vihreä siirtymä kuvaa muutosta luonnonvarojen ylikulutuksesta ja fossiilisista polttoaineista riippumattomaan talouteen. Vihreän siirtymän edesauttama kestävä talous perustuu ennen kaikkea laaja-alaiseen vähähiilisyteen ja kiertotalouteen sekä luonnon monimuotoisuuden parantamiseen. Näihin periaatteisiin nojautuvan talouden rakentaminen perustuu taas päätöksiin, joita tehdään esimerkiksi yrityksissä, teollisuudessa ja kansalaisten keskuudessa. Toimia tarvitaan kaikilla päätöksenteon portailla, jotta luonnonvarojen ylikulutus ja ilmasto- sekä luontokriisin paheneminen voidaan pysäyttää. (Ympäristöministeriö 2022)

EU-tasolla vihreä siirtymä kytkeytyy vahvasti Vihreän kehityksen ohjelmaan. Ohjelma pyrkii muun muassa vihreän teknologian tuella edistämään talouden kasvua, vähentämään saasteiden määrää ja kehittämään ekologista liikennettä. Näiden päämäärien edistäminen auttaa osaltaan EU:ta vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja lähestymään ilmastoneutraaliutta samaan aikaan, kun talouden rakenteita uudistetaan. (Euroopan komissio 2022a)

Kestävä kehitys ja ihmisten hyvinvointi ovat keskiössä vihreän siirtymän mukaisissa poliittisissa päätöksissä ja toimissa. Lisäksi eri alojen, kuten energia-, liikenne-, maatalous- ja ruokasektorin yhteistyötä tarvitaan vihreän siirtymän keskeisimpien tavoitteiden saavuttamiseksi. Näihin tavoitteisiin lukeutuvat muun muassa puhtaan energian tuotannon lisääminen, energia- ja resurssitehokas rakentaminen sekä puhdas ja myrkytön ympäristö. (Ejdys & Szpilko 2022)

2.3 EU:n aurinkoenergiastrategia

Kokonaisuutena energiasectori kattaa 75 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä EU:ssa, mikä tarkoittaa, että ilmastotoimet tällä sektorilla ovat erityisen ratkaisevia EU:n hiilineutraaliustavoitteiden kannalta (Eurooppa-neuvosto 2022c). Yksi keskeinen ratkaisu energiasektorin päästöjen leikkaamiseksi on vähäpäästöisten energiantuotantomuotojen, kuten tuuli- ja aurinkovoiman, yhä laajamittaisempi käyttöönotto. Direktiivissä, joka käsittelee uusiutuvaa energiaa, edellytetään vuonna 2030 uusiutuvan energian kattavan 32 % tai mahdollisesti 40 % energiamarkkinoista EU:ssa (Eurooppa-neuvosto 2022b).

Eräs potentiaalisimmista uusiutuvan energian lähteistä on aurinkoenergia. Vuosien 2009 ja 2018 välillä aurinkovoimalla tuotetun energian määrä globaalisti kasvoi 20 terawattitunnista 585 terawattituntiin samaan aikaan, kun aurinkovoimalla tuotetun energian hiilidioksidipäästöt kilowattituntia kohden ovat verrattain hyvin pienet. Tyypillisimpien piipohjaisten aurinkokennojen tuottaman energian hiilidioksidipäästöt kilowattituntia kohden ovat keskimäärin noin 50 grammaa, kun taas koko energiasektorin globaali keskiarvo vuonna 2020 oli 440 grammaa per kilowattitunti. (Romero Pereira & Sanchez Coria 2022)

Aurinkosähköteknologioilla voidaan saavuttaa monia hyötyjä talouteen ja ilmastoon liittyen. Yhdessä aurinkosähköteknologioiden kustannusten laskun kanssa nämä hyödyt tekevät aurinkosähköstä erittäin kilpailukykyisen sähkön lähteen. Lisäksi aurinkoenergia-ala luo uusia startup-yrityksiä, liiketoimintamalleja ja työpaikkoja. (Euroopan komissio 2022b)

REPowerEU-suunnitelma on keskeinen osa EU:n aurinkoenergiastrategiaa. Suunnitelman tavoitteena on lopettaa EU:n riippuvuus venäläisistä fossiilisista polttoaineista, ja tämän tavoitteen saavuttamisessa aurinkoenergia on tärkeässä roolissa. Vuoteen 2025 mennessä pyrkimyksenä on kasvattaa aurinkosähkön osuus yli 320 gigawattiin, ja edelleen noin 600 gigawattiin vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan komissio 2022b)

Aurinkoenergiastrategiassa käsitellään toimia aurinkosähkön käyttöönoton helpottamiseksi, vastuullisten aurinkosähkötuotteiden saatavuuden parantamiseksi ja kansainvälisen yhteistyön vahvistamiseksi aurinkoenergiaan liittyvissä kysymyksissä. Näiden tavoitteiden saavuttamiseen pyritään esimerkiksi lisäämällä katoille asennettavien aurinkopaneelien määrää, parantamalla yhteistyötä EU:n ja aurinkopaneeliteollisuuden välillä sekä kehittämällä aurinkoenergia-alan koulutusta. Kaikkien toimien yhteisvaikutuksella tähdätään aurinkoenergian tuotannon massiiviseen lisäämiseen. (Euroopan komissio 2022b)

2.4 Fit for 55: Nollapäästöiset kulkuneuvot

Toinen merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde EU:ssa on liikennesektori. EU:n kasvihuonekaasupäästöistä 20 % tulee liikenteestä, ja näistä päästöistä lähes puolet ovat

henkilöautojen aiheuttamia. Toisin kuin esimerkiksi energiasektorilla, liikennesektorilla päästöt ovat kasvaneet myös viime vuosina. Tämän vuoksi uusia vähäpäästöisiä liikkumismuotoja kehitetään jatkuvasti. (Sacchi et al. 2022)

Erään potentiaalisimmista vaihtoehdoista liikenteen päästöjen leikkaamiseksi tarjoavat sähköllä toimivat ajoneuvot. Sähköllä toimivien ajoneuvojen etuna on pakokaasupäästöjen puuttuminen, ja monet viimeaikaiset tutkimukset ovat osoittaneet myös niiden elinkaaren aikaisten päästöjen olevan pienemmät verrattuna tavallisiin polttomoottorilla toimiviin ajoneuvoihin. Vertailtaessa puolestaan akkukäyttöisen sähköajoneuvon ja bensiinikäyttöisen hybridiajoneuvon elinkaaren aikaisia hiilidioksidipäästöjä kilometriä kohden huomataan, että akkukäyttöisen sähköajoneuvon päästöt ovat noin puolet pienemmät verrattuna bensiinikäyttöisen hybridiajoneuvon päästöihin. Vertailu koskee Ranskassa käytössä ollutta keskikokoista henkilöautoa vuonna 2020. (Sacchi et al. 2022)

Fit for 55 -paketin nimi viittaa EU:n tavoitteeseen vähentää 55 % kasvihuonekaasujen nettopäästöjä vuoteen 2030 mennessä. Paketti sisältää joukon ehdotuksia EU:n lainsäädännön kehittämiseksi, jotta päätetyt ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa. Yksi ehdotuksista on kieltää polttomoottorilla toimivien paketti- tai henkilöautojen tuominen EU:n markkinoille vuodesta 2035 alkaen. Euroopan parlamentin ja Eurooppa-neuvoston välisen yhteisymmärryksen myötä tämän ehdotuksen mukaiset toimet ollaan myös toteuttamassa. (Eurooppa-neuvosto 2022d; Euroopan komissio 2022c)

Välitavoitteena kohti nollapäästöisiä kulkuneuvoja, uusien pakettiautojen keskimääräisistä päästöistä leikataan 50 %, ja uusien henkilöautojen keskimääräisistä päästöistä 55 % ennen vuotta 2030. Samalla halutaan edistää entistä ekologisempien kulkuneuvojen tuotantoa ja myyntiä, sekä ottaa askelia kasvihuonekaasuneutraalin maantieliikenteen saavuttamiseksi. Näin saavutetaan myös puhtaampi hengitysilma, ja vähennetään riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. (Euroopan komissio 2022c)

Nollapäästöisiä kulkuneuvoja koskevan lainsäädännön lopullinen voimaantulo vaatii vielä hyväksymisen Euroopan parlamentilta ja Eurooppa-neuvostolta. Tämän jälkeen lainsäädäntö tukee entistä paremmin kansallisten ilmastotavoitteiden saavuttamista EU:n jäsenvaltioissa ja teknologisten innovaatioiden kehittämistä. Samalla edistetään tavoitetta tehdä Euroopasta ensimmäinen kasvihuonekaasuneutraali maanosa ennen vuotta 2050. (Eurooppa-neuvosto 2022d; Euroopan komissio 2022c)

2.5 Materiaalit uusiutuvan energian teknologioissa

Saatavuudeltaan niukat materiaalit ovat herättäneet huolen siitä, voidaanko uusiutuvia ja hiilivapaita energiantuotantomuotoja hyödyntää yhtä paljon kuin haluttaisiin. Jotta esimerkiksi aurinkopaneeliteollisuus voi lisätä tuotantoaan massiivisesti, täytyy indiumiin, hopeaan ja vismuttiin liittyvät kulutusongelmat ratkaista. Myös alumiinia, kuparia ja terästä kuluu aurinkopaneeliteollisuudessa paljon, mutta niiden saatavuuden uskotaan myös tulevaisuudessa olevan riittävää. (Zhang et al. 2021)

Myös autot ovat erittäin monimutkaisia tuotteita, joihin kuluu laaja joukko erilaisia materiaaleja. Autoteollisuudessa käytetään esimerkiksi raskasmetalleja, kuten lyijyä, elohopeaa ja kadmiumia (Lukin et al. 2022), mutta saatavuudeltaan erityisen kriittiset mineraalit autoteollisuuden kannalta ovat muun muassa litium, koboltti ja nikkeli (Czerwinski 2022). Myös hopea, jonka käyttö autoteollisuudessa on lisääntynyt nollapäästöisten kulkuneuvojen valmistuksen myötä (Silver Institute 2021), voi tulevaisuudessa olla kriittinen mineraali.

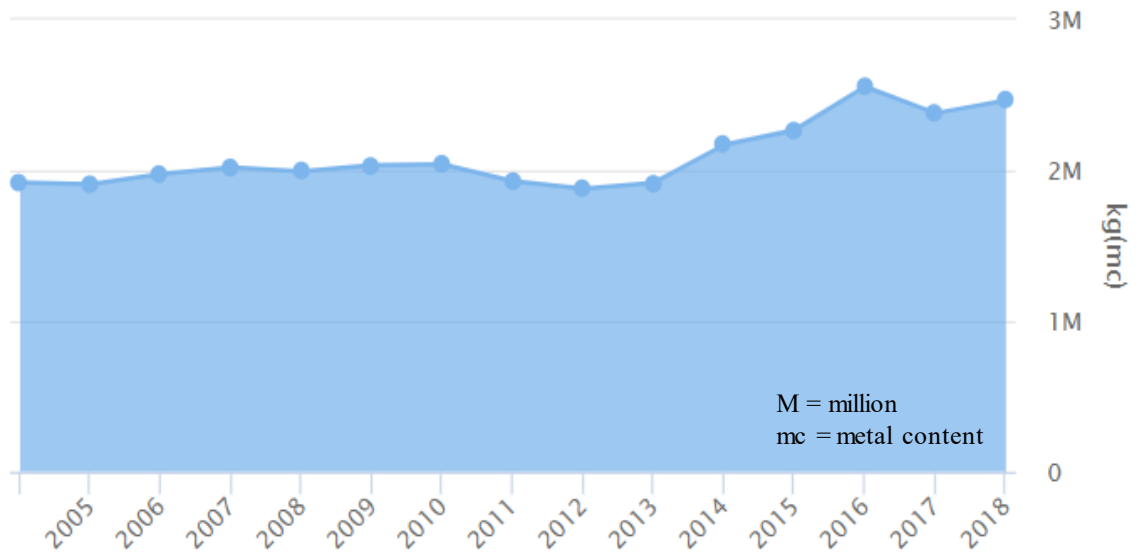
Koska sekä aurinkopaneelit että sähköiset ajoneuvot ovat nykyään merkittäviä sektoreita hopean kulutuksen kannalta (Mishra et al. 2021; Silver Institute 2021), on hopean saatavuus näillä aloilla erityisen tärkeää. Hopeaa käytetään paljon, koska sen ominaisuuksiin lukeutuvat korkein heijastavuus, lämmön- ja sähkönjohtavuus kaikista metalleista. Lisäksi hopealla on korkea stabiilisuus ilmassa ja vedessä sekä erittäin hyvä korroosion kestävyys. (Wu et al. 2017) Hopean saatavuus on kuitenkin monimutkainen kokonaisuus, johon kenties keskeisimmin vaikuttavat jäljellä olevat varannot, tarjonta ja kulutus muilla sektoreilla. Muun muassa näiden kokonaisuuksien hahmottaminen auttaa puolestaan arvioimaan aurinkopaneeliteollisuuden ja sähköistyvän liikenteen hopean tarpeen täyttymistä tulevina vuosina ja vuosikymmeninä.

3 HOPEAN VARANNOT JA TARJONTA

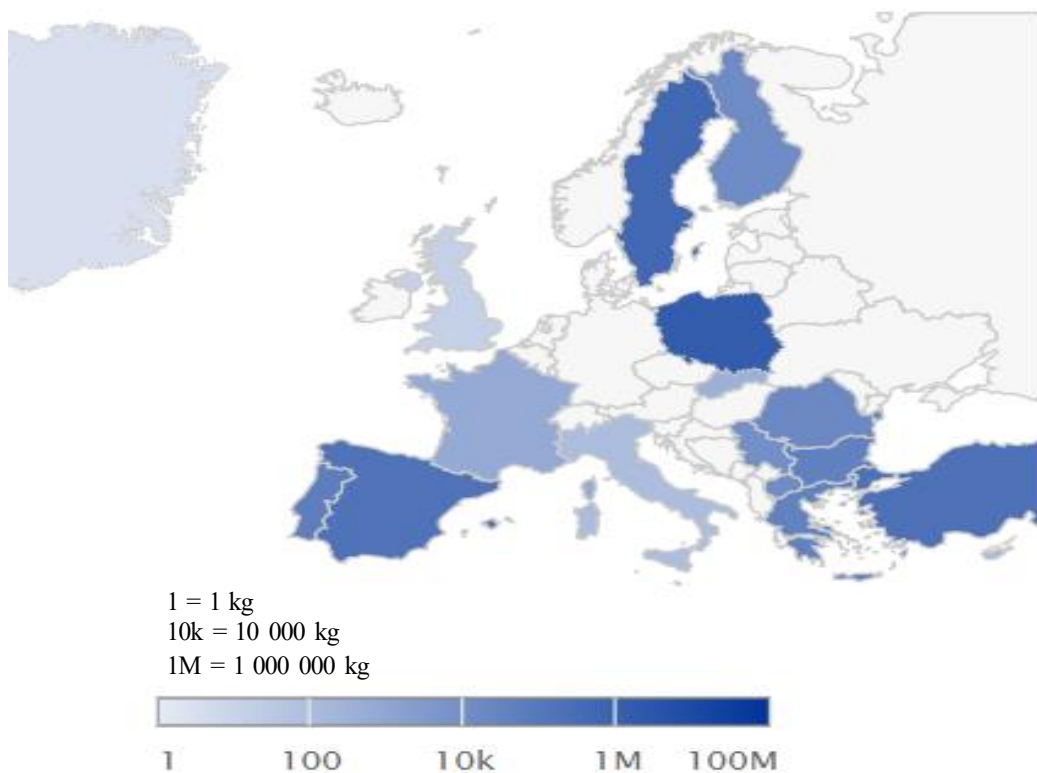
Viime aikoina hopean kulutus on kasvanut samaan aikaan, kun hopean tuotantomäärät eivät ole pysyneet kehityksessä mukana. Hopean ja monen muun metallin kysynnän kasvu viime vuosikymmeninä on johtunut pitkälti sähkö- ja elektroniikkateollisuuden huomattavasta kasvusta. Samaan aikaan hopeavarannot ovat pienentyneet, hopean markkinahinta on laskenut ja tuotantokustannukset ovat nousseet. (Mishra et al. 2021) Hopean markkinahinnan vaihteluihin kysynnän ja tarjonnan laki on vaikuttanut vähemmän, ja rahoitusmarkkinoiden epävakaus enemmän (Zhang et al. 2021) Kaikki nämä tekijät ovat heikentäneet kaivostoiminnan kannattavuutta, ja edelleen vaikuttaneet negatiivisesti tuotannon kykyyn vastata kasvavaan hopean tarpeeseen. (Mishra et al. 2021)

Hopeaa louhitaan ympäri maailmaa, muun muassa Pohjois-Amerikassa, Australiassa ja Euroopassa, ja sitä saadaan pääasiassa sivutuotteena kulta-, kupari- ja lyijy-sinkkikaivoksista. Maailmanlaajuisesti tarkasteltuna vuonna 2021 maailman suurin hopean tuottaja oli Meksiko (5600 tonnia), toiseksi suurin Kiina (3400 tonnia) ja kolmanneksi suurin Peru (3000 tonnia). Kaksi kolmasosa maailman hopeavarannoista sijaitsee polymetallisissa malmiesiintymissä, ja viimeisimmät hopealöydöt on tehty kultaesiintymien yhteydessä. Kuitenkin myös kupari- ja lyijy-sinkkiesiintymät kattavat edelleen merkittävän osan hopeavarannoista myös tulevaisuudessa. (U.S Geological Survey 2022)

Euroopan metalliteollisuus saa tarvitsemansa metallimalmin pääasiassa ulkomailta. Kuitenkin EU on esimerkiksi hopean, kuparin ja lyijyn suhteen merkittävä tuottaja. (Euroopan komissio 2022d) Hopean tuotanto Euroopassa on pysynyt melko muuttumattomana vuosina 2005–2018 lukuun ottamatta vuosia 2013–2016, jolloin hopean tuotanto on kasvanut noin 2 miljoonasta kilogrammasta noin 2,5 miljoonaan kilogrammaan (Kuva 1). Tuotannon kasvua näinä vuosina selittää Euroopan suurimpien hopeantuottajamaiden, erityisesti Puolan, lisääntynyt kaivostuotanto (Kuva 2; Minerals4EU 2023).



Kuva 1. Hopean tuotanto Euroopassa (Minerals4EU 2023).



Kuva 2. Hopean tuotanto Euroopan maissa (Minerals4EU 2023).

Kokonaisuudessaan maailmassa tuotettiin vuonna 2021 hopeaa 24 000 tonnia, joka oli 500 tonnia enemmän kuin vuonna 2020 (U.S Geological Survey 2022). Vuosina 2018 ja 2019 globaali kaivostuotanto kuitenkin pieneni huomattavasti (Kuva 3).

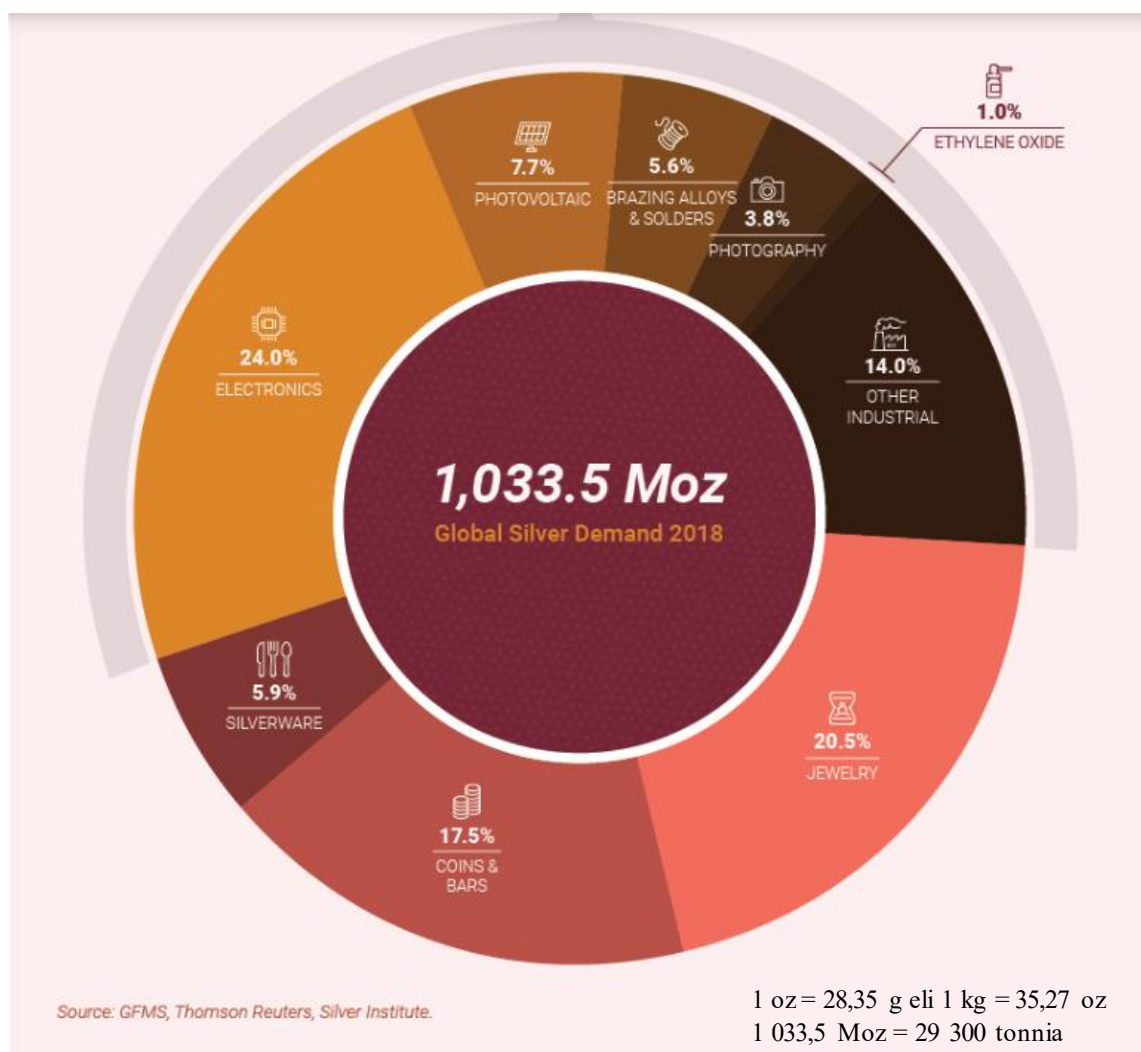


Kuva 3. Globaali hopean tarjonta lähteittäin (LePan 2020) (lähde: VisualCapitalist 2022).

Maailmassa jäljellä olevien hopeavarojen arvioidaan puolestaan olevan noin 530 000 tonnia, josta 120 000 tonnia sijaitsee Perussa (U.S Geological Survey 2022). Huomattava on myös, että ainoastaan tietty osa maankuoren hopeavarammoista on taloudellisesti kannattava hyödyntää (Zhang et al. 2021).

4 AURINKOPANEELI- JA AUTOTEOLLISUUDEN HOPEAN TARVE

Monipuolisten käyttöominaisuuksiensa vuoksi hopeaa käytetään laajasti eri sektoreilla (Kuva 4). Vuonna 2018 elektroniikkateollisuuden hopean tarve oli 24 % globaalista hopean tarpeesta, ja samalla elektroniikkateollisuus oli hopean tarpeeltaan suurin sektori. Hopean tarpeeltaan toiseksi suurin sektori oli koruteollisuus (20,5 %) ja kolmanneksi suurin kolikko- ja harkkoteollisuus (17,5 %). Aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarve oli 7,7 % globaalista hopean tarpeesta.



Kuva 4. Globaali hopean tarve (LePan 2019) (lähde: VisualCapitalist 2022).

Vuonna 2020 aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarve oli kasvanut 2860 tonniin kattaen samalla 10,3 % maailmanlaajuisesta hopean tarjonnasta. Vuonna 2040 autoteollisuuden hopean tarpeen arvioidaan puolestaan olevan noin 4500 tonnia eli 15 %

maailmanlaajuisesta hopean tarjonnasta, kun taas vuonna 2019 vastaava luku oli 5 % eli 1600 tonnia. Myöskin elektroniikkateollisuuden hopean tarve tulee erittäin todennäköisesti tulevaisuudessa edelleen kasvamaan, koska kehittyneemmät laitteet tarvitsevat toimiakseen monimutkaista virtapiiriteknologiaa, jonka toteuttaminen vaatii enemmän hopeaa verrattuna nykyisiin ratkaisuihin. (Zhang et al. 2021)

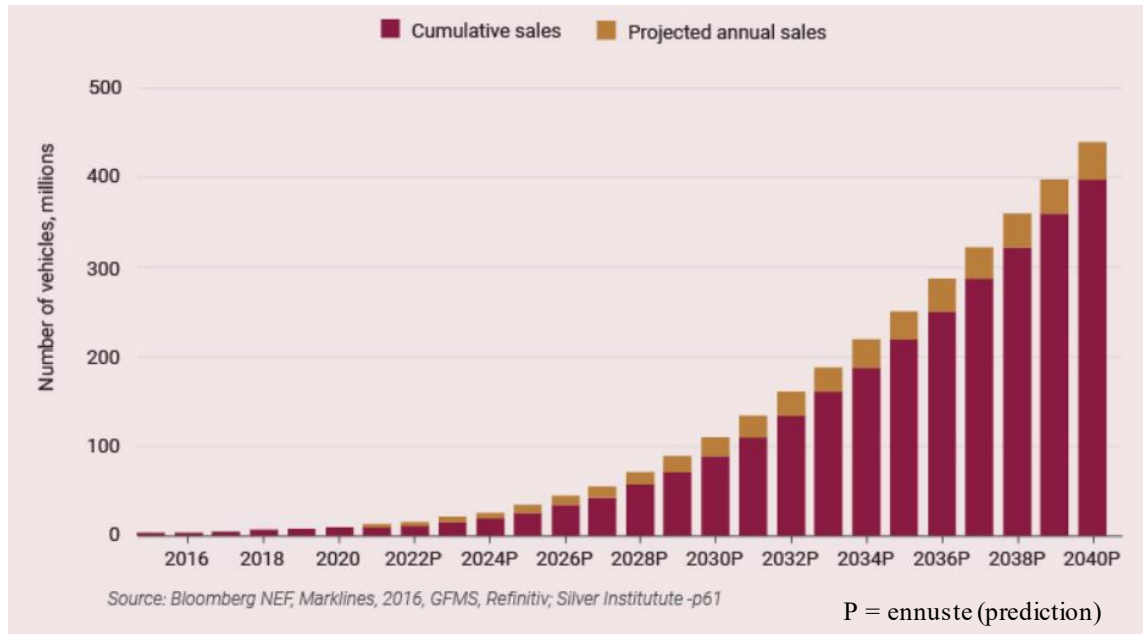
Jyrkästi kasvavasta hopean kysynnästä johtuen tulevaisuudessa syntyy todennäköisesti huolia hopean saatavuuden ja hinnan suhteen eri aloilla (Zhang et al. 2021). Erityisesti aurinkopaneeli- ja autoteollisuudessa hopean saatavuusongelmat saattaisivat näkyä erityisen rajusti, koska näillä aloilla hopean tarpeen kasvu on erittäin nopeaa. Samaan aikaan nämä alat ovat avainasemassa esimerkiksi ilmastonmuutoksen torjunnassa, joten ongelmat hopean saatavuudessa voivat heijastua myös ilmastotavoitteiden toteutumiseen.

4.1 Hopea autoteollisuudessa

Hopean käytön kasvu autoteollisuudessa johtuu muun muassa sen erinomaisista sähköisistä ominaisuuksista sekä oksidikestävyydestä. Hopeaa käytetäänkin monipuolisesti erilaisissa autoteollisuuden sovelluksissa, joista monet kriittisiä turvallisuuden ja ympäristövaikutusten kannalta. Toisin kuin platinaryhmän metallit, hopea ei kuitenkaan vielä ole herättänyt merkittävää huolta autoissa käytettävien komponenttien valmistajien keskuudessa. Tämä johtuu siitä, että hopeaa on ollut riittävästi saatavilla, eikä sen käyttö ole keskittynyt yhteen komponenttiin. (Silver Institute 2021) Tilanne voi kuitenkin tulevaisuudessa muuttua, kun hopean tarve kasvaa eri aloilla.

Erityisesti sähköisissä ohjausyksiköissä hopeaa hyödynnetään paljon ohjaamon ja moottorin toimintojen hallinnan mahdollistajana. Kevyessä polttomoottorilla toimivassa ajoneuvossa arvioidaan nykyisin olevan 15-28 grammaa hopeaa per ajoneuvo, kun taas täyssähköajoneuvoissa hopeaa tarvitaan 25-50 grammaa per ajoneuvo. Huomattava on myös, että itseohjautuvissa ajoneuvoissa hopean tarve kasvaa entisestään monimutkaistuvien hallintajärjestelmien myötä. Kokonaisuutena autoteollisuuden hopean tarpeen arvioidaan kasvavan noin 2 551 000 kilogrammaan vuoteen 2025 mennessä. Myöskin latauspisteet ja -asemat tarvitsevat toimiakseen hopeaa, ja myös niiden määrä tulee kasvamaan yleistyvien sähköajoneuvojen myötä (Silver Institute 2021)

Liikennesektorilla CO₂-päästönormit, jotka koskevat paketti- ja henkilöautoja, ovat viime aikoina tiukentuneet koskien vuotta 2030. Lisäksi nollapäästöisiä kulkuneuvoja koskevan lainsäädännön lopullisen hyväksymisen myötä uusia polttomoottorilla toimivia paketti- tai henkilöautoja ei enää tulevaisuudessa voida tuoda markkinoille EU:ssa (Eurooppa-neuvosto 2022c). Tämän tavoitteen toteuttaminen kiihdyttää omalta osaltaan sähköisten ajoneuvojen myyntiä, jonka ennustetaan kasvavan jyrkästi tulevina vuosina ja vuosikymmeninä (Kuva 5).



Kuva 5. Maailmanlaajuinen sähköautojen kumulatiivinen ja ennustettu vuosittainen myynti (miljoonaa kappaletta) vuodesta 2015 vuoteen 2040 (LePan 2021) (lähde: VisualCapitalist 2022)

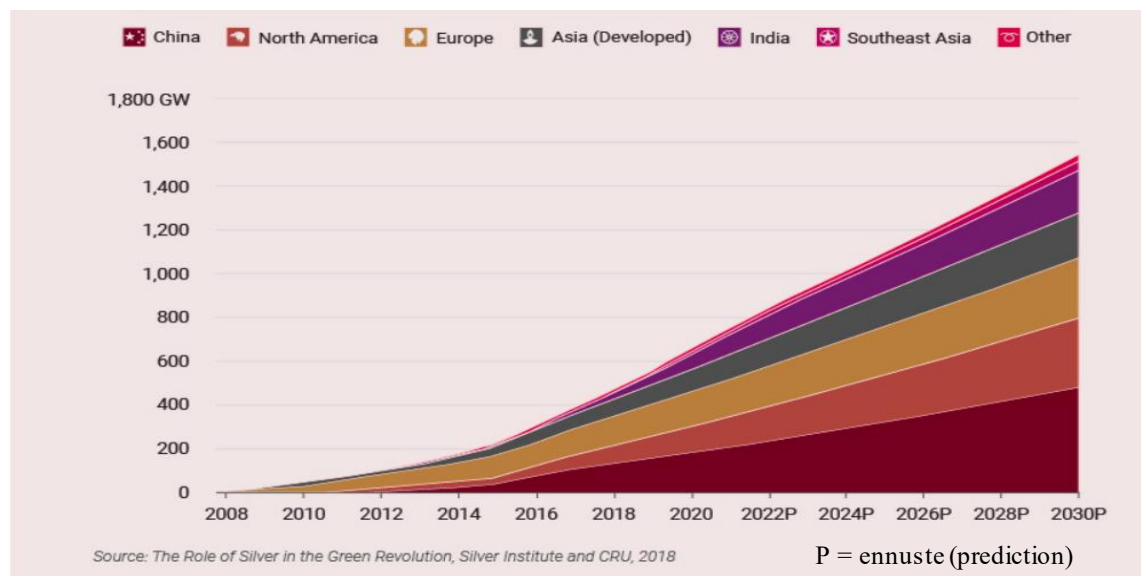
Hopea on merkittävä materiaali myös esimerkiksi sähköajoneuvojen akuissa. Hopea-akuilla tarkoitetaan yleensä hopea-kadmium- tai hopea-sinkkiakkuja, jotka anodin metalli erottaa toisistaan. Hopea-akuille on ominaista suuri kapasiteetti ja alhainen purkautumisnopeus, jotka ovat merkittäviä ominaisuuksia akkujen toiminnan kannalta. (Ahasan Habib et al. 2019)

4.2 Hopea aurinkopaneeliteollisuudessa

Kaikissa massatuotetuissa piipohjaisissa aurinkokennoteknologioissa hopea on merkittävässä roolissa kennojen toiminnan kannalta (Zhang et al. 2021). Näissä teknologioissa hopeaa hyödynnetään metalliliitosten muodostajana, joiden avulla

valogeneroidut elektroni-reikä-parit kerätään aurinkokennoilta. Yleisesti metalli-kontaktien luomiseen käytettiin vakioituna metallointimenetelmänä hopeatahnan silkkipainatusta, mutta hopean valtavan kulutuksen myötä aurinkokennojen hinnat ovat nousseet, ja hopealle on alettu etsiä korvaavia materiaaleja (Kanneboina 2022). Hintojen nousua on kuitenkin hillinnyt aurinkokennoihin tarvittavan hopean määrän väheneminen. Aurinkokennoa kohti kului vuonna 2009 400 mg hopeaa, kun taas vuonna 2016 vain 130 mg. Vuonna 2029 aurinkokennoa kohti arvioidaan kuluvan 65 mg tai ehkä vain 50 mg hopeaa. (El-Khawad et al. 2022)

Yhtä aurinkokennoa kohti kuluvan hopean määrän laskusta huolimatta kokonaisuutena aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarve kasvaa, koska paneeleja asennetaan entistä enemmän ja niillä tuotetaan enemmän energiaa myös EU:ssa (Kuva 6). Venäjän Ukrainassa aloittaman hyökkäyssodan vuoksi, Euroopan komissio esitteli REPowerEU-suunnitelman EU:n irrottamiseksi venäläisestä fossiilisesta energiasta. Suunnitelma sisältää ehdotuksen, jonka mukaan kaikkiin uusiin asuinrakennuksiin sekä uusiin kaupallisiin ja julkisiin rakennuksiin asennettaisiin aurinkopaneelit. (Euroopan komissio 2022e) Yksinään tämä suunnitelma kasvattaisi toteutuessaan aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarvetta merkittävästi.



Kuva 6. Historiallinen ja ennustettu aurinkoenergiakapasiteetti alueittain, 2006-2030 (LePan 2021) (lähde: VisualCapitalist 2022)

Saavuttaakseen ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja uusiutuvan energian osuuden kasvattamiseksi asetetut sähkön tuotantotavoitteet aurinkopaneeliteollisuus tarvitsee

tietyin määrän hopeaa. Zhang et al. (2021) mukaan kuitenkin pienimmilläkkin ennustetuilla hopean kulutuksen arvoilla aurinkopaneeliteollisuus tarvitsisi tulevaisuudessa yli puolet maailman vuosittaisesta hopean tarjonnasta, mikä yhdessä muiden alojen kasvavan hopean tarpeen kanssa olisi kestänytöntä.

Toinen tärkeä huolenaihe aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarpeen täyttymisen kannalta liittyy aurinkopaneelien pitkään, noin 25 vuoden, käyttöikään. Pitkän käyttöiän vuoksi paneeleihin käytetty hopea on kauan poissa teollisuuden käytöstä ennen kuin se voidaan kierrättää ja uusiokäyttää. Vanhojen aurinkopaneelien kierrätys ei siis ole merkittävä hopean lähde aurinkopaneeliteollisuudessa lyhyellä tai keskipitkällä aikavälillä, mikä lisää epävarmuutta aurinkopaneeliteollisuuden kestäväen hopean käytön rajasta. (Zhang et al. 2021) Voikin olla, että tuotantotavoitteista joudutaan tinkimään yksinkertaisesti siitä syystä, ettei hopeaa ole riittävästi.

5 POHDINTA

Pariisin ilmastopimuksen ja vihreän siirtymän tavoitteiden saavuttaminen vaatii massiivisia toimia niin EU:ssa kuin kansainvälisestikin. Mikäli maapallon keskilämpötilan nousu halutaan rajoittaa vähintään reilusti alle kahteen celsius-asteeseen, ja samalla ylläpitää taloudellista kasvua sekä vakautta, tarvitaan teknologisia ratkaisuja mahdollistamaan uusiutuvan energian laajamittainen tuotanto ja ekologisempi jokapäiväinen elämä. Näissä ratkaisuissa hopea on merkittävässä roolissa ainutlaatuisten käyttöominaisuuksiensa ansiosta.

Hopean kysyntä ja hopean tarjonta eivät ole viime aikoina kehittyneet samalla tavalla. Hopean tuotanto on viime vuosina hetkittäin jopa pienentynyt maailmanlaajuisesti tarkasteltuna, kun taas hopean tarve on kasvanut tasaisesti eri aloilla. Mikäli rahoitusmarkkinoiden ongelmat kyetään ratkaisemaan, voi olla, että hopean kaivostuotantoa voidaan hetkellisesti tulevaisuudessa kasvattaa. Pitkällä aikavälillä tämä ei kuitenkaan ole kestävä ratkaisu, koska maankuoren hopeavarannot ovat rajalliset. Nämä kehityskulut herättävätkin huolia hopean riittävästä saatavuudesta esimerkiksi ilmastotavoitteiden kannalta keskeisessä asemassa olevien aurinkopaneeli- ja autoteollisuuden tarpeita varten.

Hopean tuotanto Euroopassa on viime vuosina ollut noin 2 500 tonnia, kun taas globaalisti tarkasteltuna hopean tuotanto on ollut noin 21 000 tonnia. Vuonna 2020 aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarve oli noin 2 860 tonnia ja autoteollisuuden 1 600 tonnia vuonna 2019, ja pelkästään autoteollisuuden hopean tarpeen arvioidaan kasvavan vihreän siirtymän vauhdittamana noin 4 500 tonniin vuonna 2040. Yhdessä muiden alojen kasvavan hopean tarpeen kanssa onkin selvää, etteivät nykyiset hopean tuotantomäärät ole riittäviä kysyntään nähden.

Varsinkin aurinkopaneeliteollisuuden hopean tarve on merkittävä, mutta myös autoteollisuudessa hopealle on valtava kysyntä. Näillä aloilla hopean saatavuusongelmat näkyisivät väistämättä, mikä voisi pahimmassa tapauksessa vaikuttaa myös EU:n omiin sekä kansainvälisiin ilmastotavoitteisiin. Ilman toimia hopeasta tulee kriittinen materiaali aurinkopaneeli- ja autoteollisuudessa, mutta esimerkiksi kierrätystä tehostamalla tai korvaavia materiaaleja kehittämällä nämä ongelmat voidaan välttää osittain tai kokonaan.

LÄHDELUETTELO

Ahasan Habib A. K. M, Motakabber S. M. A. & Ibrahimy M. I., 2019. A Comparative Study of Electrochemical Battery for Electric Vehicles Applications. Dhaka, Bangladesh: IEEE International Conference on Power, Electrical, and Electronics and Industrial Applications (PEEIACON), S. 43-47. <https://doi.org/10.1109/PEEIACON48840.2019.9071955>

Borowski P, 2020. Nexus between water, energy, food and climate change as challenges facing the modern global, European and Polish economy. *AIMS Geosciences* 2020, 6(4), S. 397–421. [10.3934/geosci.2020022](https://doi.org/10.3934/geosci.2020022)

Climate Change Service, 2022. Surface Air Temperature for September 2019 [verkkodokumentti]. Climate Change Service. Saatavissa: <https://climate.copernicus.eu/surface-air-temperature-september-2019> [viitattu 1.12.2022].

Czerwinski F, 2022. Critical Minerals for Zero-Emission Transportation. *Materials* 2022, 15(16), 5539. <https://doi.org/10.3390/ma15165539>

Ejdys J. & Szpilko D., 2022. European green deal – research directions. A systematic literature review. *Economics and Environment*, 81(2), S. 8–38. <https://doi.org/10.34659/eis.2022.81.2.455>

El-Khawad L., Bartkowiak D. & Kummerer K., 2022. Improving the end-of-life management of solar panels in Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, 168, 112678. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112678>

Euroopan komissio, 2022a. Vihreä siirtymä [verkkodokumentti]. Bryssel: Euroopan komissio. Saatavissa: https://reform-support.ec.europa.eu/what-we-do/green-transition_fi [viitattu 1.12.2022].

Euroopan komissio, 2022b. EU:n aurinkoenergiastrategia. COM/2022/221 final, 18.5.2022. Bryssel: Euroopan komissio. Saatavissa: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2022:221:FIN> [viitattu 21.12.2022]. 26 s.

Euroopan komissio, 2022c. Päästöttömät ajoneuvot: uusien hiilidioksidipäästöjä aiheuttavien autojen myynti loppuu EU:ssa vuoteen 2035 mennessä [verkkodokumentti]. Lehdistötiedote 28.10.2022. Bryssel: Euroopan komissio. Saatavissa: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/fi/ip_22_6462 [viitattu 28.12.2022].

Euroopan komissio, 2022d. Metallic minerals [verkkodokumentti]. Bryssel: Euroopan komissio. Saatavissa: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/related-industries/minerals-and-non-energy-extractive-industries/metallic-minerals_en [viitattu 28.10.2022].

Euroopan komissio, 2022e. REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition [verkkodokumentti]. Press release 18.5.2022. Brussels: European Commission. Saatavissa: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_3131 [viitattu 7.11.2022].

Eurooppa-neuvosto, 2021. Infografiikka – Pariisin ilmastosopimus: EU:n tie kohti ilmastoneutraaliutta [verkkodokumentti]. Bryssel: Eurooppa-neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/infographics/paris-agreement-eu/> (päivitetty: 4.6.2021) [viitattu 22.10.2022].

Eurooppa-neuvosto, 2022a. Pariisin ilmastosopimus [verkkodokumentti]. Bryssel: Eurooppa-neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/climate-change/paris-agreement/> [viitattu 22.10.2022].

Eurooppa-neuvosto, 2022b Puhdas energia [verkkodokumentti]. Bryssel: Eurooppa-neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/clean-energy/> [viitattu 26.10.2022].

Eurooppa-neuvosto, 2022c. Euroopan vihreän kehityksen ohjelma [verkkodokumentti]. Bryssel: Eurooppa-neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/policies/green-deal/> [viitattu 24.10.2022].

Eurooppa-neuvosto, 2022d. Fit for 55 [verkkodokumentti]. Bryssel: Eurooppa-neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> [viitattu 27.12.2022].

Hiiineutraalisuomi.fi, 2021. Keskeiset käsitteet [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: [https://www.hiiineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ilmastotyö/Metsät/Keskeiset_kasitteet\(60013\)](https://www.hiiineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ilmastotyö/Metsät/Keskeiset_kasitteet(60013)) [viitattu 14.12.2022].

Kanneboina V., 2022. Detailed review on c-Si/a-Si:H heterojunction solar cells in perspective of experimental and simulation. *Microelectronic Engineering* 2022, 265, 111884. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2022.111884>

LePan N., 2019. The Silver Series: The Start of A New Gold-Silver Cycle (Part 1 of 3) [verkkodokumentti]. VisualCapitalist, 11.9.2019. Saatavissa: <https://www.visualcapitalist.com/the-silver-series-the-start-of-a-new-gold-silver-cycle/> [viitattu 28.12.2022].

LePan N., 2020. Silver Series: Perfect Storm for Silver (Part 2 of 3) [verkkodokumentti]. VisualCapitalist, 26.2.2020. Saatavissa: <https://www.visualcapitalist.com/the-silver-series-setting-part-2-of-3/> [viitattu 15.12.2022].

LePan N., 2021. More Than Precious: Silver's Role in the New Energy Era (Part 3 of 3) [verkkodokumentti]. VisualCapitalist, 15.1.2021. Saatavissa: <https://www.visualcapitalist.com/silver-series-new-energy-in-solar-and-ev/> [viitattu 28.12.2022].

Lukin E., Krajnovic A. & Bosna J., 2022. Sustainability Strategies and Achieving SDGs: A Comparative Analysis of Leading Companies in the Automotive Industry. *Sustainability* 2022, 14(7), 4000. <https://doi.org/10.3390/su14074000>

Minerals4EU, 2023. European minerals yearbook – data for silver [verkkodokumentti]. Minerals4EU. Saatavissa: <http://minerals4eu.brgm-rec.fr/m4eu-yearbook/pages/bycommodity.jsp?commodity=Silver> [viitattu 2.1.2023].

Mishra G., Jha R., Rao M.D., Meshram A. & Singh K.K., 2021. Recovery of silver from waste printed circuit boards (WPCBs) through hydrometallurgical route: A review. *Environmental Challenges* 2021, 4, 100073. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100073>

Regufe M.J., Pereira A., Ferreira A.F.P., Ribeiro A.M. & Rodrigues A.E., 2021. Current Developments of Carbon Capture Storage and/or Utilization—Looking for Net-Zero

Emissions Defined in the Paris Agreement. *Energies* 2021, 14 (9), 2406. <https://doi.org/10.3390/en14092406>

Romero Pereira M.C. & Sanchez Coria A., 2022. Impactos ambientales de sistemas de energía solar fotovoltaica: una revisión de análisis de ciclo de vida y otros estudios (käännös englanniksi). *Revista EIA* 2022, 19(38), S. 1-18. <https://doi.org/10.24050/reia.v19i38.1570>

Sacchi R., Bauer C., Cox B. & Mutel C., 2022. When, where and how can the electrification of passenger cars reduce greenhouse gas emissions? *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2022, 162, 112475. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112475>

Silver Institute, 2021. SILVER'S GROWING ROLE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY. Market trend report, Metals Focus Ltd. and The Silver Institute. <https://www.silverinstitute.org/silver-consumption-global-automotive-sector-approach-90-million-ounces-2025/>

U.S Geological Survey, 2022. Mineral Commodity Summaries 2022 – Silver [verkkodokumentti]. U.S Geological Survey. Saatavissa: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/> [viitattu 15.11.2022]. 2 s.

Wu J., Lan Z., Lin J., Huang M., Huang Y., Fan L., Luo G., Lin Y., Xie Y. & Wei Y., 2017. Counter electrodes in dye-sensitized solar cells. *Chem. Soc. Rev.*, 2017, 46, 5975. 10.1039/c6cs00752j

Ympäristöministeriö, 2022. Mitä on vihreä siirtymä? [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://ym.fi/mita-on-vihrea-siirtyma> [viitattu 28.11.2022].

Zhang Y., Kim M., Wang L., Verlinden P. & Hallam B., 2021. Design considerations for multi-terawatt scale manufacturing of existing and future photovoltaic technologies: challenges and opportunities related to silver, indium and bismuth consumption. *Energy Environ. Sci.*, 2021, 14, 5587. 10.1039/d1ee01814k