

ALIGHT AB

# GEOTEKSTIILIN VAIKUTUSTEN ARVIOINTI AURINKOVOIMALASSA SALO METSÄKULMA

17.9.2024

LUOTTAMUKSELLINEN



## Sisällysluettelo

<b>1. Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1. Toimeksianto .....	3
1.1.1.Selvityksen tarkoitus ja tavoitteet .....	3
1.1.2.Työn prosessi ja aineistot .....	3
<b>2. Geotekstiilin vaikutusten arviointi Salon Metsäkulman aurinkovoimaprojektissa</b> .....	<b>3</b>
2.1. Nykytilan kuvaus Salon Metsäkulman aurinkovoimalasta .....	3
2.2. Taustatiedot geotekstiilistä aurinkovoimaloissa.....	4
2.2.1.Kuvaus käytettävästä geotekstiilistä ja sen ominaisuuksista .....	4
2.3. Geotekstiilin vaikutukset ympäristölle .....	5
2.4. Geotekstiili ja mikromuovien vaikutukset.....	7
2.5. Geotekstiili ja sen vaikutukset hulevesiin .....	9
2.6. Geotekstiilin vaikutukset maisemaan .....	10
2.7. Geotekstiili ja heijastusvaikutukset.....	14
2.8. Yhteenveto ja johtopäätökset.....	14
<b>Viitteet</b> .....	<b>17</b>
<b>Jakelu</b> .....	<b>19</b>

## 1. Johdanto

### 1.1. Toimeksianto

Alight Oy on tilannut selvityksen aurinkovoimalan geotekstiiliä koskevasta vaikutusten arvioinnista. Salon Metsäkulman alueelle on suunniteltu rakennettavan aurinkovoimala, joka koostuu 11 irrallisesta osa-alueesta. Aurinkovoima-alueen yhteenlaskettu pinta-ala on noin 65,5 ha. Sen suunniteltu tuotantoteho on noin 30 MW:n ja yhteenlaskettu vuosituotanto noin 45 GWh. Metsäkulman aurinkovoima-alueen tuotantoa voidaan mahdollisesti lisätä asentamalla aurinkopaneelirivistöjen alle geotekstiili. Geotekstiili lisää heijastusta paneeleille ja kasvattaa täten aurinkovoimalan tuotantoa.

#### 1.1.1. Selvityksen tarkoitus ja tavoitteet

Tämän selvityksen tarkoituksena on arvioida aurinkovoimalaan asennettavan geotekstiilin vaikutuksia alueen ympäristöön ja maisemaan. Lisäksi selvityksessä tarkastellaan geotekstiilin vaikutusta alueella muodostuviin hulevesiin, siitä mahdollisesti irtoaviin mikromuoveihin sekä sen vaikutusta heijastukseen. Aurinkovoimalasta laaditaan lisäksi havainnekuvat havainnollistamaan suunniteltua aurinkovoimalaa ja sinne mahdollisesti asennettavaa geotekstiiliä.

#### 1.1.2. Työn prosessi ja aineistot

Työ toteutettiin keräämällä tutkimustietoa geotekstiileistä sekä sen vaikutuksista. Lisäksi selvityksessä hyödynnettiin tilaajalta saatuja lähtötietoja ja asiantuntija-arvioita.

## 2. Geotekstiilin vaikutusten arviointi Salon Metsäkulman aurinkovoimaprojektissa

### 2.1. Nykytilan kuvaus Salon Metsäkulman aurinkovoimalasta

Metsäkulman suunniteltu aurinkovoima-alue sijaitsee Salon Metsäkulmassa, Salon kunnan kaakkoisosassa. Aurinkovoima-alue sijaitsee Kiskon keskusta-alueen itäpuolella noin 4 km päässä keskusta-alueesta sekä noin 5 km päässä Toijan keskusta-alueesta.

Metsäkulman aurinkovoima-alueen pinta-ala on yhteensä noin 65,5 ha, ja aurinkovoima-alue koostuu 11 irrallisesta osa-alueesta. Osa-alueet sijaitsevat maa- ja metsätalousvaltaisella alueella ja ne koostuvat peltoalueista. Osa-alueilla 2, 4 ja 9 sijaitsee lisäksi pienet metsäiset alueet pellon sisällä, jotka jätetään rakentamistoimien ulkopuolelle. Kaikki osa-alueet rajautuvat pääosin pelto- ja metsäalueisiin.

Aurinkovoima-alueella olevat peltoalueet poistuvat viljelykäytöstä ja alueelle rakennetaan aurinkosähkön tuotantoalue. Aurinkovoima-alueelle on tarkoitus rakentaa yhteensä noin 30 MW:n aurinkosähkön tuotantoalue, jonka vuosituotanto on yhteensä noin 45 GWh. Teollisen mittakaavan aurinkovoimala koostuu aurinkopaneeliriveistä, tasajännitteen vaihtojännitteeksi muuntavista vaihtosuuntaajista eli inverttereistä sekä aurinkopaneeliryhmien tuottaman vaihtosähkön matalajännitteestä keskijännitteisiksi muuttavista jakelumuuntamoista. Lisäksi hankkeeseen on suunniteltu sähkövarasto (BESS) osa-alueen 11 pohjoisosaan tai sähköaseman alueelle.

Aurinkovoima-alue on tällä hetkellä suhteellisen tasaista peltoa, jolla kasvaa niittykasveja. Maaperään ei tarvitse tehdä suuria muutoksia aurinkovoimalan rakentamisen mahdollistamiseksi. Pienialaiset puustoiset alueet peltoalojen keskellä jätetään rakentamisen ulkopuolelle.

## 2.2. Taustatiedot geotekstiilistä aurinkovoimaloissa

Aurinkovoimalan sähköntuotanto perustuu aurinkopaneelien muuttaessa auringon säteilyenergian sähköenergiaksi. Mitä intensiivisempää säteily on, sitä enemmän sähkövirtaa muodostuu. Aurinkopaneelien teknologian kehittyessä aurinkopaneelien hyötysuhdetta on saatu parannettua, jolloin suurempi osa säteilystä saadaan muutettua sähköksi. Samalla se on yksi aurinkosähköteollisuuden suurimpia haasteita. Aurinkovoimalan tuotantoa voidaan parantaa myös muilla menetelmillä. Aurinkopaneelisiin voidaan asentaa auringon seurantalaitteet, jotka kääntävät paneelien kulmaa esimerkiksi suhteessa auringon liikkeeseen. Täten aurinko säteilee paneelin pintaan optimikulmasta, jolloin tuotantoa saadaan tehostettua. Kaksipuolisissa aurinkopaneelissa paneeli puolestaan tuottaa sähköä myös paneelin kääntöpuolelta. (Allouhi et al. 2023.)

Aurinkopaneelien tuotantoa voidaan lisätä lisäksi asentamalla geotekstiili aurinkopaneelien alle. Geotekstiilien käyttö aurinkovoimaloiden tuotannon tehostamiseksi perustuu vaalean materiaalin heijastevaikutukseen. On arvioitu, että vaaleiden geotekstiilien albedo voi olla n. 0,7 riippuen tarkemmasta materiaalivalinnasta (Lewis et al. 2024), kun taas esimerkiksi soran, hiekan tai muun paljaan kivennäismaan albedo vaihtelee 0,05 ja 0,5 välillä riippuen kivennäismaan väristä ja kosteudesta (An et al. 2017). Kasvillisuuden peittämällä alueilla albedo taas vaihtelee n. 0,1 ja 0,30 välillä (Barry & Chorley 2003). Täten geotekstiilin peittämällä alueilla heijastus voi olla huomattavasti suurempaa kuin esim. soran peittämällä aurinkovoimala-alueilla, joka voi vaikuttaa mm. alueen pienilmastoon.

Lewis et al. (2024) tekemässä tutkimuksessa kaksipuolisten aurinkopaneelien alle asennettiin 70 % heijastava kangas. Tutkimuksen mukaan aurinkopaneelien vuosituotantoa saatiin lisättyä kankaan avulla enimmillään 4,5 %. Myös vastaavia tuloksia on saatu Riedel-Lyngskær et al. (2020) tutkimuksessa, jossa verrattiin yksi- ja kaksipuoleisten aurinkopaneelien tuotantoa asennettuna ne kiinteästi 25° kulmaan tai vaakasuoraan yksiakseliseen seurantalaitteeseen sekä korkealla että matalalla maanpinnan albedolla. Tutkimuksen mukaan nurmen keskimääräinen albedon arvoksi määritettiin 0,22 kun puolestaan valkoisen suojapeitteen keskimääräisen albedon arvoksi määritettiin 0,6. Käyttäessä valkoista suojapeitettä kaksipuolisten aurinkopaneelien alla, joiden telineisiin on asennettu auringon seurantalaitteet, tuotanto lisääntyi 2,8 %.

Tutkimuksia, joissa verrataan geotekstiiliä aurinkopaneelien alle asennettuna aurinkovoimalaan ilman geotekstiiliä, ei ole tehty. Geotekstiiliä aurinkovoimalassa ei voida myöskään verrata tyhjään peltoon, sillä geotekstiili jää osittain paneelien alle piiloon. Maanviljelyksessä on tavallista käyttää muoveja pelloilla. Aurinkovoimalaan suunniteltu kangas ei vaikuta ympäristöön yhtä paljon, kuin maataloudessa käytetty massiivisempi muovi.

### 2.2.1. Kuvaus käytettävästä geotekstiilistä ja sen ominaisuuksista

Metsänkulman aurinkovoima-alueella käytettävän geotekstiilin malli ja ominaisuudet tarkentuvat hankkeen edetessä. Geotekstiili valitaan kuitenkin niin, että tekstiili on vettä läpäisevää sekä myrkytön, jolloin siitä ei irtoa esimerkiksi PFAS-yhdisteitä maaperään. Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan geotekstiili asennettaisiin vain

aurinkopaneelitelineiden alle, jolloin paneelirivistöjen väliin jää kasvillisuutta. Geotekstiilin asennustapa tarkentuu hankkeen edetessä. Geotekstiiliä joudutaan vaihtamaan tarpeen mukaan esimerkiksi likaantuessa, jolloin kankaan heijastuskyky paneeleille pienenee.

Esimerkki mahdollisesta käytettävästä tekstiilistä on lujuusluokaltaan N1 oleva suodatinkangas. Suodatinkangas on valmistettu polypropeenista ja mitä vahvempi sen käyttöluokka on, sitä tiheämpää ja vahvempaa suodatinkangas on. N1-luokan suodatinkangasta käytetään usein kevyeen maanrakennukseen, kuten viher- ja puutarharakentamiseen.

Esimerkki: <https://www.granngarden.se/fiberduk-granngarden-n1-vit-110g-2x200m-rulle>

### 2.3. Geotekstiilin vaikutukset ympäristölle

Aurinkovoimaloiden suurimmat ympäristövaikutukset kohdistuvat rakennusvaiheeseen, jolloin hankealueella sijaitsevat luonnolliset elinympäristöt, kuten metsät ja suot, korvataan aurinkovoiman tuotantoon liittyvällä infrastruktuurilla. Tässä tarkastelussa geotekstiilin ympäristövaikutuksia arvioidaan aurinkovoimala-alueella, jossa kasvaa niittykasvillisuutta ja joka on rakennettu käytöstä poistetulle pellolle.

Geotekstiilien käyttöä aurinkovoimaloiden tuotannon tehostamisessa on alettu tutkimaan vasta viime vuosina, joten menetelmän ympäristövaikutuksista on saatavilla vain hyvin vähän tutkimustietoa. Vakiintuneempien geotekstiilien käyttökohteiden, kuten maanrakentamisen ja maanviljelyn, ympäristövaikutusten tutkinta on taas keskittynyt lähinnä mikromuovien irtoamiseen geoteksteilleistä sekä erilaisiin vesistövaikutuksiin, joista keskustellaan tarkemmin kappaleissa 2.4 ja 2.5. Tutkimustiedon puutteesta johtuen geotekstiilien käytön ympäristövaikutuksia aurinkovoimala-alueilla joudutaankin lähestymään epäsuorasti, hyväksikäyttäen tutkimustuloksia muilta käyttökohteilta.

Geotekstiilit toimivat eristeenä maaperän ja ilmakehän välillä muuttaen maaperän lämpötilaa ja kosteusoloja. Käytetyn materiaalin ominaisuudet, kuten väri ja tiiviys kuitenkin ratkaisevat kuinka voimakasta tämä eristys on. Tässä projektissa käytettävä valkoinen materiaali heijastaa auringon valoa tehokkaasti, joka johtaa maaperän lämpötilan laskuun, kun taas esimerkiksi musta materiaali kohottaisi maaperän lämpötilaa (Man et al. 1993). Lisääntynyt maaperän kosteus tehostaa mikrobien ja muiden hajottajien toimintaa, mikäli happiolot maaperässä säilyvät riittävinä. Tämä nopeutunut hajotustoiminta johtaa karikkeen ja muun orgaanisen aineen hajotusnopeuden lisääntymiseen, joka nopeuttaa maaperän ravinteiden ja hiilen vapautumista, mikä voi ennen pitkää johtaa maaperän köyhtymiseen (Steinmetz et al. 2016). Toisaalta, mikäli alueella on kasvillisuutta, voivat ne hyödyntää lisääntyneet ravinteet ja hiilidioksidina vapautuneen hiilen. Tämä näkyy maaperän orgaanisen hiilen määrän lisääntymisenä (An et al. 2015, Steinmetz et al. 2016). Geotekstiilien vaikutuksesta muuttuneet maaperän olosuhteet aiheuttavat myös muutoksia maaperän pieneliökannassa, jossa on todettu hajottajasienten lisääntymistä mikrobien kustannuksella (Steinmetz et al. 2016). Geotekstiilien on myös todettu vähentävän kastematojen määrää (Jones et al. 2020) mm. luomalla fyysisen esteen kastematojen liikkuvuudelle.

Levitettäessä laajalle alueelle geotekstiilit muodostavat fyysisen esteen kasvien kasvuille. Geotekstiilit tukahduttavat kasvillisuuden kasvun, joka pienentää olemassa olevan niittykasvillisuuden peittävyttä aurinkovoimala-alueella. Niittykasvillisuuden peittävyden kasvun on todettu lisäävän lineaarisesti tarhamehiläisten ruokailua kukkivilla kasveilla, kun

taas kimalaisilla vierailumäärät eivät enää lisääntyneet merkittävästi kukkivien kasvien määrän ylittäessä tietyn rajan (Alison et al. 2021). Voidaankin arvioida, että jos aurinkovoimala-alueella säilyy osittainen niittykasvillisuus ei kimalaisten määrä alueella vähene verrattuna voimala-alueeseen, joka on kokonaan niittykasvillisuuden vallassa. Tarhamehiläisten kohdalla lajin esiintyminen alueella voi kuitenkin vähentyä.

Geotekstiilien käyttö aurinkovoimaloiden tuotannon tehostamiseksi perustuu vaalean materiaalin kasvattamaan heijastevaikutukseen. Niveljalkaiset (esim. hämähäkkieläimet ja hyönteiset) käyttävät valoa ja värejä monipuolisesti mm. liikkumiseen ja ravinnon havainnointiin (van der Kooi et al. 2021). Tutkimustulosten mukaan erityisesti UV-valo ja valon siniset aallonpitoisuudet voivat houkuttaa tiettyjä hyönteisiä (Barghini & de Medeiros 2012) ja erilaisten heijastavien pintojen lisäämisellä onkin todettu olevan vaikutusta hyönteisten esiintymiseen. Viljelykohteilla saatujen tutkimustulosten mukaan geotekstiilin värien ja hyönteislajien välillä havaittiin kuitenkin suurta vaihtelua, ja esimerkiksi valkoisen värin todettiin houkuttelevan kimalaisia, mutta karkottavan mm. kirvoja ja kovakuoriaisia (Kring & Schuster 1992, McIntosh et al. 2023). Geotekstiilien pintalämpötila voi kohota myös huomattavan korkeaksi, minkä on todettu vaikuttavan negatiivisesti joihinkin maata pitkin liikkuviin niveljalkaisiin, kuten sirkkoihin (McIntosh 2023). Yleisesti ottaen voidaankin todeta, että geotekstiilit vaikuttavat niveljalkaisiin lajikohtaisten ominaisuuksien perusteella. Mikäli geotekstiilistä hyötyvät eliöt kuuluvat muiden lajien, kuten lintujen ja lepakoiden, ravintoon voivat muutokset niiden runsaudessa myös vaikuttaa alueen houkuttelevuuteen ruokailevien lajien kohdalla, joka voi edelleen heijastua ylemmäs ravintoketjussa. Siippoja koskevassa tutkimuksessa todettiin, että tiheä kasvillisuus heikensi lepakkolajien saalistuksen onnistumisen todennäköisyyttä. Ilman lajikohtaista tarkastelua ei voida kuitenkaan vetää yleistäviä johtopäätöksiä tästä asiasta.

Maatalousmailla tehdyn tutkimuksen mukaan alueilla, joissa pellot peitettiin geotekstiileillä, esiintyi merkittävästi vähemmän lintuja kuin pelloilla, joissa geotekstiiliä ei ollut ja joissa vallitsi peittävä kasvillisuus (Skórka et al. 2013). Geotekstiilin valtaosin peittämällä pelloilla sekä potentiaalisten pesäpaikkojen että ruuaksi saatavilla olevien hyönteisten ja kasvien määrä laski. Kuten edellisessä kappaleessa todettiin, voi hyönteisten määrä myös kasvaa lajiston mukaan, jonka ansiosta teoreettinen saatavilla olevan ruuan määrä voi lisääntyä. Ilman asiasta tehtyjä tutkimuksia on kuitenkin vaikea arvioida, säilyykö geotekstiilin peittämä alue houkuttelevana lintujen ruokailuelinympäristönä.

Suunnitelmien mukaan geotekstiili ei tässä hankkeessa tule peittämään koko aurinkovoimalan aluetta, vaan alueelle jää osittain myös niittykasvillisuutta. Skórka ym. (2013) tutkimuksessa huomattiin myös, että jättämällä pelloille tai niiden lähelle villiä kasvillisuutta lintujen määrä lisääntyi verrattuna täysin geotekstiilin peittämiin aloihin. Voidaankin arvioida, että verrattuna täysin niittykasvillisuuden peittämään alueeseen houkuttelevuus linnuille on vähäisempää geotekstiiliä käyttävässä vaihtoehdossa, mutta vaikutus lievenee, koska alueelle jää osittainen niittykasvikasvusto.

Osittain geotekstiilin ja osittain niittykasvillisuuden peittämä alue voi kuitenkin hyödyttää lepakkoja. Lepakkolaji isosiipan (*Myotis myotis*) saalistamisen on todettu vaikeutuvan kasvillisuuden tiheyden lisääntyessä (Rainho et al. 2010). Tämän perusteella geotekstiilin osittain tai kokonaan peittämällä alueella voidaan arvioida olevan positiivinen vaikutus lepakon saalistuksen onnistumiseen, mikäli oikeanlaista ravintoa on tarjolla. Tämä taas voi lisätä alueen houkuttelevuutta lepakkolajeille.



## 2.4. Geotekstiili ja mikromuovien vaikutukset

Mikromuovilla tarkoitetaan yleisesti 1 µm – 5 mm kokoisia kiinteitä muovihiukkasia, jotka koostuvat polymeerien ja funktionaalisten lisäaineiden (esim. pehmentimet, UV-suojat, väriaineet, stabilisaattorit, palonestoaineet, hapettumisenestoaineet) seoksesta. Alle 1 µm:n (0,001 mm) muovihiukkaset luokitellaan yleisesti nanomuoviksi. Mikromuovi koostuu monen muotoisista ja kokoisista hiukkasista sekä monesta eri muovilaadusta. Yleisimpiä ympäristöstä löytyviä muovilaatuja ovat mm. polyeteeni (PE), polypropeeni (PP), polyvinyylikloridi (PVC) ja polyetyleenitereftalaatti (PET), mutta myös hyvin monia muita muovityyppejä voi löytyä näytepisteen sijainnin mukaan. Mikromuovit ovat jo levinneet kaikkialle maailmaan ja niitä löytyy myös kohteista, jotka eivät ole päästölähteiden lähellä (jopa vuorten huipuilla ja Antarktikselta), sillä kevyimmät mikromuovit pystyvät leviämään ilmassa tuulen kuljettamina. Hankealueen maaperässäkin on oletettavasti jo ”taustapitoisuus” mikromuovia, joka on peräisin mm. liikenteen tuottamista mikromuovipäästöistä.

Mikromuovit voivat päätyä ympäristöön suoraan mikromuovina (esim. tekonurmikentät, renkaiden kuluminen, tekstiileistä irtoavat kuidut), tai ympäristöön päätenyt suurempi makromuovijäte voi hajota ulkoisten vaikutusten (mekaaninen kuluminen, lämpötilan muutokset, UV-säteily, biologinen tai kemiallinen hajoaminen) seurauksena mikrokokoisiksi partikkeleiksi. Näiden ulkoisten vaikutusten aiheuttamista hajoamisprosesseista otsonin aiheuttama hajoaminen, biologinen hajoaminen sekä foto-oksidatiivinen (”valohapettava”) hajoaminen ovat tärkeimmät hajoamistyytit, jotka vaikuttavat mikromuovien muodostumiseen maaperässä. (Monkun & Özhan 2021, Ramboll 2022.)

Geotekstiilimateriaali, jota tähän projektiin on ehdotettu, on N1-luokan polypropeenigeotekstiili. Polypropeenia (PP) käytetään usein kohteissa, joissa geotekstiili jää peittämättömäksi, sillä sitä voidaan stabiloida erittäin tehokkaasti UV-säteitä vastaan. N1-5 luokitus perustuu pohjoismaisen NorGeoSpecin sertifiointijärjestelmään, jonka pääpaino on laadunvarmistuksessa. NorGeoSpec sertifiointi on laajempi kuin CE-merkinnän vaatimukset, joka on pakollinen. (Ramboll 2022.) N-luvulla ilmaistaan geotekstiilin painoa ja lujuutta. N1-luokan geotekstiili on kevyin (90–100 g/m<sup>2</sup>) ja tarkoitettu kevyeen käyttöön, kun taas N5-luokka kestää paremmin karkeaa soraa ja raskaita ajoneuvoja. CE-merkinnän testeihin kuuluvat altistaminen UV-valolle ja korkeille lämpötiloille, ja tulosten perusteella selviää, kuinka kauan sitä voidaan säilyttää ulkona ilman peittämistä ja kuinka monta vuotta sen odotetaan säilyttävän toimintakykynsä. Tuotteille annetaan testien perusteella 25, 50 tai 100 vuoden käyttöikäarvio. Testit UV-valolle altistamiselle ovat kuitenkin lyhytkestoisia. (Ramboll 2022.)

Mikromuovien lisäksi tulee ottaa huomioon muovien sisältämät lisäaineet. Muoveissa käytetään kymmeniä tuhansia erilaisia lisäaineita, ja tarkkaa tietoa eri muovien koostumuksesta tai tarkoista lisäaineista on vaikeaa löytää. Lisäaineet ovat usein tiettyyn tarkoitukseen kehitettyjä tuotteita, joilla on omat tuotenimet, mikä selittää niiden suurta määrää. Tämä myös tarkoittaa, että lisäaineiden nimet eivät kerro mitään niiden kemiallisista ominaisuuksista tai koostumuksesta, mikä tuo haastetta niiden vaikutusten arviointiin. Geotekstiileissä usein käytettyjä lisäaineita ovat mm. Goodrite 3114, Hostanox O 3, Inox 330, Ionol, Irganox 1076, Sandostable PEPQ, TNPP, Topanol Ca, Weston 618, Chimassorb 119 FL, Chimassorb 2020 FDL, Chimassorb 944 FDL/LD, Hostavin TM N20, Irgastab FS 042, Tinuvin 622 (SF), Tinuvin 326, Tinuvin 327, Cyasorb UV 531, Cyasorb UV 1048, DSTDP, DLTDP, Irgatec CR 76, Irgafos 168, hiilimusta, kalsiumstearaatti, ja sinkkistearaatti.

PP-geotekstiilin massakoostumuksesta noin 85–98 % on polypropeenä, 0–13 % täyteaineita, 2–4 % hiilimustaa ja 0,25–2 % muita lisäaineita (esim. stabilointiaine, antioksidantti, väriaine, pehmenin, palonsuoja-aine). PP-geotekstiilien säänkestävyyttä parantaa huomattavasti, kun läsnä on suhteellisen pieniä määriä estynyttä amiinivalostabilisaattoria tai hiilimustaa. Portugalissa tehdyissä kenttätutkimuksissa (Carneiro & Lopes 2022) havaittiin, että stabiloimaton PP-geotekstiili oli vuodessa merkittävästi vaurioitunut ja sen vetolujuus pieneni 94 % tai enemmän. Stabiloidulla materiaalilla hajoaminen on hitaampaa. Vetolujuuden huomattiin heikkenevän 39–84 % 36 kk kenttätestien jälkeen. Lisäaineet eivät kuitenkaan ole pysyvästi sidottuja materiaaliin, jonka vuoksi ne voivat ajan mittaan huuhtoutua materiaalista, mikä edistää geotekstiilin vanhenemista ja hajoamista (Ramboll 2022).

Geotekstiilien kohdalla ei tarvitse kuitenkaan huolehtia usein huolta herättävästä muovien komponentista, bisfenoli-A:sta (BPA). Vaikka BPA on ihmiselle terveystarve suorin altistumisen kautta, ei mahdollinen BPA aiheuta riskiä geotekstiilien kohdalla. BPA:ta käytetään muoveissa kovetteena, jolloin sitä löytyy kovista muoveista ja ei joustavista geotekstiileistä. Vaikka sitä esiintyisi pienempinä pitoisuuksina, usean tieteellisen tutkimuksen mukaan BPA:ta hajottavia mikrobeja on ympäristössä runsaasti. Ympäristöön päätyneet BPA hajoaa nopeasti muutaman päivän sisällä (mm. Choi & Lee 2017, Kang & Kondo 2002, Klecka et al. 2001, Dorn et al. 1987).

Mikromuovien haittavaikutuksista ihmisille on niukasti tutkimuksia, johtuen mm. siitä, että kontrolliryhmää, joka ei olisi altistunut mikromuoveille on lähes mahdotonta löytää. Koe-eläinten ja solumallien avulla tehdyissä tutkimuksissa on löytynyt useita mahdollisia haitallisia vaikutuksia, kuten oksidatiivista stressiä, solutoksisuutta, tulehduksen lisääntymistä, häiriöitä aineenvaihdunnassa, muovien kulkeutumista kudoksiin, sekä vähäisemmässä määrin havaintoja neurotoksisuudesta, lisääntymistoksisuudesta ja karsinogeenisuudesta (THL 2024). Haitalliset vaikutukset ovat kuitenkin vaatineet tutkimuksissa suhteellisen korkeita mikromuovipitoisuuksia, joille altistuminen nykyisissä elinympäristöissämme on hyvin epätodennäköistä.

Suuresta lisäaineiden määrästä johtuen lisäaineiden kulkeutumisesta ympäristössä sekä niiden ekotoksikologiasta on vain vähän tutkimuksia. Rakennusmateriaaleille on vasta äskettäin kehitetty ohjeita lisäaineiden huuhtoutumisen arvioimiseksi, mutta arviointien aikaväli on kuitenkin hyvin lyhyt (60 päivää). Synteettisillä materiaaleilla tehdyistä kestävyyskokeista voidaan kuitenkin päätellä, että lisäaineiden huuhtoutuminen on selvä riskitekijä (Lamoree & Wiewel 2016).

Geotekstiilin päästöjen ei arvioida aiheuttavan merkittävää haittaa. Suurin osa irtoavista mikromuovipartikkeleista päätyy sadeveden mukana alueen maaperään. Muihin mikromuovien päästölähteisiin nähden, irtoavat pitoisuudet ovat hyvin pieniä. Geotekstiilin sisältämät lisäaineet voivat olla veteen liukenevia ja siten kulkeutua vesistöihin. Ottaen kuitenkin huomioon maaperään päätyvän muovin vähäisen määrän säänkestävästä PP-geotekstiilistä, sekä muovin sisältämien lisäaineiden vähäisen osuuden, ei vaikutusten arvioida olevan merkittäviä. Kaikki lisäaineet eivät todennäköisesti ole ympäristössä pitkäikäisiä, ja ne voivat myös sitoutua kemiallisesti maaperään, mikä estää niiden kulkeutumista vesistöihin. Geotekstiilien vähäisistä päästöistä ja maaperän kyvystä sitoa päästöjä, geotekstiilin päästöille ei altistu niille herkkiä kohteita, eikä vaikutusten siis arvioida olevan merkittäviä.

Vaikutusten lieventämiseksi geotekstiiliksi suositellaan valitsemaan päästöjen vähentämiseksi mahdollisimman korkean käyttöiän geotekstiili, mieluummin 50 tai 100



vuoden arvioidulla käyttöiällä kuin 25 vuoden. Tämä varmistaisi, että geotekstiili ei tulisi lähelle käyttöikänsä loppumista, jolloin materiaali alkaa haurastumaan ja tuottamaan enemmän mikromuovia. Toisena vaihtoehtona lyhyemmän käyttöiän materiaali voidaan vaihtaa toiminnan aikana uuteen, ennen kuin materiaali haurastuu liikaa ja alkaa hajoamaan.

## 2.5. Geotekstiili ja sen vaikutukset hulevesiin

Aurinkovoima-alueen käyttö muuttuu aurinkovoimalan rakentamisen myötä, kun alueelle rakennetaan pitkiä aurinkopaneelirivistöjä, huoltoteitä ja muuntamoita, mitkä vaikuttavat hulevesien kerääntymiseen ja alueen nykyiseen hydrologiaan. Paneeleista ja muuntamosta vesi valuu alas paneelien ja kattojen reunalta kaltevuuden ansiosta, jolloin hulevesien kuormituksen jakautuminen maaperään muuttuu.

Geotekstiilin vaikutus hulevesien pidättymiseen ja valumaan riippuvat geotekstiilin ominaisuuksista. Erilaisia geotekstiilejä käytetään laajasti erilaisiin tarkoituksiin muun muassa maanrakennuksessa, kaivoksissa, vesiensuojelussa ja tie- ja rautateiden rakennekerroksissa. Niiden tarkoitus on esimerkiksi vahvistaa ja stabiloida rakennekerroksia, estää maaperän eroosiota tai maalajien sekoittumista, sekä auttaa tulvien hallinnassa. Geotekstiilien vedenläpäisevyyteen vaikuttavat pääasiassa kankaan tyyppi, sen tiheys ja huokoisuus. Lisäksi ulkoiset tekijät voivat vaikuttaa kankaan vedenläpäisevyyteen, kuten epäpuhtauksien määrä vedessä ja maalajien huokoisuus, jolloin vedenläpäisevyys usein vähenee. Lisäksi siihen saattavat vaikuttaa kankaan venyminen ja maanpaine. (Man et al. 2024, Pak & Zahmatkesh 2011.)

Metsäkulman aurinkovoimalaan geotekstiili on tarkoitus asentaa maan päälle, jolloin geotekstiilin vaikutus aurinkovoima-alueelta muodostuvien hulevesien määrään vaikuttaa lähinnä materiaalivalinta ja pinta-alan laajuus, jolle geotekstiiliä asennetaan. Mikäli geotekstiili on vettä läpäisemätöntä tai huonosti läpäisevää, jää vesi makaamaan geotekstiilin päälle tai valuu geotekstiilin reunoilta maaperään. Hulevesien imeytymistä ei tällöin tapahdu geotekstiilin alueelta, mikä kasvattaa valumaa aurinkovoima-alueelta. Esimerkki mahdollisesta käytettävästä geotekstiilistä on lujuusluokaltaan N1 oleva suodatinkangas. Suodatinkankaiden vedenläpäisevyys on usein hyvä; siihen vaikuttavat kankaan paksuus, huokoisuus ja tiheys. N1-luokkaan kuuluva suodatinkangas on huokoisempaa verrattuna muihin lujuusluokkiin. Suodatinkangasta käytettäessä vesi suodattuu kankaan läpi, jolloin vesi ei jää makaamaan kankaan päälle. Tällöin suodatinkangas ei juurikaan vaikuta aurinkovoima-alueella muodostuvien hulevesien määrään.

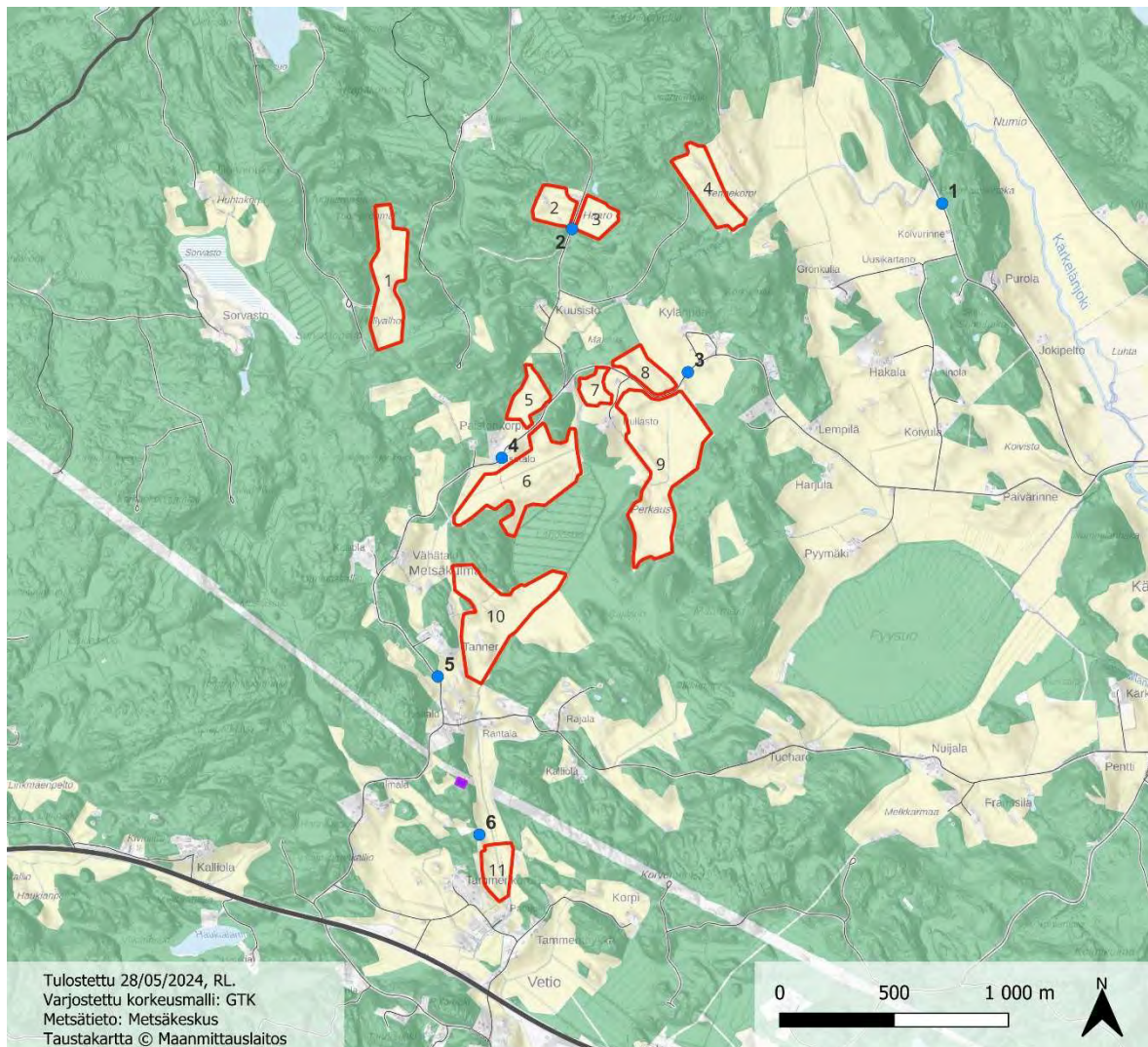
Geotekstiilin valinnan lisäksi aurinkovoima-alueella muodostuvien hulevesien määrään saattaa vaikuttaa geotekstiilin asennustapa. Mikäli huonosti vettä läpäisevä geotekstiili asennetaan vain aurinkopaneelien alle, olisi hyvä huomioida geotekstiiliä asennettaessa valuuko vesi aurinkopaneelilta maaperään vai kankaan päälle. Geotekstiili voidaan mahdollisesti asentaa myös hieman ilmaan, jolloin vesi pääsee valumaan kankaan alle ja veden imeytymistä tapahtuu tällöin myös kankaan alla. On kuitenkin tiedossa, että Metsäkulman aurinkovoimalaan asennettava geotekstiili on laadultaan vettä läpäisevää.

Hulevesien määrä saattaa kasvaa hieman rankkasateen aikana geotekstiilin yhden ylimääräisen kerroksen vuoksi maaperän pintaan nähden. Kuitenkin tavanomaisen alle 7 mm sademäärän aikaisella sateella hulevesien imeytymiskyky maaperään säilyy muuttumattomana. Käytännössä siis kohteelle asennettavalla geotekstiilillä on vain lieviä

vaikutuksia hulevesien määrään ainoastaan poikkeuksellisen rankankin sateen aikana. Vaikutus on verrattain lyhykestoinen kerrallaan.

## 2.6. Geotekstiilin vaikutukset maisemaan

Geotekstiilin maisemavaikutuksia on arvioitu maisema-arkkitehdin asiantuntija-arviona, hyödyntäen alla olevia havainnekuvia.



### Havainnekuvapisteet

- havainnekuvapiste
- ▭ Metsäkylän aurinkovoima-alue
- Sähköasema
- Metsät

Kuva 2.1 Havainnekuvienv kuvauspaikat.





Kuva 2.2 Havainnekuva 1, osa-alue 4, ilman geotekstiiliä



Kuva 2.3 Havainnekuva 1, osa-alue 4, geotekstiilillä



Kuva 2.4 Havainnekuva 2, osa-alueet 2 (vasen) ja 3 (oikea), ilman geotekstiiliä



Kuva 2.5 Havainnekuva 2, osa-alueet 2 (vasen) ja 3 (oikea), geotekstiilillä



Kuva 2.6 Havainnekuva 3, osa-alueet 8 (oikea) ja 9 (vasen), ilman geotekstiiliä





Kuva 2.7 Havainnekuva 3, osa-alueet 8 (oikea) ja 9 (vasen), geotekstiilillä



Kuva 2.8 Havainnekuva 4, osa-alue 6, ilman geotekstiiliä



Kuva 2.9 Havainnekuva 4, osa-alue 6, geotekstiilillä



Kuva 2.10 Havainnekuva 5, osa-alue 10, ilman geotekstiiliä



Kuva 2.11 Havainnekuva 5, osa-alue 10, geotekstiilillä



Kuva 2.12 Havainnekuva 6, osa-alue 10, ilman geotekstiiliä



Kuva 2.13 Havainnekuva 6, osa-alue 10, geotekstiilillä

Tummat aurinkopaneelit korostuvat vaaleaa geotekstiiliä vasten. Näin ollen geotekstiili voimistaa paneelikenttien kielteistä maisemavaikutusta. Vaikutuksen suuruus riippuu neljästä seikasta: maapinnan muodosta, paneelien sijoituksesta, kasvillisuudesta ja vuodenajasta.

Maapinnan muoto vaikuttaa siihen, kuinka laaja alue geotekstiilistä näkyy. Rinteessä geotekstiili näkyy laajalta alueelta (ks. kuvat 2.2 ja 2.3). Tasamaalla maastossa näkyy ensisijaisesti paneelikentän reunalla sijaitseva osa geotekstiilistä (ks. esim. kuvat 2.4 ja 2.5). Myös paneelien sijoitus suhteessa katselusuuntaan vaikuttaa geotekstiilin näkymiseen. Pokittain näkymäsuuntaan nähden sijoittuvat paneelit peittävät osittain geotekstiilin näkymistä. Jos näkymä on paneelirivien suuntainen, näkyy geotekstiili paremmin (ks. kuvat 2.6 ja 2.7). Geotekstiilin vaikutuksen suuruus vaihtelee siis suuresti eri paikoissa ja eri katselusuunnista.

Hankealueiden kasvillisuus vaikuttaa kahdella tavalla geotekstiilin maisemavaikutuksen suuruuteen. Paneelikenttien alla ja reunoilla kasvava kasvillisuus liittyy aurinkopaneelit osaksi ympäröivää maisemaa, lieventäen tällä tavalla aurinkovoimalan maisemavaikutusta. Koska geotekstiili estää kasvillisuuden muodostumisen paneelien alle, paneelikentät korostuvat maisemassa. Toisaalta alueen reunoilla kasvava, riittävän korkea niittykasvillisuus, voi tasamaalla ja etenkin laskevassa maastossa peittää geotekstiilin näkymistä. Nousevassa maastossa niittykasvillisuudella ei juuri tällaista vaikutusta ole.

Geotekstiilin vaikutus riippuu vuodenajasta. Kun maa on paljas tai kasvillisuuden peitossa on värikontrasti geotekstiilin ja ympäristön välillä suuri, jolloin geotekstiili kiinnittää katsojan huomion. Kun maassa on hiukan lunta geotekstiili sulautuu paremmin maisemaan. Runsaslumiseen aikaan geotekstiili peittyy lumen alle, jolloin sillä ei ole laisinkaan maisemavaikutusta.

Aurinkovoima-alueen osa-alueet aidataan. Aidan koko ja tyyppi tarkentuu hankkeen edetessä. Aita todennäköisesti jossain määrin peittää geotekstiilin näkymistä, mikä vähentää geotekstiilin maisemavaikutusta.

Yhteenvetona voidaan todeta, että geotekstiili voimistaa paneelikenttien aiheuttamaa muutosta maisemassa. Vaikutuksen suuruus vaihtelee ympäristön muiden ominaisuuksien, etenkin topografian ja ympäröivän kasvillisuuden perusteella.

## 2.7. Geotekstiili ja heijastusvaikutukset

Aurinkovoimalan heijastusvaikutuksia selvitetään tyypillisesti häikäisyn liikenteelle aiheuttaman turvallisuusriskin näkökulmasta. Lisäksi voidaan arvioida häikäisyn aiheuttamaa haittaa lähellä sijaitseviin asuinrakennuksiin.

Aurinkopaneelit on suunniteltu heijastamaan mahdollisimman vähän auringonsäteilyä, mutta suurilla tulokulmilla ( $> n. 70^\circ$ ) heijastuserroin voi olla suurempi. Liikenneväylän, lentokentän tai asutuksen lähellä sijaitseva aurinkopaneeli voi aiheuttaa häikäisevän heijastuksen auringonsäteilyn osuessa paneelin pintaan suuressa tulokulmassa, eli lähellä auringonnousun tai -laskun aikaa.

Geotekstiili sijoittuu aurinkopaneelien alle, eikä vahvista paneelien yläpinnasta aiheutuvia heijastuksia. Alapinnasta heijastukset suuntautuvat kohti maata.

Geotekstiilin heijastavuutta kuvataan heijastuskertoimen sijaan albedolla, joka määrittellään diffuusin heijastuvan valosäteilyn osuutena kaikesta pintaan kohdistuvasta valosäteilystä. Albedo ei riipu valosäteilyn tulokulmasta, kuten heijastuserroin. Heijastavuusominaisuuksien kuvaamiseen albedo on heijastuserrointa parempi suure sellaisille pinnoille, jotka ovat epätasaisia ja vaihtelevia, ja jotka tuottavat eri suuntiin jakautuvan heijastuksen. Geotekstiilin häikäisyriskiä arvioitaessa hyvä vertailukohta on tuore lumi. Taulukossa 2.1 on esitetty tyypilliset albedon arvot geoteksteille (Lewis et al. 2024) ja tuoreelle lumelle (Markvart et al. 2003).

Taulukko 2.1 Tyypillisiä albedon arvoja.

Pinta	Albedo
Geotekstiili	0,7
Tuore lumi	0,8

Näkökykyä heikentävän estohäikäisyn aiheutumista geotekstiilin heijastuksesta voidaan pitää epätodennäköisenä. Lisäksi geotekstiilistä heijastuvan auringonsäteilyn näkyvyyttä rajoittavat samat tekijät kuin maisemavaikutusten näkyvyyttä. Niihin paikkoihin, joihin geotekstiili ei näy, se ei aiheuta auringonsäteilyn heijastumista.

## 2.8. Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän selvityksen tarkoituksena on arvioida Metsäkulman aurinkovoimalaan asennettavan geotekstiilin vaikutuksia alueen ympäristöön ja maisemaan. Lisäksi selvityksessä tarkastellaan geotekstiilin vaikutusta alueella muodostuviin hulevesiin, siitä mahdollisesti irtoaviin mikromuoveihin sekä sen vaikutusta heijastukseen. Geotekstiilien käyttö aurinkovoimaloiden tuotannon tehostamiseksi perustuu vaalean materiaalin heijastevaikutukseen. Geotekstiilin peittämällä alueilla heijastus voi olla huomattavasti suurempaa kuin esim. soran peittämällä aurinkovoimala-alueilla. Eri tutkimusten mukaan aurinkopaneelien vuosituotantoa saatiin lisättyä valkoisten pintamateriaalien (kangas, suojaopeite) avulla enimmillään 2,8 %...4,5 %.

Käytettävää geotekstiiliä ei ole vielä valittu. Geotekstiili valitaan kuitenkin niin, että tekstiili on vettä läpäisevää sekä myrkytön. Tekstiilin värin tulee olla valkoinen/vaalea, jotta heijastusvaikutukset toteutuvat. Esimerkki mahdollisesta käytettävästä geotekstiilistä on lujuusluokaltaan N1 oleva suodatinkangas. Suodatinkangas on valmistettu polypropeenista. Geotekstiiliä joudutaan vaihtamaan tarpeen mukaan esimerkiksi sen likaantuessa.



Tämänhetkisten suunnitelmien mukaan geotekstiili asennettaisiin vain aurinkopaneelitelineiden alle, jolloin paneelirivistöjen väliin jää kasvillisuutta. Kasvillisuus on osittain niittykasvillisuutta.

Geotekstiilien käyttöä aurinkovoimaloiden tuotannon tehostamisessa on alettu tutkimaan vasta viime vuosina, joten menetelmän ympäristövaikutuksista on saatavilla vain hyvin vähän tutkimustietoa. Geotekstiilien käytön ympäristövaikutuksia aurinkovoimala-alueilla arvioitaessa hyödynnetään tutkimustuloksia muilta käyttökohteilta.

### **Ympäristö**

Geotekstiilit toimivat eristeenä maaperän ja ilmakehän välillä muuttaen maaperän lämpötilaa ja kosteusoloja. Valkoinen materiaali heijastaa auringon valoa tehokkaasti, joka johtaa maaperän lämpötilan laskuun. Lisääntynyt maaperän kosteus tehostaa mikrobien ja muiden hajottajien toimintaa, joka nopeuttaa maaperän ravinteiden ja hiilen vapautumista, mikä voi ennen pitkää johtaa maaperän köyhtymiseen. Toisaalta, mikäli alueelle jätetään kasvillisuutta, voivat kasvit hyödyntää lisääntyneet ravinteet ja hiilidioksidina vapautuneen hiilen. Geotekstiilien vaikutuksesta muuttuneet maaperän olosuhteet aiheuttavat myös muutoksia maaperän pieneliökannassa. Geotekstiilien on todettu vähentävän mm. kastematojen määrää luomalla fyysisen esteen kastematojen liikkuvuudelle.

Levitettäessä laajalle alueelle geotekstiilit muodostavat fyysisen esteen kasvien kasvulle ja pienentävät olemassa olevan niittykasvillisuuden peittävyyttä aurinkovoimala-alueella.

Jos aurinkovoimala-alueella säilyy osittainen niittykasvillisuus, ei kimalaisten määrän alueella arvioida vähenevän. Tarhamehiläisten esiintyminen alueella voi kuitenkin vähentyä. Niveljalkaisten (esim. hämähäkkieläimet ja hyönteiset) kohdalla voidaan yleisesti ottaen todeta, että geotekstiilit vaikuttavat niveljalkaisiin lajikohtaisten ominaisuuksien perusteella. Heijastavien pintojen lisäämisellä on todettu olevan vaikutusta hyönteisten esiintymiseen. Valkoisen värin todettiin houkuttelevan kimalaisia, mutta karkottavan mm. kirvoja ja kovakuoriaisia. Mikäli geotekstiilistä hyötyvät eliöt kuuluvat muiden lajien, kuten lintujen ja lepakoiden ravintoon, voivat muutokset niiden runsaudessa myös vaikuttaa alueen houkuttelevuuteen ruokailevien lajien kohdalla. Tämä voi edelleen heijastua ylemmäs ravintoketjussa.

Voidaan arvioida, että verrattuna täysin niittykasvillisuuden peittämään alueeseen houkuttelevuus linnuille voi olla vähäisempää geotekstiiliä käyttävässä vaihtoehdossa, mutta vaikutus lievenee, koska alueelle jää osittainen niittykasvikasvusto. Osittain geotekstiiliin ja osittain niittykasvillisuuden peittämä alue voi hyödyttää lepakoja.

### **Mikromuovi**

Geotekstiilin kuluminen voi aiheuttaa vähäisiä mikromuovipäästöjä, joista suurin osa tulee päätyään alueen maaperään. Muovista voi myös liueta lisäaineita, joista vesiliukoiset saattavat päätyä vesistöihin. Päästöjen määrät ovat kuitenkin hyvin vähäisiä, eikä niillä arvioida olevan merkittäviä vaikutuksia.

### **Hulevesi**

Aurinkovoima-alueen rakentaminen vaikuttaa hulevesien kerääntymiseen ja alueen nykyiseen hydrologiaan. Paneeleista ja muuntamosta vesi valuu alas paneelien ja kattojen reunalta kaltevuuden ansiosta, jolloin hulevesien kuormituksen jakautuminen maaperään muuttuu. Geotekstiili on tarkoitus asentaa maan päälle aurinkopaneelitelineiden alueelle. Aurinkovoima-alueella muodostuvien hulevesien määrään vaikuttaa lähinnä geotekstiilin materiaalivalinta ja asennusalueen laajuus. N1-luokan suodatinkankaan vedenläpäisevyys

on hyvä, joten suodatinkankaan ei arvioida vaikuttavan aurinkovoima-alueella muodostuvien hulevesien määrään. Mikäli geotekstiili on vettä läpäisemätöntä tai huonosti läpäisevää, hulevesien imeytymistä ei tällöin tapahdu geotekstiilin alueelta. Tämä kasvattaa valumaa aurinkovoima-alueelta.

### **Maisema**

Geotekstiilin maisemavaikutuksia on arvioitu havainnekuvienv avulla. Tummat aurinkopaneelit korostuvat vaaleaa geotekstiiliä vasten. Maisemavaikutuksen suuruus riippuu neljästä seikasta: maapinnan muodosta, paneelien sijoituksesta suhteessa katselusuuntaan, kasvillisuudesta ja vuodenajasta. Yhteenvetona voidaan kuitenkin todeta, että geotekstiili voimistaa paneelikenttien aiheuttamaa muutosta maisemassa. Vaikutuksen suuruus vaihtelee ympäristön muiden ominaisuuksien, etenkin topografian ja ympäröivän kasvillisuuden perusteella.

### **Heijastus**

Aurinkovoimalan heijastusvaikutuksia selvitetään tyypillisesti häikäisyn liikenteelle aiheuttaman turvallisuusriskin näkökulmasta. Geotekstiili sijoittuu aurinkopaneelien alle, eikä vahvista paneelien yläpinnasta aiheutuvia heijastuksia. Alapinnasta heijastukset suuntautuvat kohti maata. Geotekstiilin heijastavuutta kuvataan heijastuskertoimen sijaan albedolla. Geotekstiilin häikäisyriskiä arvioitaessa hyvä vertailukohta on tuoreen lumen albedo. Näkökykyä heikentävän estohäikäisyn aiheutumista geotekstiilin heijastuksesta voidaan pitää epätodennäköisenä. Lisäksi geotekstiilistä heijastuvan auringonsäteilyn näkyvyyttä rajoittavat samat tekijät kuin maisemavaikutusten näkyvyyttä.

Helsingissä 17.9.2024

WSP Finland Oy

---

## Viitteet

Allouhi A., Rehman S., Buker M. S. & Said Z. 2023. *Recent technical approaches for improving energy efficiency and sustainability of PV and PV-T systems: A comprehensive review*. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 56: 103026.

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103026>

Alison, J., Botham, M., Maskell, L. C., Garbutt, A., Seaton, F. M., Skates, J., Smart, S. M., Thomas, A. R. C., Tordoff, G., Williams, B. L., Wood, C. M. & Emmett, B. A. 2022. Woodland, cropland and hedgerows promote pollinator abundance in intensive grassland landscapes, with saturating benefits of flower cover. *Journal of Applied Ecology*. 59: 342-354. doi: 10.1111/1365-2664.14058

An, N., Hemmati, S. & Cui, Y-J. 2017. Assessment of the methods for determining net radiation at different time-scales of meteorological variables. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 9: 239-246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.10.004>

An, T., Schaeffer, S., Li, S., Fu, S., Pei, J., Li, H., Zhuang, J., Radosevich, M. & Wang, J. 2015. Carbon fluxes from plants to soil and dynamics of microbial immobilization under plastic film mulching and fertilizer application using <sup>13</sup>C pulse-labeling. *Soil Biology and Biochemistry*. 80: 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.09.024>

Barghini, A. & de Medeiros, B. A. S. 2012. UV Radiation as an Attractor for Insects. 2012. *Leukos*. 9(1): 47-56. doi: 10.1582/LEUKOS.2012.09.01.003

Kring, J. B. & Schuster, D. J. Management of Insects on Pepper and Tomato with UV-Reflective Mulches. *Florida Agricultural Experiment Station Journal Series*. R-01391: 119-129.

Barry, R. & Chorley, R. *Atmosphere, Weather and Climate* (8<sup>th</sup> ed.). 2003. Taylor & Francis Group.

Carneiro, J.R.; Lopes, M.d.L. 2022. Weathering of a Nonwoven Polypropylene Geotextile: Field vs. Laboratory Exposure. *Materials*. 2022, 15, 8216.

<https://doi.org/10.3390/ma15228216>

Choi, Y. & Lee, L. 2017. Aerobic Soil Biodegradation of Bisphenol (BPA) Alternatives Bisphenol S and Bisphenol AF Compared to BPA. *Environmental Science & Technology*. 51.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b03889>

Dorn, P.B., Chou, C-S., Gentempo, J.J. Degradation of bisphenol A in natural waters, *Chemosphere*, Volume 16, Issue 7, 1987, Pages 1501–1507, ISSN 0045-6535,

[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(87\)90090-7](https://doi.org/10.1016/0045-6535(87)90090-7)

Jones, A., Fortier, J., Gagnon, D. & Truax, B. 2020. Trading tree growth for soil degradation: Effect at 10 years of plastic mulch on fine roots, earthworms, organic matter and nitrate in a multi-species riparian buffer. *Trees, Forests and People* 2: 100032.

<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100032>

- Kang, J.H. & Kondo, F. Bisphenol a degradation by bacteria isolated from river water. Arch Environ Contam Toxicol. 2002 Oct;43(3):265–9.  
<https://doi.org/10.1007/s00244-002-1209-0>
- Klecka, G.M., Gonsior, S.J, West, R.J., Goodwin, P.A., Markham, D.A. 2001. Biodegradation of bisphenol A in aquatic environments: river die-away. Environ Toxicol Chem. 2001 Dec;20(12):2725–35. Kring, J. B. & Schucter, D. J. 1992. Management of insects on pepper and tomato with UV-reflective mulches. Florida Entomologist 75(1): 119-129.
- Lewis, M. R., Ovaitt, S., McDonald, B., Deline, C. & Hinzer, K. Artificial ground reflector size and position effects on energy yield and economics of single-axis-tracked bifacial photovoltaics. Progress in Photovoltaics. 2024: 1-12. doi: 10.1002/pip.3811
- MacIntosh, H., Atucha, A. & Guédot, C. 2024. Plastic mulches reduce abundance of some arthropods but are not detrimental to pollinators in primocane raspberries. Journal of Applied Entomology. 148: 180-190. doi: 10.1111/jen.13221
- Man X., Liu J., Lu C. & Chen Y. 2023. Study on the permeability characteristics of different geotextiles under weft and warp stretching. PLoS ONE. 19(6).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306057>
- Markvart, T., CastaŁzer, L. 2003. *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Elsevier. ISBN 978-1-85617-390-2.
- Monkul, M.M.; Özhan, H.O. 2021. Microplastic Contamination in Soils: A Review from Geotechnical Engineering View. *Polymers* 2021, 13, 4129.  
<https://doi.org/10.3390/polym13234129>
- Pak A. & Zahmatkesh Z. 2011. *Experimental study of geotextile's drainage and filtration properties under different hydraulic gradients and confining pressures*. International Journal of Civil Engineering. 9(2):97–102.
- Rainho, A., Augusto, A. M. & Palmeirim, J. M. 2010. Influence of vegetation clutter on the capacity of ground foraging bats to capture prey. Journal of Applied Ecology. 47: 850-858. doi: 10.1111/j.1365-2664.2010.01820.x
- Ramboll. 2022. Geotextiles and microplastics in Sweden - an assessment. Ramboll Sweden AB. A report made for The Swedish Environmental Protection Agency. Riedel-Lyngskær N., Poulsen P. B., Jakobsen M. L., Nørgaard P. & Vedde J. 2020. *Value of bifacial photovoltaics used with highly reflective ground materials on single-axis trackers and fixed-tilt systems: a Danish case study*. IET renewable power generation. 14(19): 3946–3953. doi: 10.1049/iet-rpg.2020.0580
- Skórka, P., Lenda, M., Moroń, D. & Tryjanowski, P. 2013. New methods of crop production and farmland birds: effects of plastic mulches on species richness and abundance. Journal of Applied Ecology. 50: 1387-1396. doi: 10.1111/1365-2664.12148
- Steinmetz, Z., Wollman, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O. & Schaumann, G. E. 2016. Plastic mulching in agriculture. Trading short-term

---

agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of Total Environment*. 550: 690-705. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.153>

THL 2024. <https://thl.fi/aiheet/ymparistoterveys/ymparistomyrkyt/ympariston-mikromuovit>. Viitattu 30.8.2024.

van der Kooij, C. J., Stavenga, D. K., Arikawa, K., Belušić, G. & Kelber, A. 2021. Evolution of Insect Color Vision: From Spectral Sensitivity to Visual Ecology. *Annual Review of Entomology*. 66: 435-461. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-061720-071644>.

Wiewel, B.V. & Lamoree, M. 2016. Geotextile composition, application and ecotoxicology—A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 317, 640–655. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.060>

## Jakelu

Gonzalo Piedra Mendoza, Alight AB  
Alexander Rudberg, Alight AB