



Kristian Forsberg

Biosolar-kattojen toiminta ja soveltuvuus Suomeen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energiatekniikka

Insinöörityö

31.1.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Kristian Forsberg
Otsikko: Biosolar-kattojen toiminta ja soveltuvuus Suomeen
Sivumäärä: 27 sivua
Aika: 31.1.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine: Energiatekniikka
Ohjaajat: Lehtori Kari Salmi
Projektipäällikkö Jaakko Lehtonen

Insinööritöön tarkoituksena oli tutkia Biosolar-kattojen soveltuvuutta Suomeen ja luoda pohjaa tuleville tutkimuksille. Biosolar-katto on aurinkosähköjärjestelmän ja viherkaton yhdistelmä. Tutkimuksessa selvitettiin Biosolar-katon rakenteet ja piirteet. Lisäksi selvitettiin, mitkä ovat Biosolar-katon edut ja miten ne esiintyisivät Suomeen asennettaessa.

Työ tehtiin Pilotgreen-hankkeelle, tarkoituksena kehittää viherinfrastruktuurin uusia teknologioita. Selvitystyössä tutkittiin aikaisempia Biosolar- ja viherkattotutkimuksia maailmalta. Lisäksi kyseltiin Biosolar-kattoja asentavilta ja hoitavilta yrityksiltä kysymyksiä Biosolar-kattojen teknisiin ominaisuuksiin ja huoltoon liittyen. Vastausten määrä jäi vähäiseksi, todennäköisesti kysymysten määrän ja rahallisen palkkion puutteen takia.

Aikaisempien tutkimustulosten perusteella pystyttiin todistamaan Biosolar-kattojen etujen olemassaolo. Biosolar-kattojen edut jakautuvat yksityisiin ja julkisiin etuihin. Yksityisiin etuihin kuuluvat haihtumisveden viilentävä vaikutus sähköntuotantoon, lämpösaarekeilmiön vähennys ja vaikutukset energiansäästöön jäähdytyksessä ja lämmityksessä. Julkisia etuja ovat ekologiset tekijät, kuten biodiversiteetin kasvu, ilman puhdistus ja hulevesien hallinta.

Suomeen soveltaessa on oletettavaa, että vuosittaiset sähköntuotannolliset edut eivät ole yhtä suuret kuin kuumissa ilmastossa. Lämmönhallinnalliset edut tulevat silti säästämään energiaa ja siten rahaa kiinteistössä.

Kustannuksien ja säästöjen muodostumisesta tehtiin analyysiä, mutta lopulliset säästöt ja kustannukset jäivät hieman epäselväksi asentajien vastauksen puutteessa. Tulevaisuudessa suunnitellussa asennusta ja tietäen enemmän halutuista ominaisuuksista hinnan arvioiminen on helpompaa.

Avainsanat: Biosolar, aurinkosähkö, viherkatto

Abstract

Author: Kristian Forsberg
Title: The Function and Application of Biosolar-roofs in Finland.
Number of Pages: 27 pages
Date: 31 January 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Energy and Environmental Engineering
Professional Major: Energy Technology
Supervisors: Kari Salmi, Senior Lecturer
Jaakko Lehtonen, Project manager

The purpose of the thesis was to investigate the applicability of Biosolar roofs in Finland and to lay foundations for future research and applications. The Biosolar roof is a combination of a solar power array and a green roof. The structure and properties of the Biosolar roof were examined in the study. After studying the benefits of the structure, their effects on the structure's functionality in a Finnish environment were estimated.

The thesis was done for the PilotGreen -project with the purpose of developing green infrastructure technologies. The study explored previous Biosolar installations and green roof studies from around the world. Companies that install and maintain Biosolar roofs were also contacted about the properties of Biosolar roofs. The number of answers to inquiries was low, likely due to the large number of questions without any incentive for answering them.

On the basis of the results from previous studies, the benefits of the Biosolar roof were proven. Biosolar roofs' benefits are divided into private and public benefits. Private benefits include increased energy production efficiency when evaporating water cools the solar cells, reducing cooling and heating costs for buildings, and the reduction of the heat island effect. Public benefits include ecological factors such as increased biodiversity, air quality improvements and the flow control of water.

When applying Biosolar roofs to Finland, it is assumed that the energy production benefits will be not as significant as in hotter climates. The benefits of temperature control will still result in savings for the building.

An analysis was conducted for the formation of costs and savings, but the result is vague due to the lack of definitive information about costs. When planning a prototype structure and knowing its properties, it will be possible to gain a better understanding of costs.

Keywords: Biosolar, solar power, green roof

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Selvitys tutkimusmetodeista	2
3	Biosolar-katon rakenne ja toiminta	2
3.1	Biosolar-katon kerrosrakenne ja piirteet	3
3.2	Biosolar-katon huoltaminen	5
3.3	Biosolar-katon edut	7
4	Biosolar-kattojen edut ja niiden todistaminen	8
4.1	Lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon	8
4.2	Paneelien jäähtytys Biosolar-katossa	9
4.3	Ekologiset edut	9
4.4	Vaikutus kiinteistön energiankulutukseen	10
5	Soveltuvuus Suomeen	11
5.1	Energiansäästön ja tuotannon potentiaali verrattuna perinteiseen aurinkopaneelikattoon	11
5.2	Paloturvallisuus ja määräyksiin sovittaminen	13
5.3	Ekologiset edut	15
6	Kustannukset ja kannattavuus	16
6.1	Yksityisten kustannusten muodostuminen	16
6.2	Säästöjen ja hyötyjen muodostuminen	17
6.2.1	Säästöt sähköntuotannosta	18
6.2.2	Säästöt energiankulutuksen vähentämisestä	19
6.3	Muut säästöt investoinnissa ja energiatuki	20
6.4	Biosolar-katon hinta-analyysiä Bauderin asennuksista	20
7	Yhteenveto	22
	Lähteet	24

Lyhenteet

- PV: Photovoltaic eli valosähköinen ilmiö, jossa aurinkokennoon kohdistuva valo muuttuu sähköksi.
- W_p : Wattipiikki eli aurinkopaneelin tuottama huipputeho standardiolosuhteissa.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Biosolar-kattoja ja niiden soveltuvuutta Suomen ilmastoon. Työssä selvitetään, mitä Biosolar-katto tarkoittaa, mistä se koostuu, ja miten se toimii. Lisäksi selvitetään, mitä etuja Biosolar-katolla on energiantuotannon ja ympäristön näkökulmasta.

Työ tehdään Pilotgreen-hankkeelle, jossa kehitetään ja kokeillaan uusia vihreän infrastruktuurin ratkaisuja Suomessa. Hankkeen tavoitteena on viherinfrastruktuurin uusien ratkaisujen kehittämistyö. Hankkeessa tutkitaan ja kehitetään uusia viherinfrastruktuurin ratkaisuja kokeilemalla niitä yritysten ja kaupunkien kanssa.

Tutkinnassa perehdytään myös haasteisiin, joita Biosolar-kattoprojektit tulevat kohtaamaan Suomessa. Osa haasteista johtuu aiemman edustuksen puutteesta, ympäristön, ja palo- ja rakennusturvallisuusseikkojen luomista esteistä. Tarkoituksena on selvittää esteiden suuruus ja päihitettävyyys.

Lopuksi Biosolar-kattoa verrataan perinteiseen aurinkopaneelikattoon kattotilankäytön kilpailuttamisen näkökulmasta. Lisäksi yritetään todistaa Biosolar-katon etujen toimivuus ja arvioidaan tuotantotehoja, ekologisia etuja ja kustannuksia, jotka tulevat huollosta ja alkuinvestoinnista. Huomattavaa on kuitenkin, että jotkin Biosolar-kattojen tuomat edut ovat virkistyksellisiä tai mukavuutta parantavia. Tällöin saavutettavat edut eivät ole niin yhtä helposti mitattavissa kuin rahalliset seikat, ja etujen arvoa on siten vaikea arvioida.

2 Selvitys tutkimusmetodeista

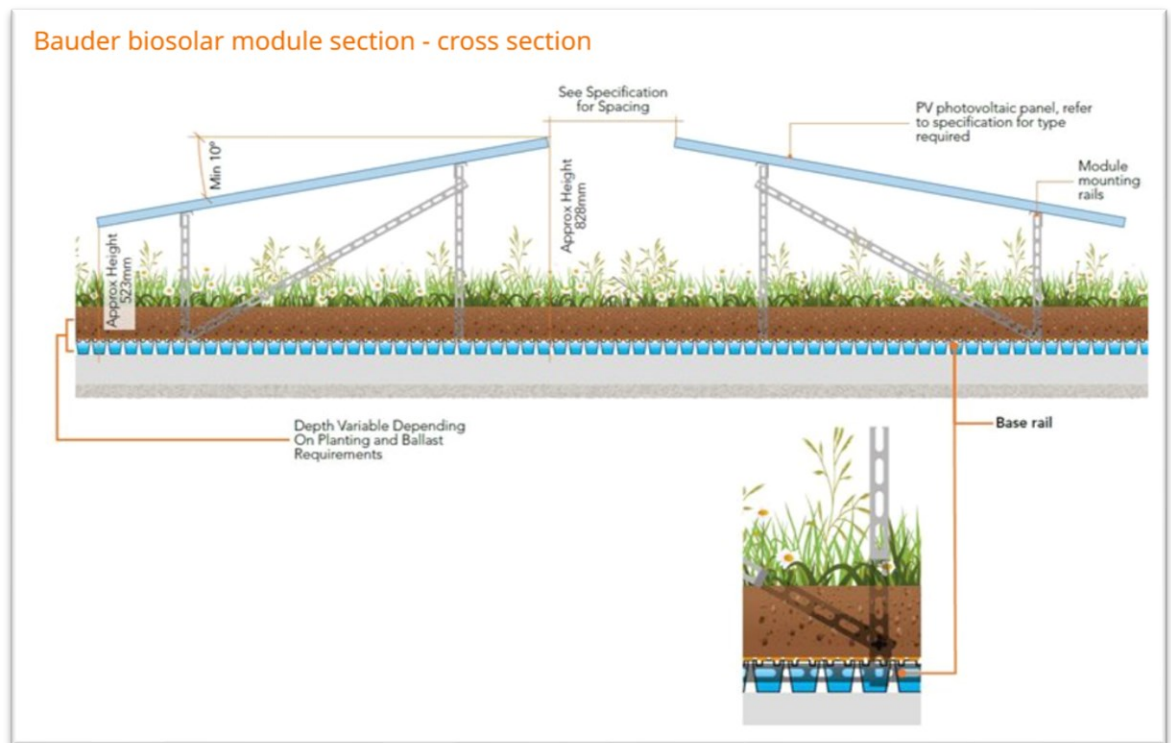
Selvitystyössä haettiin tietoa tieteellisistä tutkimuksista ja yrityksiltä, joilla on kokemusta Biosolar-kattojen asennuksesta ja huollosta. Yritysten projektit ovat todiste konseptin toimivuudesta ulkomailla, joten vastaavien teknisien ratkaisujen toimivuus Suomessa on perusteltua. Tietoja sovelletaan selvittäessä etujen suuruutta ja saavutettavuutta Suomessa.

Tietoja on haettu myös yrityksiltä kysellen sekä hakien tarkempia tietoja projektien rakennus- ja ylläpitovaatimuksista. Yrityksiltä haettiin tietoa Biosolar-katon kustannuksista ja sopeutuvuudesta Suomen rakennusstandardeihin. Lisäksi haluttiin tietää sähköntuotannosta ja investointikustannuksista pelkkään aurinkopaneeli kattoon verrattuna.

3 Biosolar-katon rakenne ja toiminta

Biosolar-katto koostuu kahden systeemin yhdistelmästä. Katossa yhdistyvät monikerroksinen viherkatto ja perinteinen aurinkopaneelisysteemi tukirankoineen. Biosolar-katon tavoitteena on muodostaa rakennuksen katolle sähköä tuottava järjestelmä, jonka alla on viherkatto. Viherkatto kasvattaa ympäristön biodiversiteettiä ja veden haihtumisellaan jäähdyttää aurinkopaneeleita ja kiinteistöä. [1; 2; 3; 4.]

Biosolar-katto asennetaan yleisesti betoni- tai bitumiinikattopinnan päälle. Viherkattokerros voi toimia aurinkopaneelisysteemin ankkuroivana painolastina eikä vaadi reikien porausta olemassa olevaan kattorakenteeseen. Reiättömyys lisää Biosolar-kattosysteemin pitkäkestoisuutta, koska silloin vedenpitävä kerros pysyy yhtenäisenä. Reiättömän ankkuroinnin poikkileikkaus kuvassa 1 on esimerkki Bauder yrityksen Biosolar-kattomallista. [5; 6.]



Kuva 1. Poikkileikkaus Bauderin Biosolar-moduulista [7].

Kuvassa 1 näkyy kiinnityskaiteiden sijoittuminen vedenpitävän pohjakerroksen päälle. Varsinaisten PV (photo voltaic) -moduulien sijoittamisessa on aina muuttumisen varaa kohteen mukaan, mutta yleisesti ne asennetaan vähintään noin 30 cm:n korkeuteen kasvualustan pinnasta. Tällöin kasveille jää tilaa kasvaa tulematta paneelien tielle ja huoltaessa on helpompi yltää paneelien alle. [7.]

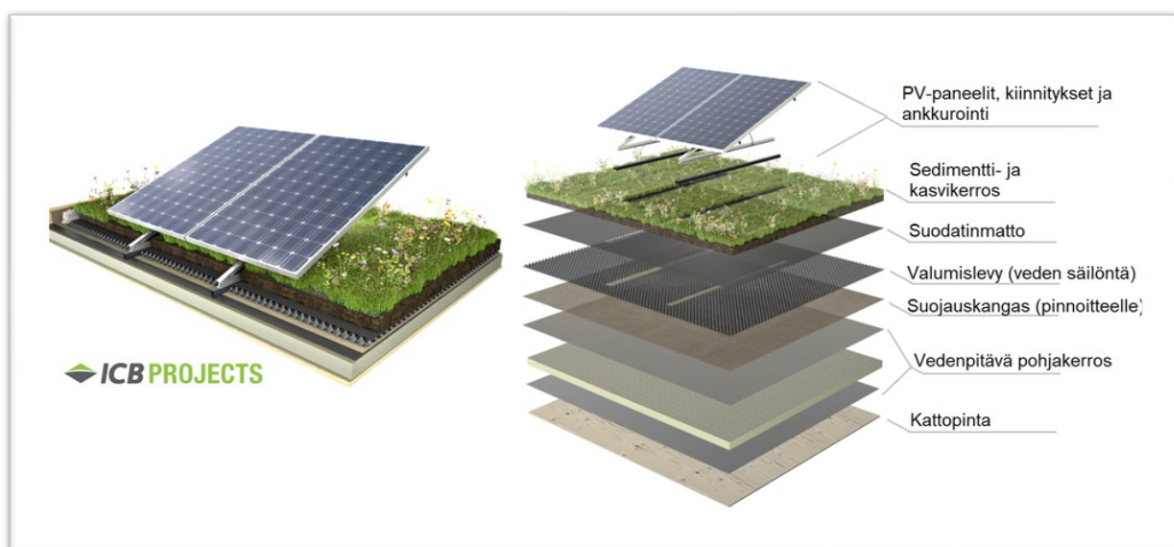
3.1 Biosolar-katon kerrosrakenne ja piirteet

Biosolar-kattoja suunnitellaan kohteen mukaan, ja rakenteet saattavat siten muuttua. Tavallisimmin Biosolar-moduulin viherkattokerros koostuu monesta eri kerroksesta, jotka takaavat katon vedenpitävyyden, kestävyys, veden kulun, ja mahdollistavat kasvien kasvun.

Sedimentti- ja valumiskerrosten paksuudet voivat vaihtelevat huomattavasti halutun lopputuloksen mukaan. Sedimenttikerroksen ja valumiskerroksen

ominaisuuksia voidaan säädellä haluttujen tarpeiden mukaiseksi. Viherkaton rakentamiseen on löydettävissä ohjeistusta ja standardeja. Saksalainen viherkatto-ohjeistus FLL – Green roof guidelines [2] ja Rakennustietokaupan ohjeet Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat [8; 9; 10] kertovat viherkattorakenteiden periaatteista ja toimivuuden yksityiskohtaisesta saavuttamisesta. Lisäksi Helsingin yliopiston Koulutus- ja kehittämiskeskus Palmenian tuottama Normeja viherkatoille – Perusteita kehittämiseen tutkimusraportti kertoo yleisesti viherkatoista ja niiden kehityksestä ja kohdennuksesta Suomeen. [11.]

Kuvassa 2 esitellään brittiläisen ICB projects -yrityksen Biosolar-kattomalli. Malli antaa yleisen kuvan Biosolar-katon koostumuksesta. Kerrosrakenne on avattu ja kerrokset on nimetty havainnollistamista varten. Jotkin kerroksien ominaisuudet saattavat muuttua kohdekohtaisesti, mutta Biosolar-kattojen rakenne on yleisesti samanlainen.



Kuva 2. ICB:n Biosolar-katon poikkileikkaus ja rakenteet [12].

Biosolar-katon viherkerroksen rakentamista varten tehdään kattopinnalle vedenpitävä pohjakerros. Pohjakerroksen tehtävänä on vesipitoisuuden takaamisen lisäksi estää juuria kasvamasta kattopinnan sisälle. Tarvittaessa pohjakerroksen saatetaan asentaa lisäsuojauksia varten toinen suojaava kerros.

Vesi- ja valumiskerros ja aurinkopaneelien kiinnitys tulevat pohjakerroksen päälle. Ankkuritangot PV-paneelien runkoja varten kiinnitetään vedenpitävään pohjaan reikiä tekemättä. Valumiskerrokseen asennetaan myös veden kulkua mahdollistava reiällinen levy, johon säiliöityy vettä. Valumislevyn toinen funktio on levittää painolasti ankkuritankojen päälle. Ankkuritankoihin kiinnitetään loput PV-paneelien tukirungosta, joka tunkeutuu läpi viherkatosta.

Sedimenttikerroksen pohjalle, valumislevyn päälle asennetaan suodatinmatto, jolla estetään sedimentin kulkeutuminen valumiskerrokseen.

Sedimenttikerroksen rakenne voi muuttua monella tavalla riippuen kohteen tarpeista. Painolastia ja vedensitovuutta voidaan säätää materiaalinvalinnalla.

Lopuksi sedimenttikerroksen päälle levitetään sopivat siemenet, tai istutetaan haluttuja kasveja. Kasvien valinta ja PV-paneelien asennus riippuu taas kohteesta ja vaihtelee. Paneelien asettelu vaikuttaa kasvien kasvamiseen luomalla vaihtelevia olosuhteita. Sedimenttiin muodostuu kuivempia, märempiä, valoisampia ja pimeämpiä alueita. Biosolar-kattoihin suositellaan siemensekoituksia, jotka sisältävät monenlaisia kasveja, jotka pystyvät kasvamaan puolivarjoisessa tilassa. [13.]

Suomessa on mahdollista käyttää kestäviä kotimaisia kasvilajeja, jotka sopeutuvat suomalaiseen ekosysteemiin. Olennaista kasvivalinnassa on helppohoitoisuus ja kestävyys ilmaston ja eliöiden näkökulmasta. Viherkatoille voidaan sijoittaa kotimaisia luonnonkasveja ja FinE-kasveja (Finnish Elite), joista tulee valita kohteelle ominaisuuksille sopivat lajit. [9, s.1–2.]

3.2 Biosolar-katon huoltaminen

Kasvualustan istutuksen alkuvaiheessa tulee tehdä hieman intensiivisempää huoltoa juuriston kasvaessa. Alkuvaiheessa tulee kattoa kastella ensimmäisen kasvukauden ajan ja tarvittaessa kitkeä paikalle levinneitä muita kasveja pois. Kasvukauden pituus ja tarpeet riippuvat taas istutetusta kasvityypistä. [2; 14.]

Idealisesti Biosolar-katolle istutettavat kasvit ovat sekoitus lyhyitä, kuivuutta ja puolivarjoisuutta kestäviä lajeja. Tähän soveltuvat hyvin kotimaiset niittyviherkatolle istutettavat kasvit. Rakennustiedon kortissa (RT 85-11204) on taulukoita, jossa listataan viherkatoille istutettavia kasveja ominaispiirteittäin. [9, s. 5–15.]

Biosolar-katon kuntoisuuden ylläpitämiseksi on tärkeää huoltaa viherkattoa ja PV-moduuleita tarvittavin väliajoin. Yleisohjeena suositellaan kaksi kertaa vuodessa tehtävää huoltoa, joka pitää sisällään rakenteiden tarkastuksia ja hoitotoimenpiteitä. Sähköjärjestelmän huolto on hyvä suorittaa vähintään kolmen vuoden välein [3; 14]. Lisäksi suositellaan aurinkopaneelien pinnan ajoittaista puhdistamista. Paneelien pinnan puhtaana pitäminen luonnollisesti nostaa sähköntuotantoa varsinkin sadevesipuhdistuksen puutteessa.

Taulukko 1. Yleiset hoitotoimenpiteet Biosolar-katolla

Hoitotoimenpide	Hoitoväli
Rakenteiden vakauksen tarkastaminen	Kerran vuodessa
Sähköjärjestelmän tarkastaminen	2-3 Vuoden välein
Kasvien kunnon kartoitus, hoito ja rikkakasvien kitkeminen	Kasvien mukaan, kasvukauden alussa ja lopussa. Tarpeen mukaan useammin.
Kasvualustan lannoittaminen	Kasvien mukaan, kasvukausittain
Veden kulkureittien tarkastaminen ja avaaminen	Kasvukauden alussa ja lopussa.
Roskien, lumen ja tarpeettoman kasvuston poisto (ränneistä, PV-moduuleista, kasvualustasta)	Kasvukauden lopussa ja silmämääräisesti tarpeen mukaan
PV-moduulikohtaiset huoltotoimenpiteet	Valmistajan ohjeiden mukaan

Kausittaisiin tarkastus ja huoltotoimenpiteisiin kuuluvat yleisesti taulukossa 1 näkyvät toimenpiteet. Viherkattojen vaihtelevuuden mukaan tarvittavat toimenpiteet saatavat esiintyä useammin. Mahdolliset muutokset toimenpiteisiin tulevat ilmi suunnitellessa kasvustoa ja kattorakennetta.

3.3 Biosolar-katon edut

Viherkatto tuo jo itsessään etuja ekosysteemin ja rakennuksen kannalta.

Viherkatossa oleva vesi vie haihtuessaan mukana lämpöä katolta. Urbaaneilla alueilla hyvin hoidettu viherkatto ylläpitää biodiversiteettiä, viilentää kiinteistöä, parantaa ilmanlaatua, ja säätelee sadeveden kulkua säilömällä sitä.

Viilentämällä kiinteistöä kesäisin viherkatto vähentää ilmastoinnin energiankulutusta, säästää sähköä ja rahaa. Viherkatto tuo myös viihtyvyyttä ympäristöön. [1, 2.]

Biosolar-katto pystyy myös tutkitusti tuottamaan enemmän sähköä kuin pelkkä aurinkopaneelikatto. Lisätuotanto perustuu lämpötilanhallintaan aurinkopaneelien mikroilmastossa. PV-paneelien kuumentuessa niiden sähköntuotantoteho alenee sisäisten vastusten kasvaessa [15.] Viherkaton toimiessa yhdessä aurinkopaneelien kanssa haihtuva vesi jäähdyttää aurinkopaneeleita, nostaen lopullista sähköntuotantotehoa. Verrattuna perinteiseen aurinkopaneelikattoon Biosolar-katossa PV-paneelien viileämmässä mikroilmastossa paneelien suhteellisen sähköntuotantoteho voi kasvaa jopa 0,5–5 %. Tutkimuskohteet tehokkuudesta sijoittuvat Australiaan, Espanjaan, Kiinaan, Kreikkaan, Saksaan ja Yhdysvaltoihin. Lopullinen etu saattaa olla Suomessa hieman pienempi, johtuen pienemmistä lämpökuormista. [1; 2; 3; 16.]

4 Biosolar-kattojen edut ja niiden todistaminen

Biosolar-katon energiatehokkuus- ja ekologisista eduista verrattuna perinteisiin aurinkopaneeleihin on tehty sekä teoreettisia tarkasteluja että käytännön kokeita, joissa on mitattu etujen suuruutta ja selitetty niiden tieteellistä perustaa. Tulevassa osiossa keskitytään Biosolar-kattojen etujen todistamiseen tutkimuksien perusteella.

4.1 Lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon

PV-paneelien nimellistehon (W_p) määrittelyssä käytetään standardisoitua testiä vakiolämpötilassa (25 °C). Testissä aurinkopaneelien pinnalle tuleva säteily määrä on 1 000 W/m². Tuotettu sähköteho määritetään paneelin nimellistehoksi. PV-paneeli kykenee tuottamaan nimellistehoaan suurempia tai pienempiä tehomääriä riippuen säteilymäärästä ja lämpötilasta. [17.]

Chemisana ja Lamnatou [15] laskevat hyötysuhteen muuttuvan kaavan 1 mukaisesti. Jännitteen on ilmoitettu laskevan viittauslämpötilan (25 °C) ylittyessä noin. 2,3 mV/°C. Kaavassa sähköntuotannon hyötysuhde (η) laskee lämpötilan noustessa yli viittauslämpötilan (25°C). Kaavassa käytetty kerroin (β) on ominaisarvo, joka on määritelty paneelityypille. Hyötysuhde (η) laskee tällöin kaavan mukaisesti 0,4 %/°C (β) PV-paneelissa. [15.]

$$\eta(T) = \eta(25^\circ)[1 - \beta(T - 25^\circ)] \quad (1)$$

Korkeat lämpötilat vaikuttavat myös PV-paneelin elinikään, aiheuttaen pysyviä vaurioita. Katoilla lämpenevät PV-paneelit vastaanottavat lämmittävää säteilyä myös alapinnaltaan, valon kimmotessa katon pinnoista takaisin. Täten pohjan rakenne ja materiaalit ovat olennaisiakaton lämpöprofiilin elementtejä, ja ne vaikuttavat katolla olevien PV-paneelien sähköntuotantoon. Biosolar-katon viherpohja vähentää PV-paneelien ja mikroilmaston kuumenemista vähentämällä säteilyn heijastumista ja Heat Island -efektin eli lämpösaarekeilmiön muodostumista, lämmön johtuessa kasvupinnan sisälle ja vesipohjaan. [1; 15.]

4.2 Paneelien jäähdytys Biosolar-katossa

Biosolar-katon pohjan jäähtyminen perustuu energian poistumiseen veden haihtuessa kasvien ja sedimenttipohjan pinnalta. Biosolar-katon veden haihduntapinta-ala kasvaa kasvien kasvaessa ja pinnan geometrian monimutkaistuessa. Pinta-alan kasvaessa varsinkin kasvien hengittäessä sen läpi lämpöenergiaa kuluu veden haihduttamiseen. Veden haihtuminen siis jäähdyttää kattopintaa ja katolla olevaa ilmaa. [1; 3.]

Heat Island -efekti on yleistä lämpimällä kelillä tavanomaisilla katoilla. Yksinkertaistettuna talon katto lämpenee auringon säteilyn takia. Sisään tulevan energiavirran ollessa suurempi kuin ulos virtaava energia, ja lämpöenergia akkumuloituu katon pinnalle ja siellä oleviin rakenteisiin. Jäähdytyksen puuttuessa lämpötilat voivat katoilla nousta yllättävän suuriksi, jopa 80 °C:ksi lauhkeassa ilmastossa. Hyvin suunniteltu viherkatto pitää sadevettä sisällään pitkän aikaa eikä välttämättä tarvitse kastelujärjestelmää. Viherkattojen lämpötila voi pysyä veden haihdutuksen ja säilöntäveden korkean lämpökapasiteetin ansiosta alle 50-asteisena jopa kuumilla alueilla. [3.]

4.3 Ekologiset edut

Biosolar-katto tuo mahdollisuuden tuoda kasvillisuutta urbaaniin ympäristöön, jossa kasveille sopiva pinta-ala on yleensä hyvin vähäistä. Katoille asetettavat kasvialustat parantavat alueen ellettävyyttä kasveille ja pieneliöille. Kasveilla on luonnollinen kyky puhdistaa ilmasta kaasumaisia saasteita ja hiukkassaasteita ja tuottaa happea, parantaen näin ilmanlaatua ympäristössä. [18.]

Tiheästi asutetuissa urbaaneissa ympäristöissä voidaan myös havaita biodiversiteetin kasvua viherkattojen seurauksena. Puisto- tai muiden kasvillisuusalueiden puuttuessa viherkattoalueet tukevat paikallisia eliöitä. Biosolar-katon ekologiset hyödyt ovat verrattavissa tienreunan kasvustoon, jossa eliöt, kasvit ja sienet pystyvät saamaan kasvialustan. PV-paneelien alle muodostuvat mosaiikkiset kasvuympäristöt vaihtelevat varjoisuudellaan ja

kosteudellaan, mahdollistaen erilaisia olosuhteita tarvitsevien kasvien kasvun. Kasvualustassa kasvaa jossain määrin kasveja ja eliöitä lähiympäristöstä. [19.]

Veden säilöntäkyky on olennainen osa katon toimintaa ja vaikutusta ympäristöön. Kattoon varastoituva sadevesi pienentää hulevesikuormaa, joka ajautuu viemäriin varsinkin myrskyjen yhteydessä. Varastoitunut vesi auttaa myös eliöitä ja kasveja saamaan säännöllisen vedenlähteen. [18.]

4.4 Vaikutus kiinteistön energiankulutukseen

Biosolar-kattojen mainostetaan olevan hyödyllisiä kiinteistön energiankulutuksen kannalta. Energiankulutukseen voidaan vaikuttaa jo pelkällä viherkatolla. Talon koneellisen ilmastointijärjestelmän jäähdytyskuorma vähenee viherkaton läsnäolon takia. [15; 18; 20.]

Biosolar-katon tehokkuus energiansäästömetodina on suhteessa ympäristön olosuhteisiin ja katon rakenteellisiin ominaisuuksiin. Riippuen katon eristeominaisuuksista sedimenttikerroksen haihtumavesien pois viemä energia voi olla erittäin vähäistä. [20.]

Kreikkaan sijoittuvassa tutkimuksessa Niachou [20] käsittelee viherkattokerroksen jäähtymis- ja lämmöneristystehokkuutta eri kattokoostumuksilla. Tutkimuksessa tuodaan esiin eristeiden vaikutus katon lämmönjohtavuusarvoon. Vaihtelevuudet katon lämpöä eristävässä rakenteissa vaikuttavat suuresti viherkaton potentiaaliin säästöihin. Kattojen lämmönjohtavuuden muuttuessa talon sisusten lämpö ei johdu niin helposti viherkattoon, jolloin potentiaalinen jäähdytysteho laskee. Lopputuloksena viherkattoasennuksesta saatavat energiansäästöt vaihtelivat suuresti alkuperäisten eristysten mukaan. Hyvin eristetyillä katoilla, joita tullaan näkemään Suomessa enemmän, energiansäästöt jäivät pieniksi, hieman alle 2 %:n. [20.]

Talviaikaan Biosolar-katto voi toimia lämpöeristeenä, mutta lopullinen lämmönsiirtyminen kattopinnan läpi vaihtelee olosuhteiden mukaan. Hongkongiin sijoittuvassa tutkimuksessa [18] käsitellään paksun viherkaton lämmöneristyskykyä subtrooppisessa ilmastossa. Tuloksena saatiin, että talvisin energiaa siirtyi rakennuksesta ulkoilmaan suhteellisesti hieman enemmän viherkaton haihduttaessa vettä. Siirtynyt energiamäärä oli kuitenkin pienempi verrattuna energiansäästöetuihin. [18.]

Kysellessä yrityksiltä oli vaikeaa saada vastausta tarkkoihin teknisiin kysymyksiin. Biosolar-kattoja asentavat yritykset olivat yleensä vain valmistajia tai asentajia, jolloin heillä ei ollut vastauksia tutkimuskysymyksiin. Kuitenkin Bauder-yritykseltä saadussa vastauksessa varmistettiin, että viherkatoilla on eristysvaikutus kesäisin ja talvisin Saksassa. Talvisin viherkaton materiaali auttaa vähentämään lämmön konduktiota kattopinnan läpi ulkoilmaan. Lisäksi lumi- ja jääpeite estävät veden haihtumisen, jolloin lämpöä ei pääse karkaamaan sillä tavoin. [21.]

5 Soveltuvuus Suomeen

Biosolar-kattojen asennus Suomeen on tällä hetkellä uutta innovaatiota. Tutkimuksia Biosolar-kattojen tehokkuudesta löytyy monilta muilta lämpötila-alueilta, mutta kylmistä olosuhteista ei löydy paljon tehokkuuden mittaustietoa. Muualta kerättyä tietoa viherkattojen tehokkuudesta voidaan kuitenkin soveltaa pohdittaessa Biosolar-kattojen toimivuutta Suomen ilmastossa.

5.1 Energiansäästön ja tuotannon potentiaali verrattuna perinteiseen aurinkopaneelikattoon

Biosolar-katon ominaisuudet energiansäästössä jakautuvat kolmeen osioon: tehostettuun energiantuotantoon, kiinteistön jäähdytykseen ja lämpösaarekeilmion vähennykseen kuumalla kelillä ja lämpöeristeenä toimivuuteen kylmällä kelillä.

Todistettusti tutkimusten mukaan energiantuotanto kasvaa, kun aurinkopaneeleita ei päästetä kuumenemaan lämpösaarekeilmion tavoin [1; 15]. Luonnollisesti lämmönsiirtymä katon läpi on suurempi sisä- ja ulkoilman lämpötilaeron kasvaessa. Jos kiinteistöä pitää aktiivisesti viilentää kesällä, se aiheuttaa energiakustannuksia. Biosolar-katon viilentävällä vaikutuksella ja tuotetulla kompensoivalla sähköllä pystytään siis pienentämään kustannuksia. [1; 18; 20; 22.]

Siirtyessä kohti kylmiä kelejä, ennen kuin lumi ja jää peittävät rakenteet, voi olla mahdollista, että Biosolar-katon haihtumisvesi vie mukanaan kiinteistöstä lämpöä. Ulkona olevien elementtien ollessa kylmempiä kuin sisäilman lämpö pyrkii siirtymään pintojen läpi ulos kiinteistöstä. Biosolar- ja perinteisen katon olennainen lämmönmenetysero johtuu siis haihtuvan veden määrästä. [18; 20.]

Haihtumisen viilentävä vaikutus on riippuvainen säilötyn veden kyvystä haihtua. Tämä puolestaan on riippuvainen ilman suhteellisesta kosteudesta. Sateisella säällä lämpö siirtyy myös konvektion kautta hulevesien mukana. Menetetty energiamäärät Biosolar-katoilla ovat kuitenkin verrattavissa olosuhteisiin tavanomaisilla betonikatoilla sateisissa olosuhteissa. [18; 20.]

Äärimmäisen kuivilla alueilla Biosolar-kattoja saatetaan keinokastella kuten australialaisessa tutkimuksessa [1]. Veden haihtumisen ollessa suurempi kuin sademäärä säilötty sadevesi loppuu jossain vaiheessa. Tulee siis suunnitella miettiä keinokastelun tarvetta ja sitä miten se jaksotetaan. [1.]

Lämmön siirtymiseen olennaisempi vaikuttava tekijä on katon eristyskyky, johon Suomen katoissa panostetaan kylmän talven takia. Tutkimuksissa mitattujen hyvin eristettyjen kattojen lämmönsiirtymä oli huomattavasti pienempi kuin huonosti eristetyillä katoilla viherkaton läsnäolosta huolimatta. Talvisin jää- ja lumikerros pystyvät estämään veden haihtumista. [18; 20.]

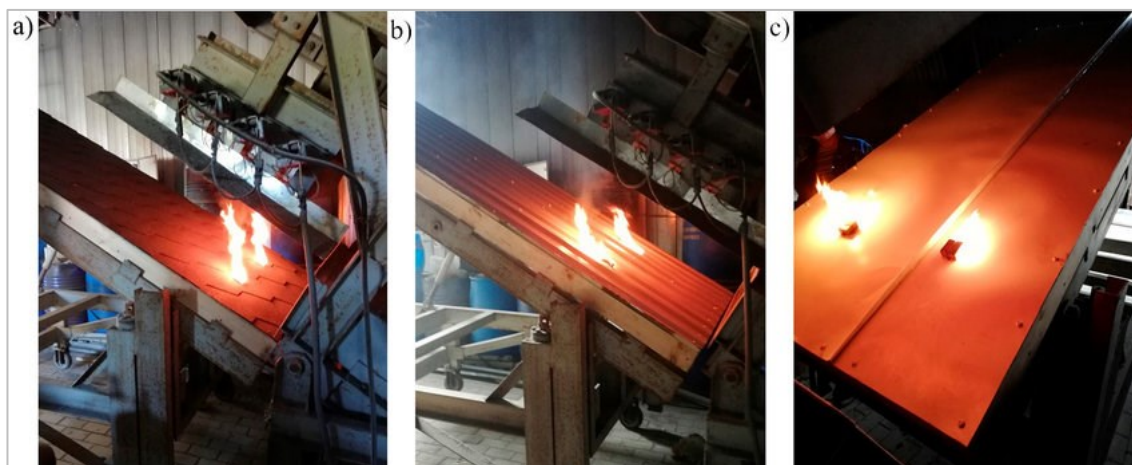
Suomalaisen kiinteistön erinomaiset erityiset pienentävät kiinteistön sisäilman viillennyskustannusetuja ja lämmityskustannushaittoja. Katolla olevat aurinkopaneelit pystyvät kuitenkin ulkoisessa mikroilmastossa hyödyntämään

jäähdytysetuja. Viherkaton jäähdytysvaikutuksen arvioidaan vaikuttavan monikerroksisissa rakennuksissa vain ylimpään viiteen kerrokseen. Alaspäin siirtyessä viilennysvaikutus laskee. [22.]

5.2 Paloturvallisuus ja määräyksiin soveltaminen

Aurinkovoimalan asennus katoille on Suomessa yleistä, kuten ovat viherkatotkin. Näiden systeemien yhdistyksessä huolenaiheena voi olla viherkaton palaminen luonnonilmiön tai sähkövian takia. Ylimääräiset katolle asennetut palavat aineet aiheuttavat huolta pelastuslaitokselle. Varsinkin suunnitelmassa rakennelmia asuinrakennuksiin paloturvallisuus on erittäin tärkeä asia ihmisten jatkuvan läsnäolon takia. Rakennusten käyttötapa vaikuttaa siis paloturvallisuusluokan rajaamiseen. [23, s.10–12.]

Biosolar-katon paloturvallisuusvaatimusten täyttämiseksi pyritään saavuttamaan kattorakenteelle EU:n paloturvallisuusluokitus rajoittamaton B_{ROOF(t2)}-luokka, joka määritellään palotestin mukaan. Palotestissä luokitus määritellään sen ulkoisen syttymisvaaran, palon levittävyys ja alustansa suojauksen suhteen. Kuvassa 3 näkyy Suomessa käytetty kattopeitteiden paloturvallisuustesti (TS 1187 t2), jota käytetään määrittäessä turvallisuusaste kattoasenteille, kuten viherkattokerroksille ja vedenpitävyyspinnoitteille. [23; 24; 25.]



Kuva 3. Palamistestin (TS 1187 t2) esimerkki [37].

Testissä (TS 1187 t2) testattavaa kattopintarakenne asetetaan 45°:n kulmaan lämmityselementin alle. Lämpö kohdistetaan vastuksista pintaan, ja mitataan pinnan syttyvyyttä ja palavuutta. Kyseistä palamistestiä on vaikea suorittaa geometrisesti monimutkaiselle pinnalle, jolloin lopullista Biosolar-kattosysteemiä voi olla vaikea testata, mutta testi voidaan suorittaa erikseen pohjalle ja tarvittaville rakenteille. Esimerkiksi Bauderin valmiit Biosolar-kattojen käyttämät viherkasvipohjat saavat rajoittamattoman B_{ROOF}-luokituksen [26]. Lisäksi rakentamismääräyskokoelmassa on olemassa lista testatuista materiaaleista, joiden voidaan katsoa kuuluvan B_{ROOF}-luokkaan ilman erillistä testausta [23, s. 42]. [24.]

Kasvien ja sedimentin valinta ja huolto vaikuttavat huomattavasti viherkattopohjan ja kasvityyppien palamisen resistiivisyyteen. On siis tärkeää paloluokituksen kannalta, että pystytään arvioimaan kasvien ja sedimenttipohjan resistiivisyys palamiselle ajan edetessä. Viherkattopohjalle on määrätty ohjeita paloturvallisuuden suhteen FLL:n viherkatto-ohjeessa. Viherkaton on saavutettava tietyt raja-arvot ominaisuuksissaan, jotta se voidaan todeta katon ulkopuolisesta tulesta lentävien kipinöiden ja säteilevän lämmön kestäväksi. [2, s.45.]

Biosolar-katto järjestelmää suunnitellessa tulee käyttää perinteisiä aurinkopaneelijärjestelmiin paloturvallisuutta parantavia käytäntöjä. Asennuksessa tulee käyttää vaatimukset ja standardit täyttäviä komponentteja ja sähkölaitteita. Motivan mukaan aurinkosähköjärjestelmien suurimmat haasteet liittyvät sähköturvallisuuteen. Riskejä voi vähentää huolellisuudella suunnitellessa ja asentaessa. Virheet komponenttien tai laitteiston valinnassa ovat merkittävä aiheuttaja sähköjärjestelmien tulipaloissa. [27.]

5.3 Ekologiset edut

Suomen kaupungeissa on tällä hetkellä jonkin verran viheralueita.

Tulevaisuudessa urbaanien alueiden kehittyessä ja kasvaessa yhä tiheämmiksi, muut eliöt ja kasvillisuus saattavat syrjäytyä ihmisen elinympäristöstä.

Syrjäytyvät eliöt saattavat olla hyvinkin pieniä tai suuria, mutta niillä on oma osuutensa monimuotoisen elämän jatkumossa.

Biosolar-katot lisäävät elämän monimuotoisuutta ja luonnonkauneutta urbaanissa ympäristössä. Monimuotoista elämää tukeva ympäristö virkistää ja parantaa ihmisten viihtyvyyttä. Ihminen, kuten muutkin eläimet, haluavat vaistomaisesti elää ympäristössä, joka pystyy tukemaan elämää. Aineettomat virkistysedut ovat hankalia mitata, mutta ne ovat kuitenkin erittäin tärkeitä ihmisten mielenterveydelle. [11; 22.]

Biosolar-katot auttavat myös hulevesien hallinnassa. Virtaavan veden määrä urbaanilla alueella saattaa olla ongelmallista kovien sateiden sattuessa.

Säilömällä vettä Biosolar-katto jaksottaa veden valumista ja pienentää tulvimisen riskiä ja vähentää viemäriverkoston kuormitusta. Tämän lisäksi kasvit katoilla pystyvät puhdistamaan ilmaa ja säilömään hiilidioksidia. [22.]

Biosolar-katto tulee myös toimimaan melunvähentäjänä. Rakenteen geometrian ja pehmeän pohjan takia vertikaalisessa suunnassa etenevät ääniaallot vaimenevat huomattavasti. Vaimennusefekti voi olla hyödyllinen esimerkiksi lentoreittien alapuolella, jotka ovat usein hyvin meluisia. [11; 22.]

6 Kustannukset ja kannattavuus

Aurinkovoimaloiden kannattavuuslaskennat ja takaisinmaksuajat ovat yleisesti tunnettuja ja käytössä, mutta kokonaisille Biosolar-katoille oli hankalaa löytää arvioita kustannusten suuruuksista ja hinnastoista. Seuraavaksi selvitetään, mistä muodostuvat Biosolar-katon kustannukset säästöt, ja arvioidaan niiden suuruudet.

6.1 Yksityisten kustannusten muodostuminen

Valtaosa Biosolar-katon kustannuksista tulee investointivaiheessa.

Investointikustannuksiin kuuluvat

- Materiaalikustannukset (sähkölaitteet, paneelit, ankkurointi, viherkaton kerrokset.)
- Asennuskustannukset
- Suunnittelukustannukset.

Investointikustannusten lisäksi kustannuksia tulee myös ylläpidosta.

Ylläpitokustannukset riippuvat kasvien ja ulkoisten tekijöiden vaikutuksesta Biosolar-systeemiin. Tarkkaa hinta-arviota ei saatu Biosolar-kattoja huoltavilta firmoilta, mutta ilmoitettujen työtehtävien perusteella sen voidaan arvioida olevan muutamien ammattilaisten työtuntien arvoista vuosittain. Työmäärät ja kustannukset saattavat kuitenkin vaihdella, jos korjattavia ongelmia ilmenee. [15.]

Aurinkosähköjärjestelmien verollinen hinta on Motivan kevään 2021 arvion mukaan pientaloille 1–2 €/W_p. Hintaan vaikuttavat monet tekijät mm.

järjestelmän koko, asennuskohde, laitteisto ja sijainti. Aurinkosähköjärjestelmän koko varsinkin vaikuttaa hintasuhteeseen. Systeemin suurentuessa pitää maksaa vähemmän tuotettuun tehoon nähden. [28.]

Biosolar-katossa voidaan käyttää viherkattopohjaa ankkurointina, jolloin viherkaton rakennuskustannukset korvaavat ankkurointikustannukset, jotka on oletettu perinteisen aurinkosähköjärjestelmän asennuksessa. Bauder-yrityksen

Biosolar-moduulissa mainostetaan viherkattopohjan olevan hinnaltaan tehokas ankkurointiratkaisu. [6.]

Biosolar-kattoon tulevan viherkattopohja tulee todennäköisesti olemaan niittykasvityyppinen. Vantaan kasvikkatoselvityksessä niittykaton verollinen hinta-arvio on noin 75–100 €/m². Hinta-arvioissa on otettu aurinkosähköjärjestelmän asennuksen tavoin samat aspektit: materiaalit, asennus, suunnittelu ja kuljetus. [29.]

Biosolar-kattoa suunnitellessa olisi mielenkiintoista tietää missä mittakaavassa asennuskustannukset yhtenevät. Oletettavasti osa perinteisen aurinkopaneelijärjestelmän ankkurointikustannuksista tulee korvatuksi viherkaton toimiessa paneelien ankkurointina. On valitettavaa, että selventävää hinta-arviota systeemin asennukseen ei saatu yritys­kyselyillä. Jatkossa olisi hyvä saada kunnollinen hinta-arvio kokonaisen systeemin rakennuksesta ja suunnittelusta.

Suuntaa antava hinta-arvio Biosolar-katolle löytyi Roof Gnome ammattilaispalvelulaskurista, jonka mukaan Biosolar-katto maksaisi Yhdysvalloissa noin 245–320 €/m² [30]. Toinen yhdysvaltalainen Fixr-palvelu arvioi Biosolar-katon viherpohjan maksavan samoin noin 245–320 €/m², ja lisäksi siihen PV-paneelien hinta noin 230–550 € per paneeli, mutta paneelien määrää neliometriä kohden ei ole ilmoitettu [31].

6.2 Säästöjen ja hyötyjen muodostuminen

Biosolar-kattojen säästöt voidaan jakaa yksityisiin ja julkisiin säästöihin. Yksityisiin säästöihin kuuluvat kiinteistön säästöt, kuten energiansäästö tuotannosta, jäähdytystehon säästö, ja lämmitystehon säästö. Julkisiin säästöihin kuuluvat ekologiset palvelut, jotka vaikuttavat kiinteistön lisäksi myös ympäristöönsä. Julkisia säästöjä ovat esimerkiksi hulevesien säätely, ilman puhdistus, biodiversiteetin tukeminen, virkistävyys ja yleisen sähköntuotannon päästöjen kompensointi.

6.2.1 Säästöt sähköntuotannosta

Biosolar-katossa kuten perinteisessä aurinkopaneelikatossa paneelit yhdistetään yleiseen sähköverkkoon. Yleiseen sähköverkkoon kytkettäessä on aina verkko taustatukena, mutta sähkökatkon sattuessa aurinkopaneelit eivät tuota sähköä. Kiinteistössä tuotetun ylijäämäsihköön nettotase voidaan vähentää sähkölaskusta, ja esimerkiksi Helen Oy maksaa sähköstä pörssihinnan mukaan tunnin taseen ajalta vähentäen välitysmaksun [32]. Paikalla tuotetun sähköön käytöstä ei myöskään tarvitse maksaa sähköön siirtohintaa eikä veroja. Taloudellinen hyöty sähköön paikallisessa käytössä on seurauksena suhteellisesti suurempi kuin ylijäämäsihköön myynti. Kuvassa 4 on esitetty suhteelliset säästöedut vertaillen etuja sähköön käyttötilanteessa ja sähköön myyntitilanteessa. [34; 33.]



Kuva 4. Hyödyt verkosta ostaessa ja ylijäämäsihköön myynnissä [33].

Biosolar-katon etuna sähköntuotannossa on paljon mainostettu tehokkuuden kasvu jäähdytyksen vaikutuksesta. Tuotantoetujen on mainostettu olevan usein olevan muutamia prosentteja. Tutkimukset ilmoittavat yleisesti sähkötehon nousevan noin 0,8–8,3 % [1]. Tutkimustuloksissa on paljon eroja kohteiden sijainnin ja olosuhteiden takia. Parhaat tuotantoedut jäähdytyksestä saadaan kuumemman ilmaston alueilta. Suomeen sijoittaessa sähköntuotannon edut tulevat siten todennäköisesti olemaan suhteellisesti pienemmät viileämmän ilmaston takia. [1; 15.]

6.2.2 Säästöt energiankulutuksen vähentämisestä

Tutkimuksessa [22] on arvioitu hyvin eristetyn rakennuksen viherkatolle etuja energiansäästön perspektiivistä. Kuten aikaisemmin mainittu, taloudelliset edut viherkattojen lämmöneristyskyvystä ja viilennysvaikutuksesta ovat riippuvaisia rakennuksen eristysten tehokkuudesta.

Tutkimuksessa viherkaton säästöjen lämmönsäilönnän suhteen kylmällä arvioidaan olevan hyvin pieniä. Lämmönhäviön arvioimiseen on tutkimuksessa laskettu tunneittain rakennuksen lämpöhäviö viherkaton kanssa ja ilman. Lämmönsiirtymän laskemiseen on käytetty kaavaa 2, jossa ovat arvot q = lämpöhäviö tunnissa (W/m^2), U = lämmönjohtavuuskerroin, A = pinta-ala (m^2), T_s = sisätilan kohdelämpötila ja T_u = ulkolämpötila tunneittain. [22.]

$$q = U \times A \times (T_s - T_u). \quad (2)$$

Viherkatolle on oletettu laskentaa varten lämmönjohtavuuskerroin ($U_1=0,08$) ja paljaalle katolle ($U_2= 0,09$). Suurempi kerroin tarkoittaa suurempaa konduktiivisuutta, eli suurempaa lämpöhäviötä.

Suhteellisen lämpöhäviön havainnollistamiseksi käytetään nyt kaavaa kullakin kertoimella esimerkkitalanteessa, jossa ulkona on $0^\circ C$ ja haluttu sisälämpötila on $22^\circ C$. Tuloksiksi saadaan viherkattopinnalle $q_1= 0,56 W/m^2$ ja paljaalle katolle $q_2= 0,63 W/m^2$. Paljas katto päästää lämpötilasta huolimatta tämän laskukaavan mukaan läpi 12,5 % enemmän kuin viherkatto. Seurauksena kattopinnan läpi kulkeutuvat lämpöhäviöt kiinteistössä pienenisivät 12,5 %. Lopullinen kiinteistön lämpöhäviön muutos riippuu koko kiinteistön eristävyysmuutumisesta kun Biosolar-katto asennetaan.

Myös viherkaton jäähdyttävän vaikutuksen tuottamia säästöjä on arvioitu tutkimuksessa. Toimistorakennuksen viilennyskulutuksen arvioidaan olevan $7 kWh/m^2$ vuodessa. Katon viilennysteho vähenee kerroksia alas mennessä, loppuen kokonaan viidennen kerroksen jälkeen. Lopullisen jäähdytyksen energian tarpeen arvioitiin vähenevän yhteensä noin 10 %, joka sen aikaisilla

sähköhinnoilla arvioitiin olevan noin 10 € jokaista viherkattoneeliometriä kohden viisikerroksisessa toimistorakennuksessa. [22.]

6.3 Muut säästöt investoinnissa ja energiatuki

Vantaan kasvikkatoselvityksen esimerkissä on kuvattu erikoistilanne, jossa kiinteistöön haluttu hulevesien viivytys säiliö korvataan kasvikatolla. Halutun hulevesien viivytystilavuuden (30 m^3) on arvioitu maksavan erillisessä viivytys säiliössä noin 300–1 000 €/m³. Niittykaton lopulliseksi kustannushyödyksi tulee siten 9 000–30 000 €. Jos tällainen asennus olisi pakollinen, voisi Biosolar-katto olla erittäin kannattava ratkaisu. [29, s.45.]

On myös hyvä tarkastaa, voiko Biosolar-kattoihin saada jonkinlaista energiatukea. Business Finland tarjoaa energiatukea uusiutuvan energian hankkeille, joita ei ole vielä käynnistetty. Uusiutuvan energian uudet teknologiat ovat etusijalla energiatukea myönnettäessä. [35.]

6.4 Biosolar-katon hinta-analyysiä Bauderin asennuksista

Olemassa olevien asennusten ja aikaisempien hinta-arvioiden perusteella voidaan arvioida kohteiden yleishintoja. Bauder-yritys on asentanut Biosolar-voimalan lontoolaisen kerrostalon katolle. Projektissa oli tähtäimessä maksimoida rajoitetun kattotilan käyttö. 500 m²:n kattopinta peitettiin viherkatolla, johon asennettiin 116 m² verran PV-paneeleita. Yhteensä 70 PV-moduulin ominaistuotannoksi on ilmoitettu 75 kW_p. Kuvassa 5. näkyy lopullinen asennus. [36]



Kuva 5. Bauder yrityksen Biosolar-katto Clapham Parkissa Lontoossa [36].

Asennustyölle ei saatu hintaa, mutta soveltamalla aikaisempia asennushintoja Roof gnomesta, voidaan arvioida miten paljon Biosolar-katon hinnaksi voisi tulla. Taulukossa 2 näkyvässä laskennassa on erotettu viherkattoasennuksen ja Biosolar-katon hinnat toisistaan, käyttäen niille arvioituja minimi- ja maksimihintoja.

Taulukko 2. Hinta-arvio Biosolar-katolle

Hinnat per neliömetri		
Pinta-ala	Biosolar- min (245 €/ m ²)	Biosolar- max (320 €/ m ²)
500 m ²	122 500,00 €	160 000,00 €

Lopulliseksi Biosolar-katolle saadaan hinta-arvioksi 112 500–160 000 €.

Jaettuna asennuksen ominaisteholla (75 kW_p) saadaan ominaistehon hinnaksi noin 1,5–2,13 €/W_p. On huomioitavaa, että hinta-arvio on tehty käyttäen Yhdysvaltojen Biosolar-kattojen asennushintaa, joten se saattaa olla Suomessa erilainen.

7 Yhteenveto

Biosolar-katot ovat Suomelle uusia sovelluksia. Tutkimusten ja myytyjen tuotteiden perusteella Biosolar-katto on toimiva energiatehokas ratkaisu, joka tuottaa lisäksi ekologisia etuja ympäristöönsä.

Opinnäytetyössä yritettiin saada yleisiä tietoja Biosolar-kattoja asentavilta yrityksiltä. Kysymykset liittyivät Biosolar-katon teknisiin ominaisuuksiin, kannattavuuteen ja ylläpitoon. Vastauksia saatiin valitettavan vähän, todennäköisesti kysymysten suuren määrän takia. Ainoa vastaus saatiin tekniseltä asiantuntijalta Bauder-yritykseltä, jossa saatiin varmistuksia lämmöneristeellisistä ominaisuuksista Biosolar-katolla. Varsinaista dataa ei kuitenkaan saatu muualta kuin tieteellisistä tutkimuksista, mutta sitä pystyttiin soveltamaan pohtiessa Biosolar-kattojen yleistä soveltuvuutta Suomeen.

Erilaiset maailmalla tehdyt tutkimukset todistavat Biosolar-katon tuottavan enemmän sähköä verrattuna perinteiseen aurinkovoimalaan. Lisäksi Biosolar-katto säästää energiakustannuksissa toimimalla eristeenä kylmällä säällä ja vähentämällä jäähdytyskustannuksia kuumalla säällä. Energiansäästöetujen suuruus lämmön siirtymisen suhteen on riippuvainen rakennusten eristeellisistä ominaisuuksista. Yleiset ekologiset edut, kuten ilman puhdistus, hulevesien säilöntä, lämpösaarekeilmiön vähennys ja biodiversiteetin kasvattaminen, ovat hyödyllisiä paikalliselle ympäristölle. Urbanien ympäristöjen kasvaessa ja tiheytyessä viheralueet tulevat olemaan entistä arvokkaampia ekologisesti ja virkistyksellisesti.

Suomeen asennettaessa on oletettavaa, että haihtumaveden jäähdyttävä vaikutus ei aiheuta yhtä suuria etuja sähköntuotannossa kuin kuumemmissa ilmastoissa. Lopullinen etujen mittakaava tulee selville Biosolar-kattoja testaamalla. Samoin taloudelliset säästöt lämmityksen ja jäähdytyksen suhteen ovat yleisesti riippuvaisia talojen eristeistä, jotka ovat usein Suomessa hyviä.

Tulevaisuudessa olisi hyvä selvittää tarkasti rakennusmateriaalien ja kasvipohjan ominaisuudet, jotta voidaan suunnitella sopiva ratkaisu Suomen

ilmastoon. Kasvien valinnassa on tärkeää tutkia sen vaikutukset paloturvallisuuteen ja huoltotarpeisiin.

Biosolar-katon kustannukset saattavat olla hieman korkeammat kuin perinteisen aurinkovoimalan, mutta sen tuomat edut voivat tasapainottaa yhtälöä. Hintarvion puutteessa oli vaikea arvioida investointikustannusten suuruutta. Suunniteltavan prototyypin rakenteiden selvityksen jälkeen voidaan tehdä lopullinen kustannushyötyanalyysi.

Lähteet

- 1 R. Fleck; R. Gill; T.J. Pettit; F.R. Torpy; P.J. Irga. 2022. Bio-solar green roofs increase solar energy output: The sunny side of integrating sustainable technologies. Building and Environment. Vol. 226.
- 2 FLL. 2018. Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. Bonn. Landscape Development and Landscaping Research Society e.V.
- 3 Mohammed, J. Alshayeb & Jae, D. Chang. 2018. Variations of PV Panel Performance Installed over a Vegetated Roof and a Conventional Black Roof. Verkkoaineisto. Energies. Vol. 11.
- 4 Renato, Castiglia, Feitosa & Sara, J. Wilkinson. 2018. Attenuating heat stress through green roof and green wall retrofit. Building and Environment. Vol. 140, s. 11–22.
- 5 Biosolar Green Roofs. Verkkoaineisto. The Urban Greening Company. <<https://tugc.co.uk/products/biosolar-green-roofs/>>. Luettu: 15.8.2023.
- 6 Biosolar. Verkkoaineisto. Bauder Ltd. <<https://www.bauder.co.uk/solar-pv/biosolar>>. Luettu: 15.8.2023.
- 7 Biosolar Installation. Verkkoaineisto. Bauder Ltd. <<https://www.bauder.co.uk/solar-pv/biosolar/biosolar-installation>>. Luettu: 3.9.2023.
- 8 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, periaatteet. 2016. RT 85-11203. Rakennustieto.
- 9 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, kasvillisuus ja kasvualusta. 2016. RT 85-11204. Rakennustieto.
- 10 Viherkatot ja katto- ja kansipuutarhat, rakenteet. 2016. RT 85-11205. Rakennustieto.
- 11 Laurila, Sari; Jyrkänkallio-Mikkola, Jenny; Mesimäki, Marja; Kallio, Pasi; Kuoppamäki, Kirsi; Nieminen, Hanna & Lehvävirta, Susanna. 2014. Normeja viherkatoille – perusteita kehittämiseen. Verkkoaineisto. Euroopan unioni. Euroopan aluekehitysrahasto. <http://www.helsinki.fi/palmenia/hankkeet/julkaisut/Normeja_viherkatoille.pdf>. Luettu: 27.9.2023.
- 12 Green roof systems. Verkkoaineisto. ICB projects. <<https://www.icbprojects.co.uk/solutions/green-roof-systems/bio-solar>>. Luettu: 15.8.2023.

- 13 Bauder flora seed mix range. 2018. Verkkoaineisto. Bauder Ltd. <<https://www.bauder.co.uk/getmedia/5a448ea3-b285-4fe9-b0f0-d56de2e970ff/Flora-Seed-Mixes.pdf>>. Luettu: 3.9.2023.
- 14 General maintenance photovoltaic arrays. 2022. Verkkoaineisto. Bauder Ltd. <<https://www.bauder.co.uk/getdoc/3a1b469f-9247-46bd-b960-8f8c379bef8a/biosolar-pv.pdf>>. Luettu: 3.9.2023.
- 15 D. Chemisana & Chr. Lamnatou. 2013. Photovoltaic-green roofs: An experimental evaluation of system performance. *Applied energy*. Vol. 119, s. 246–256.
- 16 Chr. Lamnatou & D. Chemisana. 2015. A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 43, s. 264–280.
- 17 Aurinkojärjestelmän teho. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelm_an_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho>. Päivitetty: 2.8.2022. Luettu: 10.11.2023.
- 18 C.Y. Jim & S.W. Tsang. 2010. Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Building and Environment*. Vol 46, s. 1263–1274.
- 19 E.I.F. Wooster; R. Fleck; F. Torpy; D. Ramp & P.J. Irga. 2021. Urban green roofs promote metropolitan biodiversity: A comparative case study. *Building and environment*. Vol. 207.
- 20 A. Niachou; K. Papakonstantinou; M. Santamouris; A. Tsangrassoulis & G. Mihalakakou. 2000. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and buildings*. Vol. 33, s. 719–729.
- 21 Martin, Walter. 2023. Rakennustekniikka, teknologiasovellukset. Bauder Ltd. Haastattelu: 24.10.2023.
- 22 Nurmi, Väinö; Votsis, Athanasios; Perrels, Adriaan & Lehvävirta, Susanna. 2016. Green Roof Cost-Benefit Analysis: Special Emphasis on Scenic Benefits. *Journal of Benefit-Cost Analysis*. Vol. 7, s.488–522.
- 23 Rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet. 2011. Verkkoaineisto. Suomen rakentamismääräyskokoelma. <https://www.finlex.fi/data/normit/37126-E1_2011-fi.pdf>. 6.4.2011.
- 24 CEN/TS 1187:2012. Paloturvallisuustestin TS 1187 ohjeistus. Euroopan standardi komitea.

- 25 Fire safety approval document. Verkkoaineisto. 2022. Bauder Ltd.
<<https://www.bauder.co.uk/getmedia/e20f2959-1d99-4da2-95d4-b340d744a520/Fire-Protection-Statement-Bauder.pdf>>. Päivitetty: 1.6.2022. Luettu: 15.9.2023.
- 26 BauderGreen XF 301 sedum system. 2022. Verkkoaineisto. Bauder Ltd.
<<https://www.bauder.co.uk/getmedia/711f0ac0-2911-46f1-b8d9-93505ae4182a/BauderGREEN-XF-301-sedum-system-Technical-Data-Sheet.pdf>>. Päivitetty: 10.10.2022. Luettu: 15.9.2023.
- 27 Aurinkosähkön paloturvallisuus. 2023. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_paloturvallisuus>. Päivitetty: 2.2.2023. Luettu: 10.11.2023.
- 28 Aurinkosähköjärjestelmien hinta. 2022. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelmien_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta>. Päivitetty: 2.8.2022. Luettu: 10.11.2023.
- 29 Auvinen, Antti; Ekroos, Elina; Hasu, Eija; Jaakonaho, Mari; Kristiansson, Tina; Latvala, Panu; Suonio, Taina; Tuhkanen, Jukka; Lehvävirta, Susanna & Mesimäki, Marja. 2022. Vantaan kasvikkaselvitys. Verkkoaineisto. Vantaan kaupunki.
<<https://www.vantaa.fi/sites/default/files/document/Vantaa-kasvikkaselvitys.pdf>>. 26.7.2022. Luettu: 25.10.2023.
- 30 Omoregie, Jude. 2023. How much does a green roof cost in 2024. Verkkoaineisto. Roofgnome. <<https://roofgnome.com/blog/cost/green-roof-cost/#7-biosolar-green-roof->>. Päivitetty: 30.10.2023. Luettu: 11.11.2023.
- 31 Green roof Installation Cost guide. 2023. Verkkoaineisto. Fixr.
<<https://www.fixr.com/costs/green-roof>>. Päivitetty: 7.12.2023. Luettu: 11.11.2023.
- 32 Pientuotannon osto. 2023. Verkkoaineisto. Helen OY.
<<https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/pientuotanto-102023/pientuotannon-ehdot.pdf>>. 1.10.2023. Luettu: 12.11.2023.
- 33 Ylijäämäsähkön myynti. 2023. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/yliaamasahkon_myynti>. Päivitetty: 7.6.2023. Luettu: 10.11.2023.
- 34 Verkkoon kytketty vai verkkoon kytkemätön järjestelmä. 2022. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta>

_ja_asennus/verkkoon_kytetty_vai_verkkoon_kytkematon_jarjestelma>.
Päivitetty: 2.8.2022. Luettu: 10.11.2023.

- 35 Energiatuki. 2023. Verkkoaineisto. Business Finland.
<<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>>. Luettu: 20.11.2023.
- 36 Clapham Park case study. Verkkoaineisto. Bauder Ltd.
<<https://www.bauder.co.uk/case-studies/clapham-park>>. Luettu: 20.11.2023.
- 37 Gravit, Marina; Polishchuk, Evgenii; Dmitriev, Ivan & Shakhova, Mariya. 2020. Flame Spread on the pitched roof covering from a single ignition source. E3S Web Conf. Vol. 157.