



Laura Luoto

Tavanomaisten julkisivumateriaalien ja aurinkosähköjulkisivun (BIPV) vä- linen elinkaarikustannusanalyysi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

2.5.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Laura Luoto
Otsikko:	Tavanomaisten julkisivumateriaalien ja aurinkosähköjulkisivun (BIPV) välinen elinkaarikustannusanalyysi
Sivumäärä:	40 + 7 liitettä
Aika:	2.5.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Energiatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori, Jenni Merjankari Osakas, Vesa Robertsson

Työn tarkoitus oli tarkastella tavanomaisten julkisivumateriaalien ja aurinkosähköjulkisivujen (BIPV) yleisimpiä elinkaaren aikana syntyneitä kustannuksia. Tulosten avulla selvitettiin, kumpi julkisivuvaihtoehto olisi pidemmällä aikavälillä parempi sijoitus.

Elinkaaren aikaisia kustannuksia laskettiin kuvitteelliselle sisämaassa sijaitsevalle kerrostaloasunnolle. Tavanomaisiksi julkisivumateriaaleiksi valikoitui yleisimmät kerrostaloasunnoissa käytetyt materiaalit. BIPV-järjestelmien vertailuun otettiin kaksi skenaariota. Ensimmäisessä skenaariossa järjestelmä rakennettiin koko julkisivulle ja toisessa vain yhdelle ulkoseinälle.

Aurinkosähköjärjestelmien ollessa melko uusi innovaatio, analyysin teko osoittautui odotettua haastavammaksi. Laittevalmistaja vetosi kompleksisuuteen, joten tarkempia hintoja kuvitteelliselle rakennukselle ei saatu. Merkittävimpinä lähteinä kustannusten arvioinneissa käytettiin todellisia tarjouksia, rakennustekniikan laitoksen tutkimuslaskelmaa sekä vuonna 2020 valmistunutta norjalaista tutkimusta BIPV-järjestelmistä. Kustannusten lisäksi työssä pohdittiin kierrätys- ja jäteväiheen ratkaisuja sekä BIPV-järjestelmien merkitystä rakentamisessa.

Työlle oli tarkoitus tehdä tarkempi elinkaarikustannusanalyysi, mutta ajan rajallisuuden ja resurssien puutteiden vuoksi työ keskittyi investointi- ja käytönaikaisiin kustannuksiin. Saatujen tulosten perusteella osittainen BIPV-järjestelmä osoittautui kannattavimmaksi sijoitukseksi.

Avainsanat: aurinkoenergia, aurinkopaneelit, aurinkosähköjulkisivu, BIPV, julkisivumateriaali, elinkaarianalyysi

Abstract

Author:	Laura Luoto
Title:	Life cycle cost analysis between conventional facade materials and Building-Integrated photovoltaic (BIPV) facade
Number of Pages:	40 pages + 7 appendices
Date:	2.5.2023
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Energy and Environmental Engineering
Specialisation option:	Energy Engineering
Instructors:	Jenni Merjankari, Senior Lecturer Vesa Robertsson, Partner

The purpose of the project was to examine the common life cycle costs of conventional facade materials and building-integrated photovoltaic (BIPV) facades. The results were used to determine which facade option would be better long-term investment.

The life cycle costs were calculated for a fictional apartment building located inland. The most common materials used in apartment buildings were chosen as the conventional facade materials. Two scenarios were taken into consideration for comparing BIPV systems. In the first scenario, the system was built for the entire facade and in the second scenario, only one exterior wall was considered.

As BIPV systems are a relatively new innovation, the analysis proved to be more challenging than expected. The equipment manufacturer cited complexity as a reason for not providing more detailed pricing information for the hypothetical building. The most significant sources used in cost estimation were actual quotes, a research report from the Department of Building Technology and a Norwegian study on BIPV systems that was completed in 2020. In addition to costs, the thesis considered recycling and waste management solutions as well as the importance of BIPV systems in construction.

While the original intention was to conduct a more detailed life cycle cost analysis, due to time constraints and lack of resources, the study focused on investment and operating costs. On the basis of the results obtained, a partial BIPV system proved to be the most profitable investment.

Keywords: solar energy, solar panels, Building-Integrated photovoltaics, BIPV, façade material, life cycle analysis

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjulkisivut	2
2.1	Rakenne ja toimintaperiaate	2
2.2	Teho ja tuotto	5
2.3	Energiatuki	9
3	Tavanomaiset julkisivumateriaalit	10
3.1	Materiaalivalinta	10
3.2	Materiaalien hintavaikutukset	12
4	Käyttöikä ja kustannukset	12
4.1	Tutkittava esimerkkirakennus	13
4.2	Rakennus- ja asennuskustannukset	14
4.3	Ylläpito- ja huoltokustannukset	19
4.4	Kierrätys ja jätevaihe	23
4.5	Kokonaiskustannus	28
5	Takaisinmaksuaika	30
6	Johtopäätökset	34
	Lähteet	37
	Liitteet	41
	Liitteet	
	Hintaerittely 1	salainen
	Hintaerittely 2	salainen
	Hintaerittely 3	salainen
	Hintaerittely 4	salainen
	Vuotuinen tuotto	salainen
	Tuotto- ja takaisinmaksuaika-arvio	salainen

1 Johdanto

Julkisivun tehtävänä on suojata rakennusta ja sillä voidaan määrätä rakennuksen tyyliä ja luonnetta. Julkisivun valinnan määrittää vahvasti erilaiset asema-kaavat, rakennusmääräykset ja arkkitehtuuri. Nykyisessä rakentamisessa kestävä rakentaminen on merkittävässä osassa, ja elinkaarikustannuksia huomioidaan yhä enemmän. Nykyinen energiakriisi on saanut kuluttajat ja yritykset kiinnostumaan yhä enemmän uusiutuvista energiantuottojärjestelmistä sekä panostamaan energiatehokkuuteen.

Insinööritöössä perehdytään rakennuksen ulkoseinään asennettuihin aurinkosähköjulkisivuihin, jotka voivat korvata tavanomaisia julkisivumateriaaleja, kuten esimerkiksi tiiltä, betonia ja puuta. Aurinkosähköjulkisivuilla ei ole vielä suomenkielistä lyhennettä, joten työssä käytetään lyhennettä BIPV, joka muodostuu englanninkielisistä sanoista Building-Integrated photovoltaics. Nimensä mukaisesti BIPV-järjestelmät voidaan integroida osaksi rakennuksen julkisivua, ja näin saavuttaa visuaalisesti lähes minkä tahansa näköinen julkisivu. Työssä tarkastellaan tavanomaisten julkisivumateriaalien ja BIPV-järjestelmien yleisimpiä elinkaaren aikana syntyviä kustannuksia esimerkein. Julkisivujen ollessa pakollinen kustannus työssä selvitetään, kumpi vaihtoehto olisi pidemmällä aikavälillä parempi sijoitus ja miten julkisivujen hinnat koostuvat eri elinkaaren vaiheissa.

Työ tehdään helsinkiläiselle yritykselle Energio Oy:lle, joka tarjoaa yrityksille, kuluttajille, taloyhtiöille ja maataloille erilaisia energiaratkaisuja. Energiaratkaisut keskittyvät uusiutuvan energian ratkaisuihin, kuten erilaisiin aurinkoenergiateknologioihin ja lavattomaan tuulivoimaan.

Insinööritöössä käytetään tietoja mm. usean eri valmistajan tuloslaskelmista, tarjouspyynnöistä ja aiemmista BIPV-järjestelmien selvityksistä, tutkimuksista ja haastatteluista. Aurinkosähköjulkisivujen paneeleita verrataan kierrätyksen ja toimintaperiaatteen kuvauksessa tavanomaisiin aurinkosähköpaneeleihin, sillä ne ovat toiminnaltaan vertailukelpoisia.

2 Aurinkosähköjulkisivut

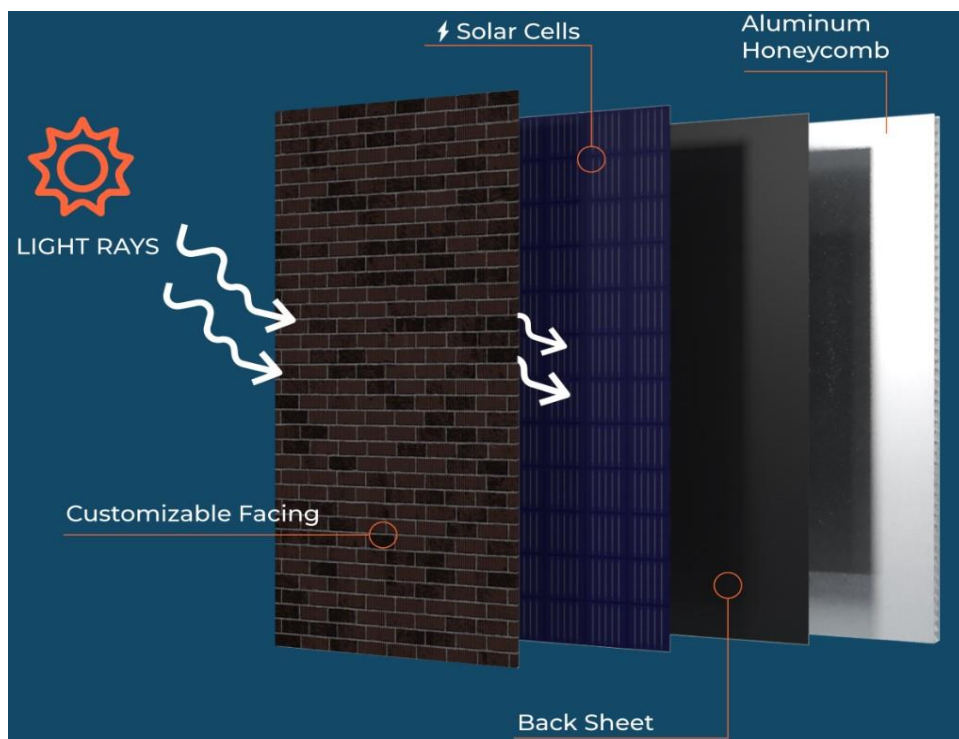
Aurinkosähköjulkisivut eli BIPV-järjestelmät ovat rakennusten ulkopintoihin integroitua aurinkoenergiaa tuottavia järjestelmiä, joilla voidaan korvata tavanomaisten julkisivujen lisäksi esimerkiksi parvekelaseja sekä kattomateriaaleja. BIPV-komponentteja löytyy useita erilaisia, ja niitä pystytään valmistaa saavuttamaan lähes mikä tahansa tekstuuri, kuosi tai läpinäkyvyys. Julkisivujen kustannuksia voidaan kompensoida niiden tuottamalla aurinkosähköllä, ja ne ovatkin ainoita julkisivuja, jotka pystyvät maksamaan itsensä takaisin aurinkosähköä tuottamalla. [1.]

Ensimmäiset prototyypit BIPV-järjestelmistä syntyivät 1980-luvulla, kun aurinkopaneeliteknologia alkoi kasvaa. Vuonna 2001 New Yorkissa sijaitsevaan 4 Times Square–rakennukseen integroitiin ensimmäinen 15 kW:n BIPV-järjestelmä. Kiinassa on tällä hetkellä maailman suurin BIPV-järjestelmä, 2022 kesällä valmistunut 120 MW:n aurinkosähköjärjestelmä. Nykyiset BIPV-järjestelmät ovat standardisoidumpia ja suunniteltu sopivimmaksi tavanomaisten rakennusmateriaalien kanssa. Teknologian kehittyessä uusimmat BIPV-järjestelmät ovat huomattavasti tehokkaampia ja pidempi-ikäisiä aiempiin järjestelmiin verrattuna, ja niiden ylläpito- ja huoltokustannukset ovat laskeneet. Teknologian odotetaan kuitenkin vielä kehittyvän, ja BIPV-järjestelmien käytön odotetaan vielä kasvavan. [2; 3.]

2.1 Rakenne ja toimintaperiaate

Rakennusten ulkoseinään asennettujen aurinkosähköjulkisivujen rakenne koostuu yleisesti päällyskerroksen lisäksi aurinkokennosta, takalevystä ja alumiinista hunajakennolevystä. Päällyskerrosta ja kiinnikkeitä lukuun ottamatta niiden rakenne on yleisesti samanlainen mallista riippumatta. Päällyskerrokseen on saatavilla useita eri vaihtoehtoja valmistajan mukaan, ja kiinnikkeet mukautuvat kiinnitys- ja asennustavasta sekä mahdollisesta kallistuksesta. Tässä opinäytetyössä keskitytään tavanomaiseen asennustapaan pintapuolisesti, eikä

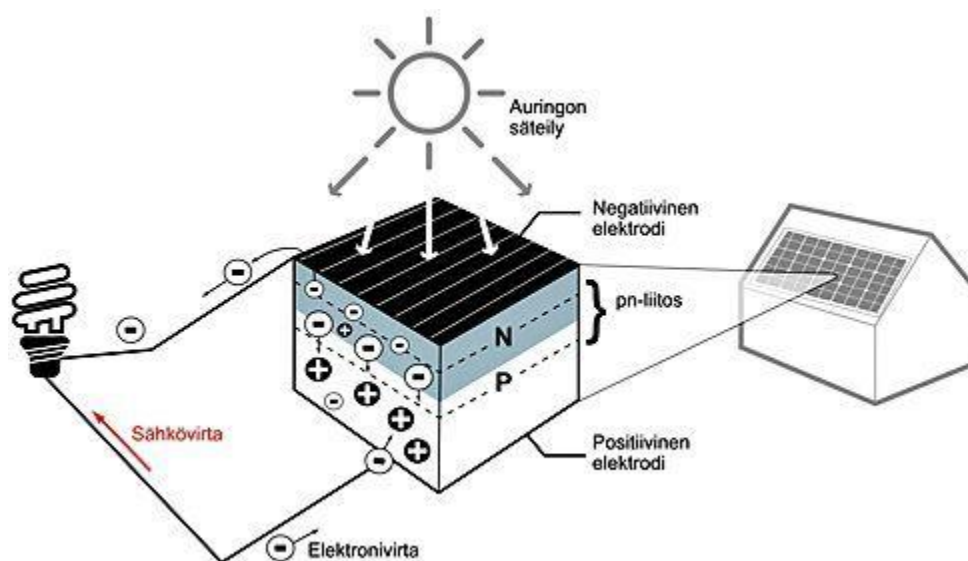
kustomoituja kiinnitystapoja ole tarkemmin huomioitu. Alla olevassa kuvassa (kuva 1) on esitetty tavanomaisen aurinkosähköjulkisivun rakenne. [4.]



Kuva 1. Tavanomaisen aurinkosähköjulkisivun rakenne [4.].

Aurinkosähköjulkisivut tuottavat sähköä niihin integroitujen aurinkokennojen avulla. Aurinkokennot koostuvat piipaneeleista, ja niiden sähköntuotto perustuu auringon säteilyn tuottamaan ilmiöön. Tässä valosähköisessä ilmiössä säteilystä saatu fotoni luovuttaa energiansa elektronille, ja näin elektroni irrottautuu piin (kemiallinen merkki Si) pinnalta. [5, s. 9–10.] BIPV-järjestelmissä olevien aurinkokennojen sähköntuottoperiaate on pn-liitokseen perustuva, eli sama kuin tavanomaisen aurinkokennon. Lyhyesti ilmaistuna pn-liitoksessa positiivisesti varautunut puolijohde (p-materiaali) ja negatiivisesti varautunut puolijohde (n-materiaali) asetetaan vierekkäin, jolloin elektronit voivat kulkea puolijohdeesta toiseen. Sisäisen sähkökentän takia yhdistymistä ei tapahdu, ja näin sähkövirtaa syntyy. [5, s. 10–11.] Elektronien määrään vaikuttaa säteilyn määrä, joten kesäisin elektroneja irrottautuu enemmän ja sähköntuotanto on suurempaa.

Alla olevassa kuvassa 2 on pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate kuvattuna.



Kuva 2. Pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate [5.].

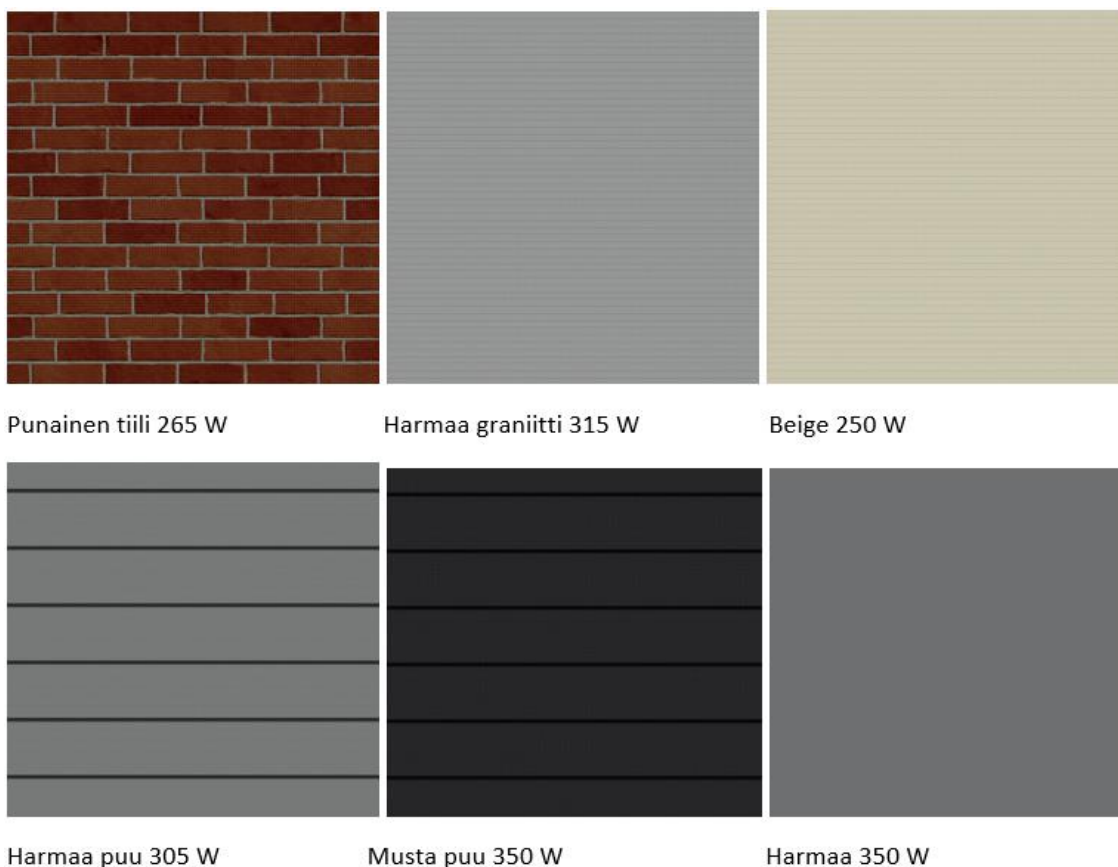
Aurinkokennot ovat yleisimmin joko yksikiteisiä, monikiteisiä, tai ne koostuvat ohutkalvopaneeleista. Yksikiteinen piipaneeli on yleisin paneelityyppi aurinkosähköjulkisivuissa, jos siinä ei haeta läpinäkyvyyttä. Yksikiteisen paneelin ki-teet ovat yhtenäisempiä, mikä tekee sen hyötysuhteesta paremman. Monikitei-nen paneeli taas hyödyntää paremmin hajasäteilyä ja on edullisempi valmistaa. [6; 5, s.13.] Jos julkisivussa halutaan paljon läpinäkyvyyttä, on yleisesti käytetty monikiteistä- tai ohutkalvopaneelia. Ohutkalvopaneeli on osoittautunut suosi-tuimmaksi paneelivaihtoehdoksi, sillä kirkas lasi ja muovi soveltuvat erinomai-sesti ohutkalvopaneelin pohjamateriaaliksi. [7.]

Paneelit asennetaan takaosasta, ja johdotus kulkee paneelin takaosan läpi. Li-säksi ne ovat kehyksettömiä ja näin ollen näyttävät samalta perinteisten kompo-siittiverhouspaneelien kanssa. BIPV-järjestelmien etuna on suunnittelun va-paus, joten julkisivun lopullinen ulkonäkö määräytyy kohteen ja halutun ulko-muodon mukaan. [4.]

2.2 Teho ja tuotto

BIPV-järjestelmien elinkaari on pitkä, ja osa valmistajista lupaa tuotteilleen elinikäisen materiaalitakuun ja 85 %:n tehontuottotakuuksi 25 vuotta. Teho standardikokoisessa 2 m²:n paneelissa on keskimäärin 260–360 W kustomoidun päällyksen väristä, kuosista ja valmistajasta. Himmeän lasijulkisivun teho on noin 195 W/m². Pinnan läpinäkyvyydellä on merkitys paneelin tehoon alentavasti, sillä mitä läpinäkyvämpää paneeli on, sitä enemmän se heijastaa valoa. [7; 24.]

Alla olevassa kuvassa (kuva 3) on esitetty eri BIPV-järjestelmien yksittäisten paneelien tehoja. Wattimääristä voidaan nähdä, että tehot vaihtelevat päällyksen värin ja kuosin mukaan.

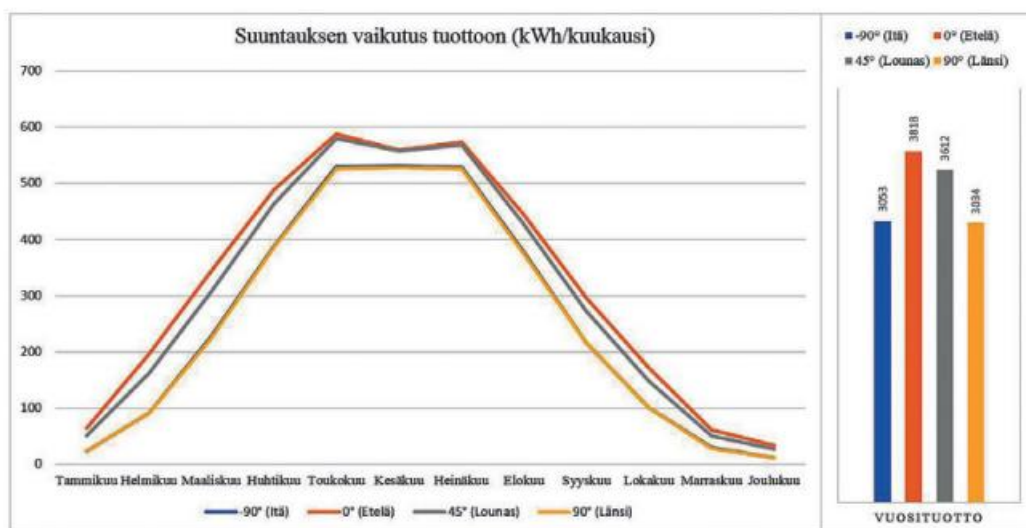


Kuva 3. Aurinkosähköjulkisivupaneelien värien tehoja [8.].

BIPV-järjestelmän ulkokuoren väriyksellä, asennuskulmalla ja suunnalla on merkitystä tuottomäärään. Kohteeseen voidaan sisällyttää erilaisia järjestelmiä kerrallaan, jotta rakennuksesta saadaan kaikki käytettävissä oleva pinta-ala hyödynnettyä aurinkosähkön tuottoon. Yleiseen suorituskyykyyn vaikuttaa kuitenkin asennuskulma ja suuntaus. [5, s.18–21.]

BIPV-järjestelmiä voidaan suunnitella erilaisilla kallistuskulmilla, riippuen minkälaista ulkomuotoa rakennukselta halutaan. Kallistuskulmien toteutus riippuu pitkälti rakennuksen arkkitehtuurista, asemakaavoista ja rakennusmääräyksistä. Paneelien kallistus ilmoitetaan astekulmana suhteessa horisonttiin. [5, s. 18–21.]

Aurinkosähkijärjestelmissä suuntaus tarkoittaa tavanomaisesti sitä, sijaitseeko julkisivu esimerkiksi etelä- vai länsipuolella. Suuntauskulma ilmoitetaan yleensä asteilla niin, että 0° tarkoittaa etelään, -90° itään ja $+90^\circ$ länteen päin. Alla olevassa kuvassa (kuva 4) on esitetty suuntauksen vaikutusta aurinkosähkijärjestelmän tuottoon. Kesäkuukaudet ovat selkeästi tuottavampia, sekä etelä ja lounas optimaalisin suuntauskulma. [5, s.20]



Kuva 4. Suuntauksen vaikutus aurinkosähkijärjestelmän tuotantoon 4,5 kWp:n järjestelmällä [5, s.20.].

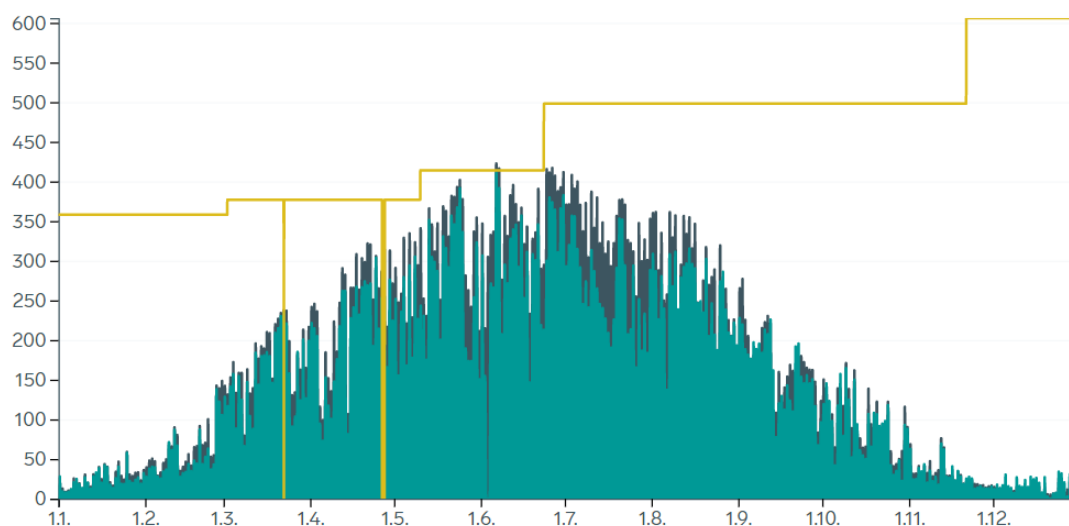
Tavanomaiset BIPV- järjestelmät asennetaan julkisivun mukaisesti pystysuuntaan, mikä vaikuttaa merkittävästi vuosituotantoon. Tavallisissa aurinkosähköjärjestelmissä pyritään optimoimaan tehon tuotto ilmansuuntien lisäksi myös paneelien astekulmia muuttamalla. BIPV- järjestelmissä astekulmaa voidaan kuitenkin harvemmin merkittävästi muuttaa, ja vaikka kallistuksia voidaan tehdä, mahdolliset varjot ja ilmansuunnat korostuvat suunnittelussa. Mahdollinen varjostus muuttaa vuosituotantoa merkittävästi. Varsinkin kaupungeissa rakennukset ovat lähekkäin toisiaan ja osa julkisivusta saattaa olla täysin varjossa vuorokauden ympäri. Tästä johtuen BIPV- järjestelmiä ei ole kannattavaa rakentaa etenkin kaupungeissa koko julkisivulle. [9.]

Ulkoilman lämpötilan merkittävä nousu vaikuttaa heikentävästi paneelin tuotantoon. Korkea lämpötila lämmittää paneelia ja heikentää sen hyötysuhdetta. Suomen ilmastossa lämpötilat eivät kuitenkaan pysy korkealla pitkiä aikoja. Yleisenä ennakkoluulona Suomen ilmastoa pidetään liian viileänä ja säteilymäärältään alhaisena, jotta aurinkopaneelit olisivat kannattava sijoitus. Matala lämpötila kuitenkin parantaa paneelien hyötysuhdetta, sillä sähkön hävikki kasvaa lämpimässä. Auringon vuotuinen kokonaissäteily on Etelä-Suomessa samalla tasolla Pohjois-Saksan kanssa. Suomessa tuotanto vaihtelee kuitenkin vuodenaikojen mukaan, ja säteily painottuu kesälle vahvemmin verrattaessa muuhun Etelä-Eurooppaan. [9.]

Merkittävin vaikutus tehon tuotantoon on auringon säteilyn määrä. Kesäkuukausina Etelä-Suomessa aurinko voi paistaa jopa 20 tuntia päivässä. [10.] Auringon säteily koostuu hajasäteilystä ja auringosta suoraan tulevasta säteilystä. Hajasäteily on maasta ja muusta ympäristöstä heijastuvaa säteilyä ja pilvien sekä ilmakehän heijastamaa säteilyä. [9.] Suomessa hajasäteilyn osuus kokonaissäteilystä on merkittävä, sillä myös talvisin lumesta ja vedestä heijastuva säteily voi lisätä talven kokonaissäteilyä saatavaa määrää jopa 20 %. [11.]

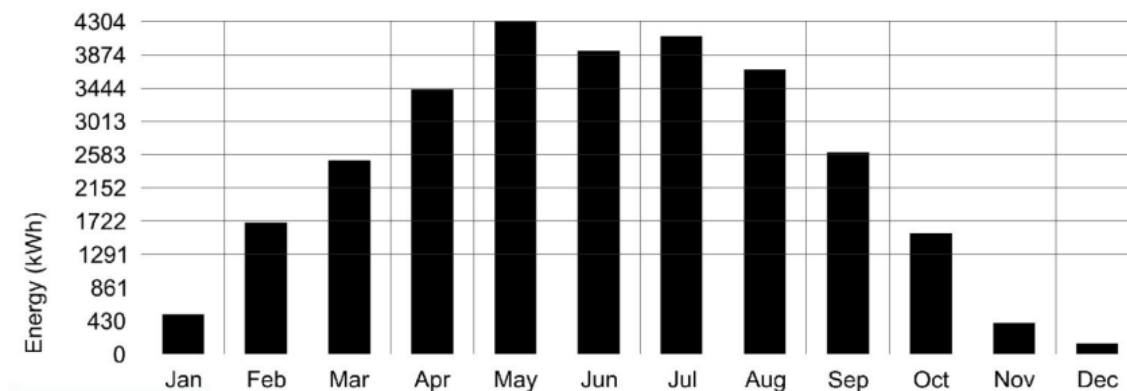
Seuraavalla sivulla sijaitsevassa kuvassa (kuva 5) nähdään vuoden 2022 tilastollinen aurinkovoiman tuotto. Ennusteet ovat perustuneet Suomen aurinkosähkökapasiteettiin, joka on ollut suurimmillaan vuoden lopussa. Fingridin tilastojen

mukaan aurinkosähkön maksimikapasiteetti on kasvanut vuodesta 2021 yli 200 MWh. Kapasiteetin arvioinnissa on käytetty sääennusteita ja asennettujen paneelien tehoja sekä sijainteja. Tuotanto muuttuu merkittävästi vuodenaikojen mukaan. Keväällä auringon paistaessa on tuotanto alkanut nousta ja kesäkuukausien jälkeen se on talvea kohden taas laskenut. [12.]



Kuva 5. Aurinkovoiman tuotantoennuste vuodelta 2022. Keltainen on käytetty kokonaiskapasiteetti. Tummansininen tuotantoennuste tunneittain, sininen tuotantoennuste vrk. [12.]

Talvisin Suomessa aurinkoenergian määrä on vähäinen, ja niin kuin kuvasta 5 nähdään, vuonna 2022 talvikuukausina tuotanto on ollut vähäistä. Koko tammi-kuun tuotto on ollut yhtä suurta kuin yhtenä kesäpäivänä. Tavanomaisia aurinkopaneeleita ei voi kuitenkaan täysin verrata BIPV-järjestelmiin, mutta tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina. Kuvaa 5 ja seuraavalla sivulla sijaitsevaa kuvaa 6 verrattaessa voidaan nähdä yhtäläisyyttä saaduissa tehoissa BIPV-järjestelmän ja muiden aurinkosähkölaitteiden välillä.



Kuva 6. Simuloitu vuotuinen BIPV-järjestelmän tuotanto kuukausittain kerrostaloasunnosta Etelä-Suomessa 2022 (13).

Yllä olevassa kuvassa 6 on simuloinnin avulla arvioitu vuosituotantoa, jos Etelä-Suomessa sijaitsevan kerrostaloasunnon yhdelle julkisivulle olisi rakennettu BIPV-järjestelmä. Tuotettuun kWh määrään on vaikuttanut alentavasti tontilla sijaitseva kasvillisuus, mikä on luonut varjoa ensimmäisille metreille maasta katsoen. Alue on kokonaisuudessaan 238 m², ja vuosituotannoksi on arvioitu 28 000 kWh. Paneelien väriksi on valittu tavanomaisen julkisivun kaltainen, ja asennus on ollut julkisivun mukaan pystysuunnassa.

2.3 Energiatuki

Energiatukea myönnetään sellaisiin uusiin investointeihin ja hankkeisiin, jotka tukevat energiansäästöä, uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä tai energian tuotannon tai käytön tehostumista. Lisäksi tuki myönnetään, jos hanke muokkaa pitkällä aikavälillä energiajärjestelmää vähähiilisemmäksi. Ehtona on myös se, että tuen tulee vaikuttaa merkittävästi hankkeen käynnistämiseen, ja vähimmäismäärän investointikustannuksille on oltava 10 000 euroa. [14.]

Aurinkosähköjärjestelmiin voidaan hakea energiatukea, sillä se edistää mm. uusiutuvan energian tuotantoa ja käyttöä. BIPV-järjestelmän hankkeelle voidaan siis hakea rahoitusta ja sen kuullessa uuden teknologian hankkeisiin se on rahoitusta myönnettäessä etusijalla. Tapauskohtaisesti uusille teknologiaa sisältä-

ville hankkeille voidaan myös myöntää korotettu tuki (korotus 5 %). Suurille yrityksille enimmäistukitaso on enintään 30 %, joka koskee myös uuden teknologian hankkeita. Suomessa energiatukea haetaan sähköisesti Business Finlandin asiointipalvelun kautta. [14.]

3 Tavanomaiset julkisivumateriaalit

Suomessa yleisimmät julkisivumateriaalit kerrostaloissa ovat puu, tiilimuuri, rappaus ja betoni. Muita materiaaleja kuten esimerkiksi erilaisia metalleja, mineraaleja, muoveja ja luonnonkiveä käytetään yleisesti vain tehostemateriaaleina.

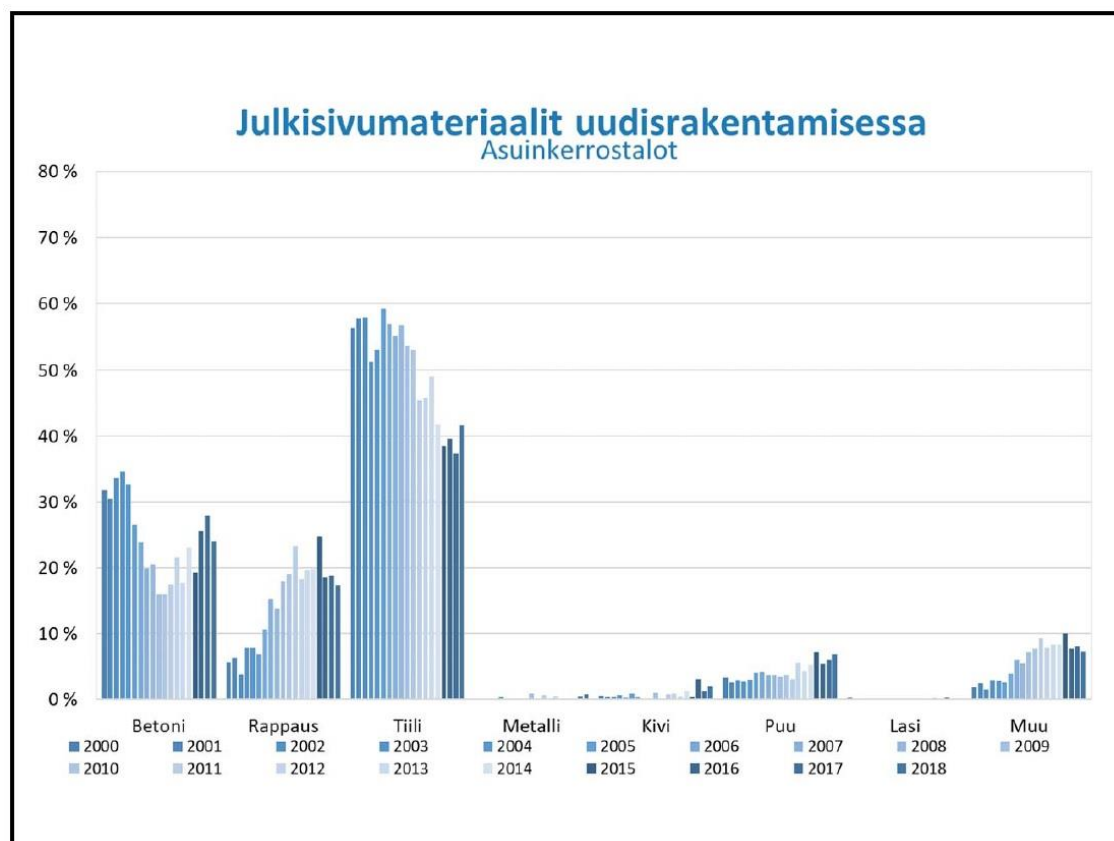
[15.] Elinkaaritarkasteluun otetaan vain yleisimmät julkisivumateriaalit, sillä materiaalivalinta ja hintataso on otettu kaupungissa sijaitsevan tyypillisen kerrostalon perusteella.

3.1 Materiaalivalinta

Julkisivun materiaalivalinnan merkittävimmät tekijät ovat kustannukset, kohteen sijainti ja ilmasto. Julkisivujen seinämateriaali tai väri on voitu myös ennalta rajoittaa kohteen asemakaavassa. Asemakaavoilla pyritään siihen, että rakennuksen julkisivu soveltuu sitä ympäröivään alueeseen. Sama asemakaava voi koskea useita tontteja tai vain yhtä, joten etenkin kaupunkialueella asemakaavoja voi olla useita pienelläkin alueella. [16.] Merkittävimmät rasitustekijät julkisivuille ovat säänvaihtelut, lämpötila, sateet ja kosteus, sekä UV-säteily [15.] Jokainen kohde tulee arvioida näitä tekijöitä katsoen, mikä julkisivumateriaali kohteeseen parhaiten soveltuu.

Seuraavalla sivulla sijaitsevasta kuvasta (kuva 7) voidaan nähdä, että 2000-luvulla ylivoimaisesti suosituin julkisivumateriaali uudiskerrostaloille on tiili. Tiili on pitkäikäinen ja lähes huoltovapaa materiaali, joten kerrostaloissa se tulee edulliseksi huollettavaksi asunnonomistajille [17.]. Betoni ja rappaus ovat seuraavaksi suosituimmat julkisivumateriaalit. Betoni on edullista ja helposti saatavissa, sekä materiaalina monipuolinen ja kestävä. [18.] Betonia pidetään kuitenkin

kin haastavana materiaalina suosiostaan huolimatta, sillä sen käsittely vaatii taitoa ja tarkkuutta [19]. Rappaus voidaan jakaa ohut- ja paksueristerappaukseen. Nimensä mukaisesti ohuteristerappaus on ohuempaa. Rappauksen suosio perustuu sen edullisuuteen ja monipuolisuuteen. Erilaisilla rappaustyyleillä voidaan muokata julkisivun ulkonäköä ilman näkyviä elementtisaumoja. [20]



Kuva 7. Eri julkisivumateriaalien osuus asuinkerrostalojen julkisivuissa 2000-luvulla [17].

Puujulkisivut toteutetaan kerrostalorakennuksiin pääosin julkisivuelementeillä. Elementit ovat huomattavasti betonielementtejä kevyempiä ja nopeampia asentaa. Puuelementtirakentaminen kerrostaloille ei ole kuitenkaan kovin suosittua, sillä se vaatii useammin huoltoa ja sisältää suuremman paloriskin muihin materiaaleihin verrattuna. Puujulkisivujen suosio painottuu pientalorakentamiseen. [21.]

3.2 Materiaalien hintavaikutukset

Julkisivun materiaalin hintaan vaikuttaa merkittävästi materiaalin lisäksi mm. kohteen pinta-ala, sijainti, yleinen kunto ja mahdolliset apuvälineet. Jos kohde sijaitsee kaukana tai haastavammalla alueella, se vie näin ollen enemmän resursseja. Kohteille tehdään myös ennen julkisivun asentamista kuntotarkastus, jossa selvitetään, vaatiiko kohde esimerkiksi esivalmisteluja tai korjauksia. [22.]

Julkisivuremonteissa taloyhtiöt useimmiten kilpailuttavat hintoja, kun taas uudisrakentamisessa puitesopimukset ovat yleisempiä. Isommilla yrityksillä puitesopimukset ovat kannattavampia, sillä jatkuvien kilpailutuksien tekeminen jokaiselle kohteelle vie enemmän resursseja. Hintaan vaikuttaa myös kohde ja toimija, joten tarkkoja hintoja materiaalille ei voida etukäteen sanoa. Tarjoushinnat sisältävät useimmiten muitakin kustannuksia pelkän materiaalin lisäksi, kuten toteuttamisen, mahdolliset esivalmistelut ja lopputyöt. Lisäksi painavimmat materiaalit kuten esimerkiksi betoni vaatii erilaisen työkaluston puuelementteihin verrattaessa. [22; 23.]

Edellisessä luvussa tehtyjen päätelmien mukaan tiili, rappaus ja betoni ovat yleisimmin käytetyt ja edullisimmat materiaalit. Tarkempia rakennushintoja käsitellään luvussa 4.2 rakennus- ja asennuskustannukset.

4 Käyttöikä ja kustannukset

Yleisesti tavoiteltava käyttöikä tavanomaisille julkisivuille on 50 vuotta, ja käyttöiän maksimiarvona pidetään 100 vuotta. Rakennustekniikan laitoksen tutkimuslause nro TRT/2433/2016 mukaan eristerappauksen elinikänä pidetään oikein huollettuna 30–35 vuotta, ja betonin sekä tiilimuurin 100 vuotta. Puun elinikä oikein huollettuna vaihtelee 45–55 vuoden välillä. Väärin huolletun tai ilman huoltoa olevan julkisivun elinikä lyhenee materiaalista ja sijainnista riippuen 5–30 vuodella. [15.]

Aurinkosähköjulkisivujen käyttöiäksi paneelien osalta on arvioitu 25–30 vuotta, mutta uusimpien tutkimusten, sekä BIPV-järjestelmien valmistajan haastattelussa selvinneiden tietojen mukaan, oikein huollettuna eliniän arvioidaan olevan jopa 50–60 vuotta. Valmistajien mukaan he odottavat komponenteiltaan vähintään 50 vuoden käyttöikää. Käyttöiän aikana ainoat vaihdettavat osiot, jotka kuuluvat 25 tai 10 vuoden takuun alle, ovat elektronisia osia. Lisäksi osa valmistajista myöntää materiaaleilleen elinikäisen takuun, joten uusimiskustannuksiin kuuluisivat ainoastaan paneelien elektroniset osat. [24; 25.]

4.1 Tutkittava esimerkkirakennus

Laskennan avuksi käytetään kuvitteellista yksinkertaista viisikerroksista rakennusta, joka sijaitsee Etelä-Suomessa sisämaassa. Kohdetta tarkastellaan kahden eri (A ja B) skenaarion avulla.

BIPV-järjestelmän hinta on arvioitu koon perusteella valmiiksi saatujen tarjoushintojen perusteella, sillä hintaan vaikuttaa pinta-alan lisäksi myös värit, kuosi ja muoto. Tarkasteluun on otettu kaksi skenaariota, sillä harvemmin rakennuksen koko julkisivu on kannattava sähkön tuottoon. Etenkin sisämaassa julkisivu on joko osittain tai täysin varjossa, koska ahtaiden tonttien takia rakentaminen on usein hyvin tiivistä. Myös tonteilla sijaitseva kasvillisuus, tolpat ja muut julkisivua mahdollisesti varjostavat tekijät heikentävät sähkön tuottoa.

Skenaariossa A rakennuksen julkisivujen kokonaisalana pidetään 1500 m²:ä, josta 300 m² on lasia, jolloin julkisivumateriaalia tulee 1200 m²:n alueelle. Skenaariossa B kerrostaloon on asennettu vain sille optimaalisimpaan seinään BIPV-järjestelmä, jonka kokonaispinta-ala on 238 m². Loput julkisivusta vuorataan tavanomaisella materiaalilla.

Skenaarioiden tulosten perusteella selvitetään, mikä hintavaikutus BIPV-järjestelmällä olisi kokonaiskustannuksiin ja takaisinmaksuaikaan.

4.2 Rakennus- ja asennuskustannukset

Hintojen tarkastelussa on hyödynnetty Rakennustekniikan laitoksen tutkimusselosteen TRT/2433/201 taulukon nro 2 ”Tutkimuksessa käytetyt huoltotoimenpiteiden sekä rakentamisen ja purun kustannukset” rakennus- ja asennushintoja, jotka noudattavat pääkaupunkiseudun hintatasoa. Verrattuna yleiseen, alueelliseen hintatasoon, pääkaupunkiseudun hintataso on korkea. [15.] BIPV-järjestelmien hinnoissa on hyödynnetty liitteissä 1–4 olevia todellisia tarjoushintoja.

Useat aurinkosähköjärjestelmien toimittajat solmivat urakoitsijayritysten kanssa valmiin sopimuksen, jonka hinnoittelun mukaan BIPV-järjestelmien asennuskustannukset ovat noin 10–15 % julkisivupaneelien alkuinvestoinnista. Asennuskustannukset riippuvat pitkälti arkkitehtuurin monimutkaisuudesta ja projektin laajuudesta, mutta ovat yleensä alle yksi henkilötunti jokaista neliömetriä kohden. [25; 27.]

Tyypilliset värilliset BIPV-julkisivujärjestelmät maksavat valmistajasta riippuen 200 €/2 m²– 750 €/2 m². Paneelihinnat esitetään tavallisesti kahden neliömetrin mukaisesti, sillä yhden paneelin koko on noin 2 m². Kompleksisuuden vaikuttaessa hintaan, lasketaan arviot kuitenkin yhden neliömetrin mukaisesti. Tämä mahdollistaa hintojen helpomman vertailun tavanomaisiin julkisivumateriaaleihin.

Yksittäisen paneelin hinta on yleisesti edullisimmillaan 550 €/2 m², sisältäen tilauspaneelit, asennusjärjestelmän sekä sähkö- ja valvontajärjestelmän.

Rakennustekniikan laitoksen tutkimusselostesta ei selviä, ovatko julkisivumateriaalien hinnat kilpailutettuja, eikä hintoja ole suoraan suunnattu valmiille kohteelle. Hinnat ovat aiempien selvitysten perusteella koottu neliömetrin mukaisesti ja laskettu kuvitteelliselle kohteelle. Näin oletetaan neliömetrihintojen pysyvän samoina kohteesta riippumatta. [25; 8.]

Alla olevassa taulukossa (taulukko 1) oleva summa sisältää julkisivun lisäksi rakennus- ja asennuskustannukset (käytetty 10 %:n arvoa) yhdelle neliömetrille (1 m²).

Taulukko 1. Tavanomaisten julkisivujen ja BIPV-järjestelmien rakennus- ja asennuskustannus €/m² (sisältää julkisivun).

Tavanomaiset julkisivumateriaalit			Aurinkosähköjulkisivut		
Tiilimuuri	235	€/m ²	Tarjous 1	353.1	€/m ²
Puu	205	€/m ²	Tarjous 2	386.1	€/m ²
Ohutrappaus	220	€/m ²	Tarjous 3	331.1	€/m ²
Paksueristerappaus	260	€/m ²	Tarjous 4	302.5	€/m ²
Betoni, valko	172	€/m ²	Tarjous 5	357.5	€/m ²
Betoni, tiililaatta	185	€/m ²	Tarjous 6	321.2	€/m ²

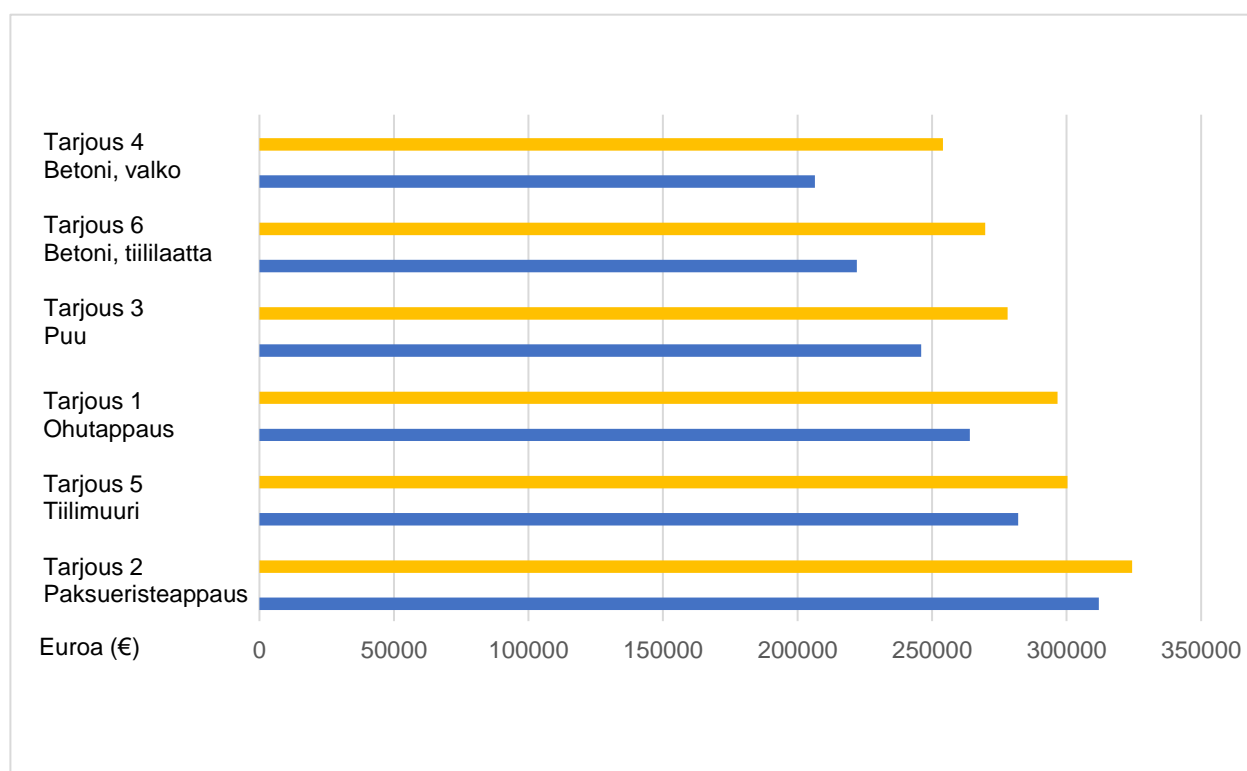
Alla olevassa taulukossa (taulukko 2) on aiemmin lasketuista BIPV-järjestelmien kokonaishinnasta vähennetty 30 %, joka kuvaa mahdollisen korotetun energiatuen määrää. Tuen jälkeen hinnat eivät eroa merkittävästi tavanomaisista julkisivuista.

Taulukko 2. Rakennus- ja asennuskustannukset 30 %:n korotetulla energiatuella (sisältää julkisivun).

Tavanomaiset julkisivumateriaalit			Aurinkosähköjulkisivut		
Tiilimuuri	235	€/m ²	Tarjous 1	247.17	€/m ²
Puu	205	€/m ²	Tarjous 2	270.27	€/m ²
Ohutrappaus	220	€/m ²	Tarjous 3	231.77	€/m ²
Paksueristerappaus	260	€/m ²	Tarjous 4	211.75	€/m ²
Betoni, valko	172	€/m ²	Tarjous 5	250.25	€/m ²
Betoni, tiililaatta	185	€/m ²	Tarjous 6	224.84	€/m ²

Seuraavaksi tarkastellaan asennus- ja rakennuskustannuksia esimerkkirakennuksen mitoituksella. Hintavertailua varten haastateltiin erästä laitteen valmistajaa, joka kuitenkin vetosi kompleksisuuteen ja totesi, ettei hintavertailua näin isolla mittakaavalla voida tarkemmin tehdä [25]. Tuloksena saatiin vaihtelevia hinta-arvioita. Tästä johtuen neliömetrihintoja koottiin erilaisten todellisten kohteiden hintatarjouksista, sekä valmistajan nettikaupan ja keskustelun perusteella. Tarjoushinnat vaihtelevat johtuen rakennuksen kompleksisuudesta, joten hintoja voidaan pitää suuntaa antavina. Yksinkertaisemman rakennuksen voidaan olettaa kuuluvan edullisempiin tarjouksiin, mutta vertailun vuoksi myös korkeammat hinnat otettiin mukaan.

Ensimmäisenä skenaario A, jossa julkisivumateriaali asennetaan 1200 m²:n julkisivualueelle. Hinnat ovat asettu vertailussa edullisimmasta kalleimpaan, ja BIPV-järjestelmien hintoihin on tehty korotetun energiatuen vähennys.

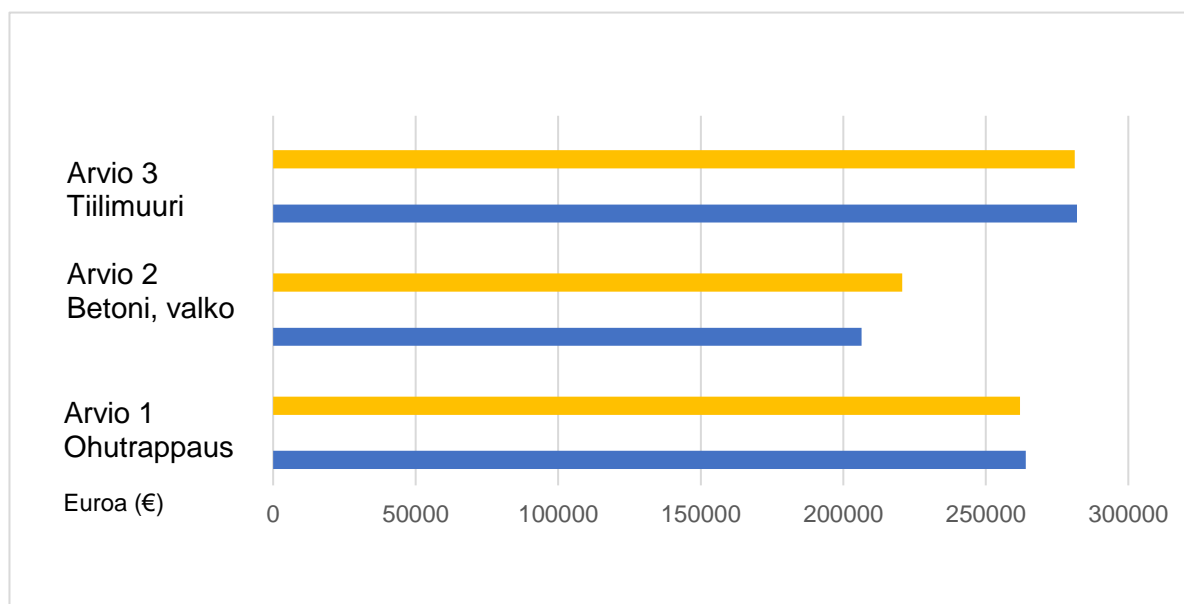


Kuva 8. Rakennus- ja asennushinta (€) 1200 m² julkisivualueelle.

Kuvan 8 tuloksista voidaan nähdä, että edullisemmat tarjoukset alittavat tiilimuurin ja ohutrappauksen rakennus- ja asennushinnan. Edullisimman tarjoushinnan

mukaan kustannus paksueristerappauksesta tulisi olemaan n. 58 000 € edullisempi ja ohuteristerappauksesta n. 10 000 €. Jotta tuloksia voidaan vertailla todennukaisemmin, seuraavassa vertailussa tarkastellaan vain yhden seinän hintaa. Näin pinta-alasta saadaan huomattavasti pienempi ja yksinkertaisempi, ja hinta-arviona voidaan käyttää pienempiä kohteita sekä paneelien yksikköhintoja.

Skenaario B, jossa BIPV-järjestelmä asennetaan vain sille optimaalisimpaan seinään, 238 m²:n alueelle, ja loput 962 m² tavanomaisella julkisivumateriaalilla. Tarkasteluun on otettu tiilimuuri, ohutrappaus ja valkobetoni. BIPV-järjestelmän pintaväriksi on valittu visuaalisesti mahdollisimman yhdenmukainen tavanomaisen julkisivumateriaalin kanssa.

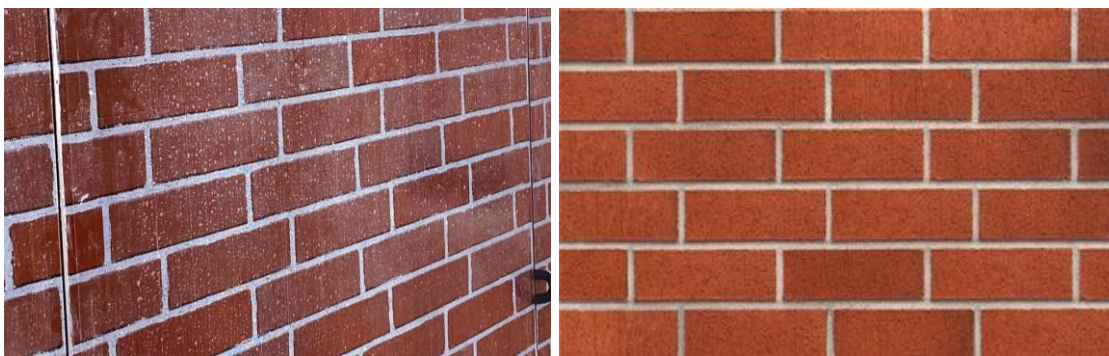


Kuva 9. BIPV-järjestelmä asennettu 238 m²:n alueelle koko julkisivun (1200 m²) pinta-alasta vs. pelkkä tavanomainen julkisivu.

Yllä olevasta kuvasta 9 voidaan nähdä, että energiatuen vähennyksellä osittainen BIPV-järjestelmän asennus julkisivuun tulisi hieman edullisemmaksi ohutrappauksen sekä tiilimuurin rakennus- ja asennusvaiheessa. BIPV-järjestelmän hinta-arvioon on laskettu korotettu 30 %:n energiatuki. Laskelmat ovat suuntaa antavia, ja todellinen hinta määräytyy kohteen mukaisesti.

Merkitys rakentamisessa

Aurinkosähköjulkisivuja voidaan asentaa myös vanhan julkisivun päälle, ja kustointi mahdollistaa jokaiseen kohteeseen löytyvän ratkaisun. Erilaisilla kuoseilla ja väreillä pystytään mahdollistamaan arkkitehtuurisesta näkökulmasta lähes mitä tahansa visioita. Julkisivu voidaan myös vuorata osittain BIPV-järjestelmillä ja osittain tavanomaisilla materiaaleilla. Tällä voidaan halutessa mahdollistaa erilaista visuaalista ulkomuotoa. [3.] Osittain asentamalla voidaan visuaalisen ulkomuodon lisäksi kohdentaa sähköntuotto vain kaikista tuottavampiin alueisiin, ilman että ne erottuvat merkittävästi muusta julkisivusta. Osittainen asennus voi tuntua etenkin kuluttajien ja taloyhtiöissä asunnonomistajien mielestä turvallisemmalta valinnalta.



Kuva 10. Aurinkosähköjulkisivu ja punainen tiilimuri [28; 29].

Kuvassa 10 on esitetty vierekkäin BIPV-järjestelmä punaisella tiilimurilla värityksellä (vas.) ja tavanomainen tiilimuri (oik.).

Rakentamisessa tullaan kiinnittämään huomiota yhä enemmän energiankäyttöön ja ympäristövaikutuksiin. Energiatehokkuus, materiaalivalinnat ja yleisesti hintojen merkitys korostuvat aiempaa enemmän kulujen jatkuvasti noustessa. Yhä useampi yritys pyrkii säästämään sähköä, ja isommissa yrityksissä nähdään BIPV-järjestelmien suosion kasvavan tulevaisuudessa varsinkin uudisrakentamisessa. [30; 29.]

Yksityishenkilöille merkittävimmät tekijät ovat tämänhetkiset kulut, joten julkisivujen kokonaiskustannuksissa mietitään tämänhetkistä hintaa, eikä niinkään

koko elinkaaren kustannuksia. Tämä heijastuu etenkin taloyhtiöiden julkisivuremontteihin, jotka halutaan teettää mahdollisimman edullisesti. Muutokset tapahtuvat hitaasti, sillä korjaukset tehdään tarveperusteisesti. [30.]

Mahdollisesti merkittävä tekijä BIPV-järjestelmien käyttöönoton edistämiseksi on parhaillaan EU:ssa uusittavana oleva energiatehokkuusdirektiivi, jos se astuisi voimaan nyt parlamentin tai komission esittämällä tavalla. Komissio ehdotti direktiiviin uusia energiatehokkuutta koskevia perusvaatimuksia, jossa rakennusten on saavutettava energialuokka G ja F vuoteen 2030 mennessä, ja E-luokka 2033 mennessä. Parlamentin ehdotus on tiukempi. Ehdotuksessa rakennusten tulisi saavuttaa energialuokka E vuoteen 2030 mennessä ja D-luokka vuoteen 2033 mennessä. Parlamentin ehdotuksen astuessa voimaan tulisi Suomessa remontoida seuraavan kymmenen vuoden aikana noin 1,5 miljoonaa kotaloutta. Energiatehokkuusdirektiivin lopullinen muoto julkistetaan vuoden 2023 aikana. [32.]

Energiatehokkuutta voitaisiin rakennuksissa parantaa merkittävästi aurinkopaneeleilla. BIPV-järjestelmät on helppo asentaa vanhan julkisivun päälle ja niiden monipuolinen toteutus mahdollistaa ratkaisun lähes jokaiseen kohteeseen. Osittainen BIPV-järjestelmän asennus riittäisi mahdollisesti nostamaan rakennuksen tarvittavaan energiatehokkuusluokkaan ja olisi nopeasti toteutettavissa. Esimerkiksi maalämpöselvityksessä ja sen toteuttamisessa kestää useita kuukausia, ja porakaivojen porauksesta aiheutuvat äänihaitat rasittavat taloyhtiön asukkaita.

4.3 Ylläpito- ja huoltokustannukset

Uusimpien BIPV-järjestelmien eliniän odotetaan olevan 50 vuotta, joten ylläpito- ja huoltokustannuksia tarkastellaan kyseiseltä ajalta. Järjestelmien huoltojen luvataan olevan vähäisiä, ja ne koostuisivat vain ajoittaisista toiminnan tarkastuksista ja osittaisista puhdistuksista. BIPV-järjestelmissä on automaattinen elektroninen tarkkailu, ja verhoiluja ei tarvitse huoltaa, joten mahdolliset huoltotoimenpiteet olisivat nopeita ja näin myös edullisia. [4; 24; 25.]

Vuonna 2020 valmistuneessa norjalaisessa elinkaarianalyysitutkimuksessa ”Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made Building-Integrated photovoltaics (BIPV) façade” selvitettiin Oslossa sijaitsevan rakennuksen BIPV-julkisivun elinkaarikustannuksia. Tutkimuksessa käytettiin rakennuksesta saatua dataa vuosilta 2016–2019. Pinta-alaltaan 1215 m²:n ja 26:sta eri muodosta koostuvan julkisivun käyttö- ja huoltokustannusten suuruudeksi arvioitiin olevan vuosittain 0,5 % alkuperäisen kustannuksen hinnasta. Elektronisten uusittavien osien, joiden käyttöiän arvioitiin tutkimuksessa olevan 10–15 vuotta, laskettiin kustantavan 10 % alkuinvestointihinnasta. [27; 33.]

BIPV-järjestelmien huolto- ja investointikustannukset määräytyvät myös julkisivun kompleksisuudesta. Yksinkertaisemmat muodot ja kuviot ovat edullisempia, sillä niiden huolto on nopeampaa. Pintojen valinta, koko ja kohteen sijainti vaikuttavat huoltoväleihin ja huollon suuruuteen. Esimerkiksi rannikkoalueella sijaitseva järjestelmä vaatii useampia tarkastuskertoja kuin sisämaassa, sillä erilaiset sääolosuhteet rasittavat järjestelmää eri tavalla. Nykyiset BIPV-järjestelmät ovat kuitenkin jo kehittyneet tutkimuskohteen aikaisista, ja valmistajat arvioivat kustannusten olevan nykyisissä järjestelmissä aiempaa vähäisempiä [25].

Tavanomaisten julkisivujen huoltomäärissä ja hinnoissa on hyödynnetty Rakennustekniikan laitoksen tutkimuselosteen TRT/2433/2016 taulukoiden 2 ja 4 tietoja. BIPV-järjestelmien laskelmissa käytetään norjalaisesta tutkimuksesta saatua vuosittaista 0,5 %:n kerrointa ylläpito- ja huoltokustannuksiin, vaikka tarkasteltava esimerkkirakennus toimiikin uusimmilla järjestelmillä ja on muodoltaan melko yksinkertainen. Vaihdeettaville elektronisille osille odotetaan vähintään 25 vuoden käyttöikää, sillä liitteessä 7 selviää, että valmistaja on luvannut niille 25 vuoden takuun. Elektronisen osien kustannusten lasketaan olevan 10 % alkuinvestointihinnasta (energiavähennys huomioiden), mikä perustuu tutkimuksessa oleviin laskelmiin. Tuloksia voidaan pitää korkeana mutta suuntaa antavana prosenttimäärien perustuessa monimutkaisemmalle rakennukselle. Todelliset kustannusmäärät tulevat näkymään vasta vuosien päästä.

Rakennustekniikan laitoksen tutkimuselosteen TRT/2433/2016 mukaan 50 vuoden aikana tiilimuuri ja betoni tarvitsevat yhteensä kolme kertaa elastisten saumojen uusimisen koko julkisivun osalta. Tiilimuuri tarvitsee saumojen uusimisen lisäksi 10 %:n alueelle laastisaumojen pintakorjausta. Paksussa eristerappauksessa koko julkisivun saumojen tulisi uusia kaksi kertaa, ja ulkokuori tulisi uusia puolelle pinta-alasta. Tämän lisäksi koko julkisivu tulisi maalata uudelleen 2–3 kertaa. Ohuessa eristerappauksessa päästään pienemmällä huollolla, sillä vain puolet julkisivun ulkokuoresta tarvitsee uusimista, ja maalausta 50 %:n pinta-alalle kolme kertaa. Puu vaatii täydeltä pinta-alaltaan 1–2 maalausta, ja osittaiselta noin 50 %:n alueelta maalausta 2 kertaa. Maalauksen lisäksi vanhan maalipinnan poisto tulisi tehdä ainakin kerran 50 %:n alueelle julkisivun kokonaispinta-alasta. [15.]

Alla olevaan taulukkoon (taulukko 3) on laskettu edellä mainittujen tietojen perusteella 50 vuoden ajalta summa ylläpito- ja huoltokustannukset esimerkikirakennuksen skenaario A mukaisesti 1200 m² kokoiselle julkisivualueelle. Huolto- toimenpiteet on laskettu arvioidun huoltomäärän mukaisesti, normaalihuollon toteutuessa asianmukaisesti. Kohteen sijoittuessa pääkaupunkiseudulle käytetään sijaintina sisämaata. Rannikkoalueilla huoltovälit ovat suuremmat.

Taulukko 3. Ylläpito- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta sisämaassa skenaario A.

Tavanomainen julkisivu	€ / 50 vuotta	BIPV-järjestelmä	€ / 50 vuotta
Tiilimuuri	8 880 €	Tarjous 1	103 811 €
Puu	63 360 €	Tarjous 2	113 513 €
Ohutrappaus	142 200 €	Tarjous 3	97 343 €
Paksueristerappaus	132 480 €	Tarjous 4	88 935 €
betoni, valko	72 000 €	Tarjous 5	105 105 €
Betoni, tiililaatta	72 000 €	Tarjous 6	94 433 €

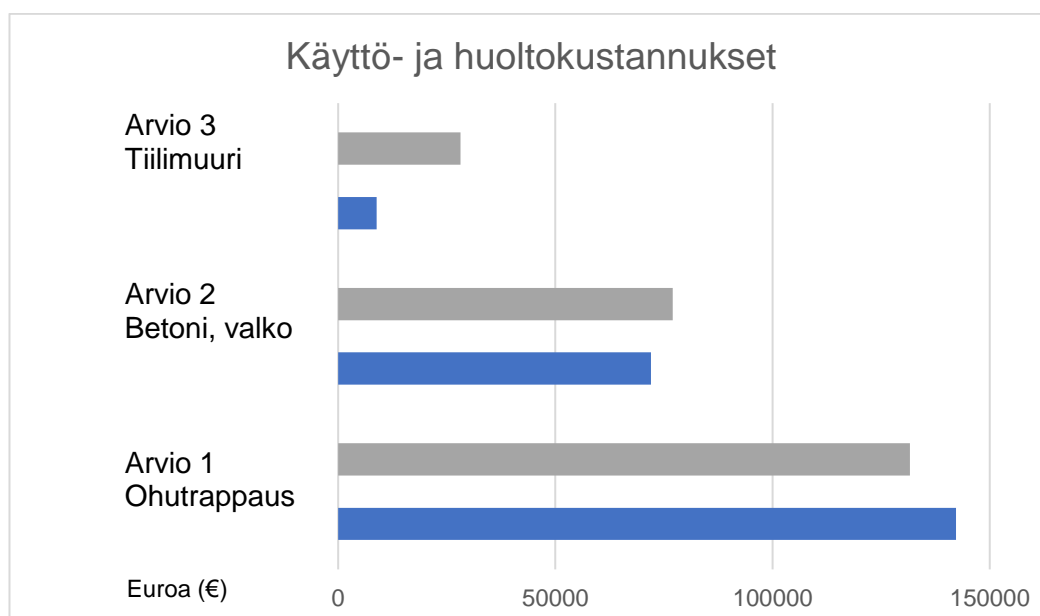
Kokonaishinta tavanomaisille julkisivumateriaaleille saatiin summaamalla huoltomäärät 50 vuodelle ja niistä koostuvat hinnat neliömetrimukaisesti. Tämän

avulla voitiin kertomalla laskea halutulle pinta-alalle ylläpito- ja huoltokustannukset. BIPV-järjestelmissä kustannukset laskettiin tutkimuksesta saadulla vuotuisella 0,5 % kertoimella yhteensä 50 vuoden ajalle.

Laskelmien perusteella tiilimuuri on huomattavasti edullisin vaihtoehto, mutta jokainen BIPV-järjestelmän hintatarjous on edullisempi rappauksiin verrattaessa.

Seuraavaksi tarkastellaan skenaario B:tä, jossa BIPV-järjestelmä asennetaan vain sille optimaalisimpaan seinään 238 m²:n alueelle. Loput 962 m²:ä ovat tavanomaista julkisivumateriaalia. Julkisivumateriaaleina käytetään samoja kuin rakennusvaiheen tarkastelussa.

Alla olevasta kuvasta (kuva 11) voidaan nähdä, että valkobetonin ja ohutrappauksen erot eivät ole suuret, mutta tiilimuuri on huomattavasti BIPV-järjestelmää edullisempi. Ohutrappaus osoittautuu kalleimmaksi vaihtoehdoksi.



Kuva 11. Käyttö- ja huoltokustannukset 50 vuoden ajalta sisämaassa, skenaario B.

Huoltokustannuksiin vaikuttaa merkittävästi kuitenkin niiden oikea käsittely ja asianmukainen huoltoväli. Arvioidut hinnat ovat oikein asennettujen ja huollettujen järjestelmien kustannuksia. Valmistajat lupaavat paneelien olevan kevyitä ja helppoja asentaa, mutta niiden asennus- ja huoltotoimenpiteet kuuluvat silti sähköalan ammattilaiselle. Asentajan tulee lisäksi olla TUKESin rekisteröimä. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES) ja Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto (STUL) varoittivat vuoden 2022 loppupuolella virheellisesti asennetuista ja tarkastetuista aurinkosähköjärjestelmistä. Etenkin sähkön hinnan nousu on kasvattanut paneelien suosiota myös kuluttajien keskuudessa, mikä on lisännyt epäpätevien asennustöiden määrää. Lisäksi huolto- ja toiminnantarkastuksia on laiminlyöty. [34.]

Yleisimmät huoltojen laiminlyönnit voidaan olettaa tapahtuvan omakotitaloissa, sillä rivi- ja kerrostaloissa taloyhtiö yleisimmin huolehtii huoltovälien toteutumisesta. Uusimmissa rakennuksissa on oltava huoltokirja, johon suunnitellaan tulevat huoltotoimenpiteet. [35.]

Käyttö- ja huoltokustannuksissa olisi myös hyvä huomioida mahdolliset käytön- aikaiset vahingot. Muurauksen ja rappauksen vaurioiden aiheuttajana on yleisesti kosteus. Esimerkiksi äkillinen vesivahinko voi vaatia ainakin osittaisen rappauksen uusinnan, riippuen vahingon laajuudesta. [36.] Tämä lisäisi käytön- aikaisia kustannuksia merkittävästi myös muissa tavanomaisissa julkisivumateriaaleissa. BIPV-järjestelmät voidaan irrottaa vesivahingon sattuessa ja asentaa korjauksen jälkeen uudelleen.

4.4 Kierrätys ja jätevaihe

Suomessa jätteiden loppukäyttöä ja kierrätystä ohjaa jätelaki. Laissa on erikseen määrätty, että vähintään 70 % rakennus- ja purkuvaiheen jätteestä tulisi käyttää uudelleen, kierrättää tai hyödyntää muutoin materiaalina. Jätelain tarkoituksena on lisätä jätteen kierrätystä ja uudelleenkäyttöä, sekä vähentää lopullisen jätteen määrää. Lisäksi kaikkea toimintaa ohjaa etusijajärjestys, jota tulee noudattaa mahdollisuuksien mukaan. Etusijajärjestyksessä ensisijaisesti jätteen

syntymistä tulisi ehkäistä. Jos jätettä kuitenkin syntyy, tulee se mahdollisuuksien mukaan kierrättää tai valmistella uudelleenkäyttöön. Jos jätettä ei pystytä hyödyntämään muulla tavoin, on se loppukäsiteltävä. [37; 38.]

Jätelaki uudistui 2022 ja vaikutti rakentamiseen niin, että 1.7.2022 lähtien rakennushankkeeseen ryhtyvän on yhä tarkemmin huolehdittava purku- ja rakennusjätteen erilliskeräyksen toteuttamisesta. Erilliskeräykseen eli erikseen kerätäviin jätteisiin kuuluvat mm. betoni, metalli, tiili, lasi ja kattuhuopa. Työmaalla myös muu syntyvä jäte tulee lajitella, kierrättää tai hyödyntää jollain tavoin. Lisäksi rakennus- ja purkujätteiden kuljetukseen työmailta vastaanottopaikkaan on laadittava sähköinen siirtoasiakirja. [38.]

Julkisivumateriaalit pystytään jätelain mukaan kierrättämään tai uudelleenkäyttämään. Tiili ja betoni ovat raskaita materiaaleja, joten niiden purkukustannukset ja kuljetuskustannukset ovat suuria. Betonijäte yleisesti kierrätetään esimerkiksi murskaamalla. Mursketta voidaan käyttää maanrakentamisessa esimerkiksi teissä, kaduissa ja pysäköintialueissa. [39.]

Tiiltä voidaan puhdistaa ja käyttää uudelleen. Vanhoista rakennuksista purettu tiili ja sen puhdistus on kuitenkin hidasta, sillä purku tapahtuu paljolti käsityövoimin. Tiiltä voidaan kuitenkin myös murskata ja käyttää maantäyttöaineena, tai korvaamaan osaa tiilien raaka-aineesta. [40.] Rakennustyömailta syntyvä puujäte voidaan viedä kierrätyspisteeseen. Kyllästetty puu luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, ja sille on oma keräyspisteensä. [42.]

Julkisivumateriaalien purkukustannukset riippuvat puretun kohteen koosta ja tarkat hinnat määräytyvät täysin kohteen mukaisesti. Tarkasteltavaksi saatiin kuitenkin jätevaiheen kustannuksia, ja esimerkiksi Lounais-Suomen jätehuollon sivuilta on nähtävissä perittäviä maksusummia. Maksut koskevat isompia kuormia, vähintään 20 kg suuruisia jätemääriä. Hinnat koostuvat jätteen painosta, punnitusmaksusta sekä käsittelymaksuista. Puujätteestä ei peritä käsittelymaksua, joten hinnaksi koostuu jätevaiheen ajalta kuljetuskustannukset ja 15 €/n ajoneuvokohtainen punnitusmaksu.

Alla oleva kuva (kuva 12) on ote Lounais-Suomen jätehuollon hinnoista, jossa näkyy mm. betoni- ja tiilijätteen käsittelymaksut. [42.]

Jätelaji	Käsittelymaksu €/tonni (alv 0 %)	Käsittelymaksu €/tonni (alv 24 %)
Polttokelpoinen jäte, yhdyskuntajäte	160,00	198,40
Asbestia sisältävä jäte (vastaanotto vain Korvenmäen jätekeskuksessa)	210,00	260,40
Betoni- ja tiilijäte (sivumitta 0-150 mm)	35,00	43,40
Betoni- ja tiilijäte (sivumitta 150-1000 mm)	50,00	62,00
Betoni- ja tiilijäte (sivumitta yli 1000 mm)	65,00	80,60
Biojäte (kunnan vastuulla oleva)	51,00	63,24

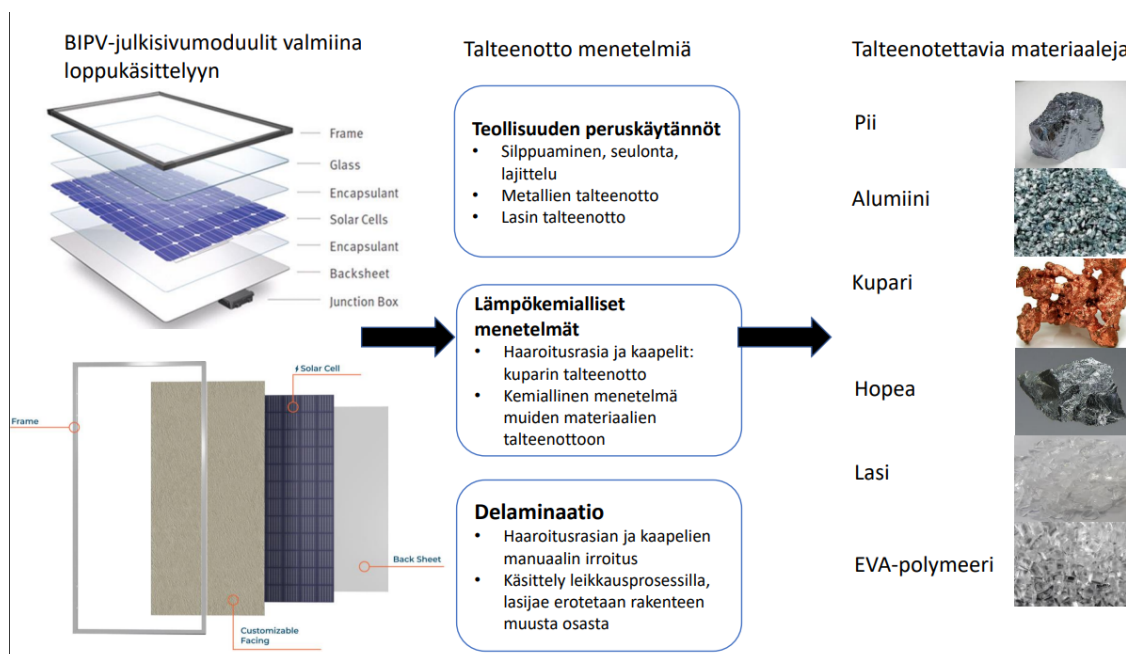
Kuva 12. Ote vastaanottomaksuista suurille jäte-erille 1.1.2023 alkaen [42.].

Yksittäinen punainen tiili painaa noin 3,51 kg ja on kooltaan 250 x 120 x 65 mm. Yhden tiilen julkisivun peittämä pinta-ala on näin ollen $0,25 \text{ m} \times 0,21 \text{ m} = 0,0525 \text{ m}^2$. Laskettaessa 1200 m^2 pinta-alalle tarvitaan yhteensä n. 22 857 tiiltä eli 80 000 kg. Käsittelymaksuksi sivumitan 150–1000 mm mukaan lasketulle kilomäärälle tulee 496 € (alv 24 %).

Yksi kuutio raudoitettua betonia painaa noin 2400 kg. Paino vaihtelee kuitenkin betonilaadun mukaan ja voi olla jopa 3000 kg/m^3 . [42.] Käsittelymaksun laskuun käytetään kuvitteellista betonilaattaa, jonka mitat ovat 1000 mm x 1200 mm x 800 mm ja painona kuutiometriä kohden 2400 kg. Näin yhden laatan painoksi saadaan $(1 \text{ m} \times 1,2 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}) \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 230,4 \text{ kg}$. 1200 m^2 alueelle tarvitaan 1000 laattaa ja näiden yhteispainoksi saadaan $1000 \times 230,4 \text{ kg} = 230\,400 \text{ kg}$. Käsittelymaksuksi saadaan 0–150 mm sivumitan mukaan 9999,36 €.

Uusimpien BIPV- järjestelmien käyttöikä pidetään jopa 50–60 vuotta, mutta uutena innovaationa niiden jätemääriä ei tulla näkemään merkittävästi vielä vuosiin. Paneeleita voi kuitenkin päätyä jätteeksi esimerkiksi rikkoutumisen tai virheellisen käytön vuoksi. Yksittäisen BIPV- järjestelmän paino on noin 20 kg

josta 19 kg voidaan käyttää uudelleen. Loput materiaalit kierrätetään tai sijoitetaan loppukäsittelyyn. Alla olevassa kuvassa (kuva 13) on esitetty käytöstä poistetun paneelin jätevaiheen käsittelyprosesseja ja talteen otettavat materiaalit. [27.]



Kuva 13. Käytöstä poistetun BIPV-järjestelmän jätevaiheen käsittelyprosesseja [27].

Seuraavalla sivulla esiintyvässä taulukossa (taulukko 4) on lueteltu materiaalien talteen otettavuutta prosentuaalisesti esitetyissä talteenottomenetelmissä. Parhain talteenotto prosentuaalisesti katsottuna on delaminaatio, jossa kerroksellisen materiaalin kerrokset irtoavat toisistaan.

Taulukko 4. Materiaalien prosentuaalinen talteenotto osuus.

Materiaali	Teollisuuden peruskäytännöt	Lämpökemialliset menetelmät	Delaminaatio
Pii	74 %	95 %	100 %
Alumiini	78.1 %	86 %	86 %
Kupari	34.7 %	85 %	95 %
Hopea	35 %	74 %	95 %
Lasi	55 %	90 %	95 %
EVA-polymeeri	89.6 %	98 %	98 %

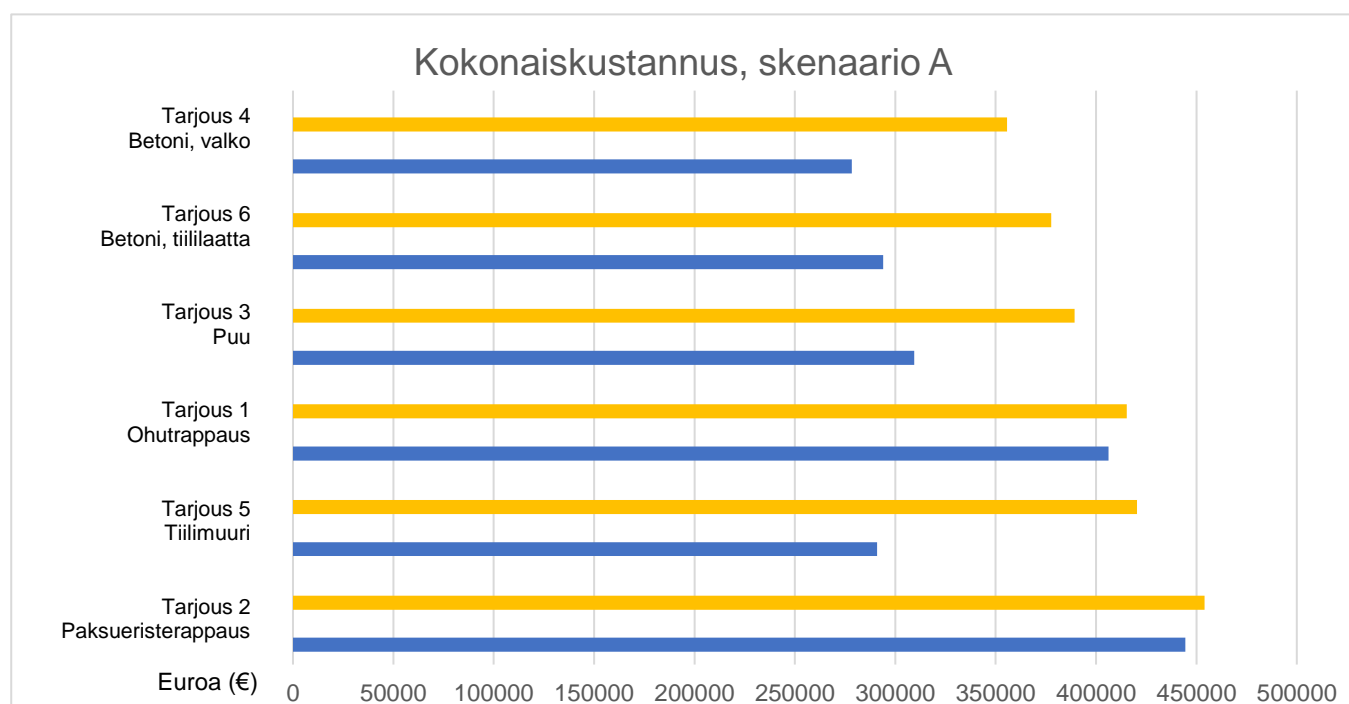
Yleisesti BIPV-järjestelmien materiaaleja voidaan käyttää uudelleen tehokkaasti, vaikka paneelien aiheuttama jätteen määrä Suomessa ja yleisesti Euroopassa onkin vielä pientä. Järjestelmät luokitellaan elektroniikkajätteeksi tavanomaisten aurinkosähköpaneelien tavoin.

Kuluttajilla ja yrityksillä on vastuu viedä jäte kierrätettäväksi sille kuuluvalla tavalla. Kuluttajat voivat viedä elektroniikkajätteet maksuttomasti keräyspisteelle, ja isoja elektroniikkajätteitä voidaan palauttaa alueellisille keräyspisteille. Yrityksille on määrätty omat jätteenottopisteensä, joihin sähkö- ja elektroniikkaromun vieminen on maksutonta. Keräys- ja jätteenottopisteitä löytyy ympäri Suomea, joten ainoaksi kustannukseksi koituu jätteen kuljetus. [44; 45.]

Purkukustannukset määräytyvät kohteen ja työn suorittavan yrityksen mukaan. Yleisesti hinta mukautuu kohteen koon, kunnon, sijainnin ja julkisivumateriaalin perusteella yrityksestä riippumatta. Kerrostalon purkukustannukset ovat 250 000 €:n ja 300 000 €:n välillä. Tavanomaisten julkisivujen ja BIPV-järjestelmien purkukustannuksia pidetään samana, sillä julkisivujen purku tapahtuu yleensä kerrostalon eliniän päättyessä. Julkisivumateriaalien uusiminen sisältyy ylläpito- ja huoltokustannuksiin. [22; 23].

4.5 Kokonaiskustannus

Kokonaiskustannukseen on otettu tarkasteltavaksi 50 vuoden käyttöikä. Työhön käytettävissä olevan rajallisen ajan vuoksi ja tietojen puutteellisuuden takia kieräty- ja jätevaiheen kustannukset on jätetty huomiotta kokonaiskustannuksessa. Kokonaiskustannuksessa huomioidaan rakennus- ja asennusvaiheen kustannukset, sekä mahdolliset huolto- ja käytönaikaiset kustannukset.

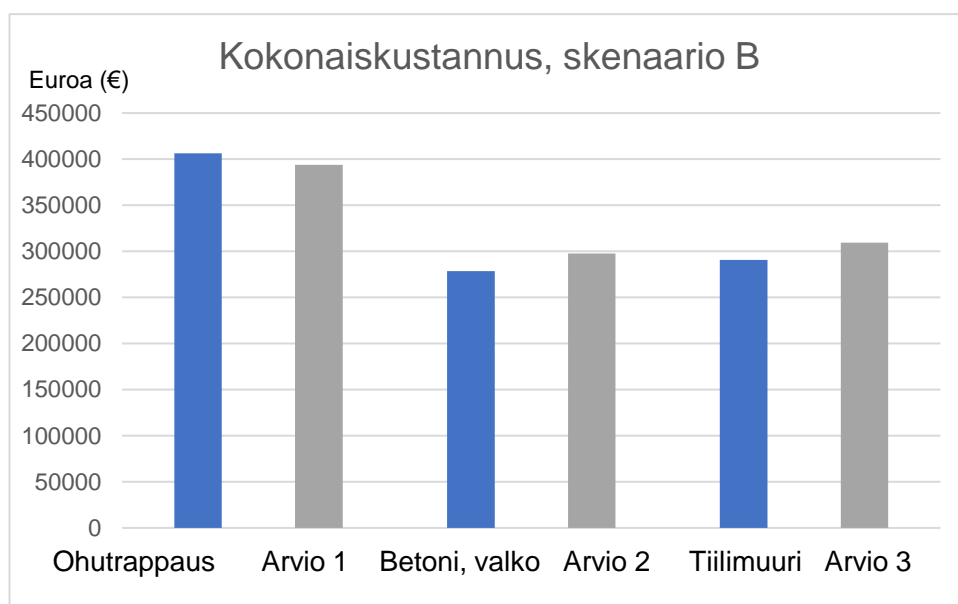


Kuva 14. Skenaario A, kokonaiskustannus 50 vuoden ajalta.

Kuvassa 14 on esitetty kokonaiskustannuksia 50 vuoden ajalta aiemmin saatujen tulosten perusteella, esimerkkirakennukselle skenaario A:n mukaisesti koko 1200 m²:n julkisivualueelle. Hinnat vaihtelevat tavanomaisissa julkisivuissa 280 000 €:n ja 445 000 €:n välillä edullisimmasta kalleimpaan. BIPV-julkisivuissa edullisimman tarjouksen kokonaiskustannus on noin 355 000 € ja kalleimman noin 454 000 €.

Kokonaiskustannuksiltaan valkobetoni osoittautuu edullisimmaksi vaihtoehdoksi, mutta ero tiilimuuriin ei ole suuri. Edullisimpia BIPV-järjestelmien tarjoushintoja pidettiin tavanomaiseen yksinkertaiseen rakennukseen sopivampana, sillä hintaan vaikutti merkittävästi rakennusten kompleksisuus. Edullisimman BIPV-järjestelmän kokonaiskustannus alittaa silti vain ohut- ja paksueristerappauksen kokonaiskustannukset.

Seuraavalla sivulla tarkastellaan skenaario B:tä, jossa BIPV-järjestelmä asennetaan vain sille optimaalisimpaan seinään 238 m²:n alueelle, ja loput 962 m² julkisivusta ovat tavanomaista julkisivumateriaalia.



Kuva 15. Kokonaiskustannus 50 vuoden ajalta, Skenaario B.

Kuvasta 15 voidaan nähdä, että osittaisella BIPV-järjestelmän asennuksella rappaus tulee hieman kalliimmaksi, ja kustannuserot ovat kaikissa vertailuissa pienemmät. Kokonaiskustannusten erot 50 vuoden ajalta vaihtelevat 14 000 €:n ja 19 000 €:n välillä. Valkobetoni on kokonaiskustannuksiltaan edullisin, mutta ero kahteen edullisempaan arvioon ja tiilimuuriin eivät ole suuret. Ohutrappaus on huomattavasti kallein vaihtoehto, ja osittaisella BIPV-järjestelmällä kustannukset ovat vain hieman pienemmät.

Rakennus- ja asennusvaiheessa valkobetoni oli edullisin vaihtoehto, ja tiilimuuri, sekä rappaus olivat lähes samaa myös osittaisella BIPV-järjestelmällä. Kustannuserot kasvoivat ylläpito- ja huoltokustannuksissa merkittävästi. Kokonaiskustannuksista voidaan nähdä, että ylläpito- ja huoltokustannukset kasvattivat hintaa merkittävästi rakennus- ja asennusvaiheeseen nähden niin, että rappauksen ero jopa tiilimuuriin on merkittävä. Tiilimuuri osoittautui edullisimmaksi vaihtoehdoksi käytön aikana, joka laski sen kokonaiskustannuksia lähes valkobetonin tasolle.

5 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika esimerkkirakennuksen julkisivulle lasketaan aiemmin saatujen kokonaiskustannusten perusteella. Tavanomaiset julkisivumateriaalit eivät maksa itseään takaisin, joten tarkasteluun on otettu vain BIPV-järjestelmät. Tästä syystä skenaario B:n kokonaiskustannuksissa huomioidaan vain BIPV-järjestelmän takaisinmaksuaika.

Tavanomaisen julkisivumateriaalin korvaamiseksi BIPV-järjestelmät asennetaan rakennuksen ulkoseinään. Näin ollen järjestelmä on pystysuorassa, eikä sille optimaalisimmassa tehontuotokulmassa. Vähemmän aurinkoenergiaa keräävä ja sähköä tuottava asennuskulma ei kuitenkaan ole hyödytön. Tavalliseen julkisivumateriaaliin verrattaessa BIPV-järjestelmä kuitenkin tuottaa sähköä tavallisen tuottaessa 0 %. Julkisivu on rakennukselle pakollinen kustannus, joten seuraavaksi tarkastellaan esimerkkirakennuksen mittojen perusteella tuotto- ja takaisinmaksuaikoja BIPV-järjestelmillä.

Takaisinmaksuajan laskemiseen on käytetty apuna liitteiden 5 ja 6 arvoja tehosta, tuotannosta ja takaisinmaksuajoista. Vuosituotanto sisältää itse käytetyn ja verkkoon myydyin sähkö, sekä siirtomaksut ja verot. Arviossa on huomioitu tontilla sijaitseva kasvillisuus, joka heikentää järjestelmän sähköntuottoa maasta katsottuna muutamalta ensimmäiseltä metriltä. Tuotto on suuntaa antava, ja sen määrä mukautuu todellisuudessa kohteen mukaisesti. Rakennus sijaitsee

Etelä-Suomessa sisämaassa, ja koko julkisivua voidaan hyödyntää sähkön tuot-
toon.

Myydyssä sähkössä on käytetty 12 c/kWh ja 30 c/kWh hintoja. Kokonaiskustan-
nukset on jaettu arvioidulla sähkön vuosituotolla ja näin saatu takaisinmaksu-
ajan arvio alkuinvestoinnille sekä käytönaikaisille kuluille. Sähkön vuosituoton
arvio on skaalattu pinta-alan mukaan aiemmin simuloidun (liite 5) sähköntuoton
mukaisesti.

Taulukko 5. Skenaario B takaisinmaksuaika 50 vuoden käyttö- ja kustannuksilta
238 m² BIPV-järjestelmälle.

Julkisivun suunta	Tuottoarvo (kWh) 238 m ²	€/vuo- dessa 12 c/kWh	Takaisinmak- suaika (vuosia)	€/vuo- dessa 30 c/kWh	Takaisinmak- suaika (vuosia)
Etelä	30940	3713	18,1	9282	7,2
Lounas	26180	3142	21,4	7854	8,5
Kaakko	26180	3142	21,4	7854	16,8
Länsi	21420	2570	26,1	6426	10,4
Itä	19040	2285	29,4	5712	11,7
Keskiarvo	24752	2970	22,6	7426	9,0

Taulukosta 5 voidaan nähdä, että keskiarvallisesti osittaisella BIPV-julkisivulla
takaisinmaksuaika on 22,6 vuotta edullisemmalla sähkön hinnalla (12 c/kWh) ja
9 vuotta hinnalla 30 c/kWh. Tarkastelussa on käytetty keskimääräistä hintaa
BIPV-julkisivulle.

Seuraavaksi tarkastellaan takaisinmaksuaikaa osittaiselle BIPV-julkisivulle pel-
källä alkuinvestointikustannuksella. Alkuinvestointi kattaa julkisivun hinnan li-
säksi rakennus- ja asennuskustannukset. Hintoina käytetään todellisten kohtei-
den tarjoushintoja energiatuen kanssa. Viimeisessä sarakkeessa on tarkasteltu
markkinoilla olevan tavanomaisen BIPV-järjestelmän hintaa. Todellisten kohtei-
den hinnat ovat hieman korkeammat, sillä järjestelmät on kustomoitu todelliseen

kohteeseen sopiviksi. Näin ollen niiden takaisinmaksuaika on hieman korkeampi. Tuottomääränä on käytetty kaikista ilmansuunnista saadun tuoton keskiarvoa.

Taulukko 6. Skenaario B:n takaisinmaksuaika alkuinvestointinille.

BIPV-julkisivu 238 m ²	Takaisinmaksuaika (vuosia) 12 c/kWh	Takaisinmaksuaika (vuosia) 30 c/kWh
Tarjous 1	21,8	8,7
Tarjous 2	23,8	9,5
Tarjous 3	20,4	8,2
Tarjous 4	18,7	7,5
Tarjous 5	22,1	8,8
Tarjous 6	19,8	7,9
Tavanomainen BIPV	17,4	6,9
Keskiarvo	20,6	8,2

Taulukon 6 mukaan takaisinmaksuajat alkuinvestointeille hinnalla 12 c/kWh ovat keskiarvallisesti 20,6 vuotta ja hinnalla 30 c/kWh 8,2 vuotta. Tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, sillä takaisinmaksuaika riippuu kokonaiskustannuksen määrästä, tuotetusta sähköstä ja sähkön hinnasta. Alkuinvestointien takaisinmaksuajat ovat hieman lyhyemmät kokonaiskustannuksiin nähden, mikä onkin oletettavissa tuoton pysyessä samana. Erosta voidaankin nähdä, mikä merkitys käytönaikaisilla kustannuksilla takaisinmaksuun on. Jos vertailuun otettiin tavanomaiset julkisivumateriaalit mukaan, olisi ero vielä suurempi.

Seuraavalla sivulla tarkastellaan takaisinmaksuaikoja skenaario A:n mukaan, kun koko 1200 m²:n kokoinen julkisivu on aurinkosähköjulkisivua.

Taulukko 7. Skenaario A, takaisinmaksuaika 50 vuoden käyttö- ja kustannuksilta.

Julkisivun suunta	Tuottoarvo (kWh) 1200 m ²	€ vuodessa 12 c/kWh	Takaisinmaksuaika (vuosia)	€ vuodessa 30 c/ kWh	Takaisinmaksuaika (vuosia)
Etelä	156000	18720	18,1	46800	7,2
Lounas	132000	15840	21,4	39600	8,5
Kaakko	132000	15840	21,4	39600	8,5
Länsi	108000	12960	26,1	32400	10,4
Itä	96000	11520	29,4	28800	11,7
Keskiarvo	124800	14976	23,3	37440	9,3

Taulukon 7 mukaan takaisinmaksuajan keskiarvo on noin 23 vuotta edullisemmalla 12 c/kWh hinnalla, ja noin 9 vuotta 30 c/kWh hinnalla. Seuraavaksi tarkastellaan takaisinmaksuaikaa alkuinvestoinnille skenaarion A mukaan.

Taulukko 8. Skenaario A:n takaisinmaksuaika alkuinvestoinnille.

BIPV-julkisivu 1200 m ²	Takaisinmaksuaika 12 c/kWh	Takaisinmaksuaika 30 c/kWh
Tarjous 1	28,3	11,3
Tarjous 2	30,9	12,4
Tarjous 3	26,5	10,6
Tarjous 4	24,2	9,7
Tarjous 5	28,6	11,5
Tarjous 6	25,7	10,3
Tavanomainen BIPV	22,6	9,0
Keskiarvo	26,7	10,7

Alkuinvestoinnille takaisinmaksuajat ovat hieman korkeammat kokonaiskustannuksiin nähden, sillä todellisten tarjousten hintaan vaikuttaa rakennusten kompleksisuus. Keskiarvo on noin neljä vuotta korkeampi alemmalla hinnalla 12 c/kWh, kun taas korkeammalla 30 c/kWh ero ei ole enää kuin reilun vuoden.

6 Johtopäätökset

Tarkan elinkaarikustannusanalyysin saamiseksi tulisi materiaaleille ja BIPV-järjestelmän eri osille suorittaa hiilijalanjäljen laskenta. Ajan rajallisuuden ja resursien vähyyden vuoksi elinkaarikustannus keskittyi investointikustannuksiin ja käytönaikaisiin kustannuksiin. Kierrätys- ja jätevaiheen kustannuksien tarkastelu toi kuitenkin työhön lisää arvoa, sillä saaduista tiedoista voitiin nähdä, että BIPV-järjestelmien kustannukset jätevaiheessa koostuivat pääosin purku- ja kuljetuskustannuksista, koska elektroniikkaromun voi viedä veloituskeräyspisteille.

Tuloksista voidaan päätellä elinkaaren aikana muodostuvia eri kustannuksia, ja kumpaan julkisivuvaihtoehtoon on kannattavampaa investoida. Tuloksista nähdään, että tavanomaiset julkisivumateriaalit ovat rakennus- ja asennusvaiheessa hieman edullisempia, mutta BIPV-järjestelmät pystyvät maksamaan itsensä takaisin. Järjestelmät myös tuottavat taloyhtiölle sähköä elinkaarensa aikana, joten sijoituksesta saadaan voittoa. Näin ollen kannattavampi vaihtoehto julkisivuun on hyödyntää aurinkosähköä. Seuraavaksi tarkastellaan tarkemmin skenaarioissa A ja B esiintyvien BIPV-järjestelmien kustannuksia ja eroavaisuuksia.

Esimerkkirakennuksen BIPV-järjestelmien ylläpito- ja huoltokustannuksissa käytettyä 0,5 % kerrointa voidaan pitää korkeana, sillä kerroin oli laskettu vanhemmalle ja monimutkaisemmalle rakennukselle. BIPV-järjestelmät eivät olleet uusinta teknologiaa ja julkisivu koostui 26 eri muodosta. Tuloksia voidaan pitää suuntaa antavina, sillä teknologian ollessa uutta, todelliset kustannukset näkyvät vasta vuosien päästä.

Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa merkittävästi myydyn sähkön hinta ja tuotomäärä. Nykyinen energiakriisi ja mahdolliset tulevaisuuden sähkönhinnan vaihtelut voivat vauhdittaa takaisinmaksuaikaa, jos rakennus tuottaa enemmän sähköä kuin kuluttaa. Vertailussa käytetyllä korkeammalla 30 c/kWh hinnalla takaisinmaksuaika oli keskimääräisesti alle 10 vuotta, ja edullisemmalla 12 c/kWh

hinnalla noin 20 vuotta. BIPV-järjestelmän eliniäksi arvioitiin 50 vuotta, joten lyhyemmällä takaisinmaksuajalla rakennus voi tuottaa jopa 40 vuoden ajan taloyhtiölle voittoa. Edullisemmalla 12 c/kWh voittoa saataisiin keskimäärin 30 vuoden ajalta.

Skenaarioiden A- ja B takaisinmaksuajoissa ei ollut suuria eroja. Suuremmalla pinta-alalla saatiin tuotettua enemmän sähköä, mutta koon kasvamisen myötä kasvoivat myös ylläpito- ja huoltokustannukset. Kulujen ja tuoton välinen ero skenaarioiden välillä ei ollut merkittävä. Tuloksia tarkastellessa voidaan huomata, että kulut kasvavat lähes lineaarisesti tuoton mukaan. Tarkastelussa tulee kuitenkin huomioida, että koko julkisivun hyödyntäminen aurinkosähkön tuottoon on harvoin mahdollista ja skenaario A:ta voidaan pitää ideaalitulanteena. Tavanomaisten julkisivumateriaalien jätemaksut eivät yletä suuruusluokaltaan uuden BIPV-järjestelmän hintaan. Näin ollen järjestelmän pitäisi olla tuottoisaa skenaarion A mukaisesti, jotta sijoitus olisi kannattava.

Osittaisella BIPV-järjestelmällä saatiin pienennettyä julkisivusta aiheutuvia käytönaikaisia kuluja, mutta kustannusten summasta voidaan päätellä, että tavanomaisen julkisivun maksuun tuottomäärä ei kuitenkaan riitä. Kaikissa skenaario B:n vertailuissa BIPV-järjestelmä pystyi maksamaan itsensä takaisin sekä tuottamaan sähköä taloyhtiölle useiden vuosien ajan.

Ideaalitulanteessa täydellä BIPV-järjestelmällä saadaan koko julkisivusta aiheutuvat kustannukset maksettua takaisin ja lisäksi tuottamaan sähköä taloyhtiölle vuosikymmenien ajan. Osittainen BIPV-järjestelmän asennus on kannattavampi, jos koko julkisivua ei voida hyödyntää aurinkosähkön tuottoon.

Alun investoinneissa ja kokonaiskustannuksissa otettiin huomioon korotetun energiatuen määrä. Energiavähennyksen saamiseksi investointikustannuksen tulisi ylittää 10 000 € (energiatehokkuus) tai 30 000 € (uusiutuva energia). Useissa taloyhtiöissä ei välttämättä nähdä BIPV-järjestelmiin sijoittamisen kannattavuutta pidemmällä aikavälillä, eikä niihin näin ollen haluta sijoittaa. Etenkin

iäkkäämmät henkilöt eivät näe kannattavana sijoituksena 20 vuoden takaisinmaksuaikaa, vaan keskittyvät tämänhetkisiin kuluihin. Muutokset rakentamisessa tulevat tapahtumaan hitaasti, sillä korjaukset tehdään tarveperusteisesti. EU:ssa parhaillaan uusittavana oleva energiatehokkuusdirektiivi voisi kuitenkin olla merkittävä tekijä BIPV-järjestelmien kasvulle, jos se astuisi voimaan nyt parlamentin tai komission esittämällä tavalla.

Lähteet

1. Aurinkosähköjulkisivut. Verkkoaineisto. Energio Oy. <<https://energio.fi/pages/aurinkojulkisivut>>. Luettu 28.2.2023.
2. Sungrow Powers World's Largest BIPV Project With a Capacity of 120 MW and Installed with Sungrow Inverter Solutions. Verkkoaineisto. Solarquarter. <<https://solarquarter.com/2022/08/26/sungrow-powers-worlds-largest-bipv-project-with-a-capacity-of-120-mw-and-installed-with-sungrow-inverter-solutions/>>. Luettu 28.2.2023.
3. The BIPV system: The perfect amalgamation of Urban development and Energy generation. Verkkoaineisto. The Solar labs. <<https://thesolarlabs.com/ros/bipv-system/>>. Luettu 1.3.2023.
4. Mitrex BIVP Technology. Verkkoaineisto. Mitrex. <<https://www.mitrex.com/technology/>>. Luettu 1.3.2023.
5. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Sähköinfo. 2021.
6. Aurinkosähkötöknologiat. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 1.3.2023.
7. Solar glass. Verkkoaineisto. Mitrex. <<https://www.mitrex.com/solar-glass/>>. Luettu 2.3.2023.
8. Mitrex shop. Verkkoaineisto. Mitrex. <<https://shop.mitrex.com/>>. Luettu 2.3.2023.
9. Auringonsäteilyn määrä suomessa. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa>. Luettu 2.3.2023.
10. Sunrise, sunset, dawn and dusk times, graph. Verkkoaineisto. Gaisma. <<https://www.gaisma.com/en/location/helsinki.html>>. Luettu 15.3.2023.
11. Aurinkopaneelit toimivat suomessa hyvin. Verkkoaineisto. Suomela. <<https://www.suomela.fi/aurinkopaneelit-toimivat-suomessa-hyvin>>. Luettu 10.3.2023.

12. Aurinkovoima. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinainformaatio/aurinkovoima/>>. Luettu 8.3.2023.
13. Onnistu unelmiesi energiaratkaisuissa. Energio Oy. Yrityksen sisäinen asiakirja. Luettu 16.2.2023.
14. Energiatuki. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>>. Luettu 25.3.2023.
15. Kerrostalon eri julkisivuvaihtoehtojen elinkaaritarkastelu. Verkkoaineisto. Rakennustekniikan laitos. <https://www.tiili-info.fi/wp-content/uploads/2016/10/Tiiliteollisuus_Elinkaarilaskenta_20160926.pdf>. Luettu 3.3.2023.
16. Asemakaavat. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://www.ymparisto.fi/fi/rakennettu-ymparisto/kaavoitus-ja-alueidenkaytto/kaavoitus/ase-makaavat>>. Luettu 25.3.2023.
17. Tiilirakenteet kestävät ranta-alueiden säärasitusta. Verkkoaineisto. Tiili-info. <<https://www.tiili-info.fi/tiilirakenteet-kestavat-ranta-alueiden-saarasitusta/>>. Luettu 16.2.2023.
18. Ominaisuudet ja edut. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus Ry. <<https://betoni.com/tietoa-betonista/ominaisuudet-ja-edut/>>.
19. Betonijulkisivuja. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus Ry. <<https://betoni.com/wp-content/uploads/2017/05/Betonijulkisivuja-2009.pdf>>. Luettu 18.2.2023.
20. Jenna Kouhia. 2022. Julkisivujen paksurappauksen toteutus ja ongelmat. Metropolian ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Ammattikorkeakoulu. Luettavissa osoitteessa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/703301/Kouhia_Jenna.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
21. Aleksi Kuokkanen. 2015. Kerrostalon puujulkisivu- ja betonijulkisivuelementtien kustannusvertailu. Opinnäytetyö. Ammattikorkeakoulu Savonia. Luettavissa osoitteessa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/89218/Kuokkanen_Alexi.pdf?sequence=1>.
22. Julkisivuremontti hinta. Verkkoaineisto. Urakkamaailma. <<https://www.urakkamaailma.fi/julkisivuremontti-hinta>>. Luettu 4.3.2023.

23. Ulkoverhouksen hinta. Verkkoaineisto. Prima. <https://prima-rakentajat.fi/ulkoverhouksen-hinta/?utm_term=julkisivun%20hinta&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=4025233422&hsa_cam=17216525697&hsa_grp=142196493488&hsa_ad=597203987184&hsa_src=g&hsa_tgt=kwd-1749453103416&hsa_kw=julkisivun%20hinta&hsa_mt=b&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gclid=EAlaIQobChMIzYi75L3l_QIVcgbmCh1oFwE-NEAAYASAAEgKnPD_BwE>. Luettu 26.2.2023.
24. Gholami H, Røstvik N, Müller-Eie D. Holistic economic analysis of building integrated photovoltaics (BIPV) system: Case studies evaluation. 2019.
25. Smith Anders, Solarlab. 2023. Thesis. Sähköpostiviesti: 8.3.2023.
26. How much does really BIPV cost. Verkkoaineisto. Metsolar. <<https://metsolar.eu/blog/how-much-does-really-bipv-cost/>>. Luettu 12.3.2023.
27. Gholami, Røstvik a, Lifecycle cost analysis (LCCA) of tailor-made building integrated photovoltaics (BIPV) façade: Solsmaragden case study in Norway. 2020.
28. Tiilen ulkonäkö. Verkkoaineisto. Tiili-info. <<https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/tiilen-ulkonako/>>. Luettu 19.3.2023.
29. Mitrex Projects. Verkkoaineisto. Mitrex. <<https://www.mitrex.com/projects/>>. Luettu 1.3.2023.
30. 2023. Yksikönjohtaja. Consti Oy. Keskustelu. 16.2.2023.
31. Laskentajohtaja ja Urakoitsija. Consti Oy. 2023. Sähköpostiviesti. 6.3.2023.
32. Suomalaiskoteja uhkaa mittava pakkoremontointi, kun EU-parlamentti hyväksyi kiistellyn ehdotuksen: taloista halutaan vähäpäästöisiä. Verkkoaineisto. Yle Uutiset. <<https://yle.fi/a/74-20021401>>. Luettu 15.3.2023.
33. Solsmaragden, Union Brygge, Drammen Oslo, Norway. Verkkoaineisto. Issol. <<http://www.issol.eu/solsmaragden-union-brygge-drammen/>>. Luettu 1.4.2023.
34. TUKES varoittaa aurinkopaneelien virheellisistä asennuksista. Verkkoaineisto. Kiinteistölehti. <<https://www.kiinteistolehti.fi/tukes-varoittaa-aurinkopaneelien-virheellisista-asennuksista>>. Luettu 1.4.2023.

35. Kiinteistön huollon laiminlyönti maksaa remonttia enemmän. Verkkoaineisto. Turun Sanomat. <<https://www.ts.fi/viihde/1073965349>>. Luettu 10.4.2023.
36. Aleksi Tuominen. 2020. Korjaushanke kosteusvaurioista rapatuissa julkisivuissa. Opinnäytetyö. Helsinki. Ammattikorkeakoulu. Luettavissa osoitteessa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/347992/Tuominen_Aleksi.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.
37. Jätelaki 17.6.2011/646
38. Jätelaki ja asetukset- mikä muuttui, miten toimin? Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/jatteet/jatelaki>>. Luettu 15.4.2023.
39. Kiertotalous. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus Ry. <<https://betoni.com/betoni-ja-ymparisto/kiertotalous/>>. Luettu 10.4.2023.
40. Ympäristöystävällinen tiili. Verkkoaineisto. Tiili-info. <<https://www.tiili-info.fi/tiili-materiaalina/ymparistoystavallinen-tiili/>>. Luettu 1.4.2023.
41. Puun kierrätys. Verkkoaineisto. Lassila & Tikanoja. <<https://www.lt.fi/fi/henkiloasiakkaat/kierratys/kierratysbotti/puun-kierratys>>. Luettu 30.3.2023.
42. Vastaanottomaksut suurille jäte-erille. Verkkoaineisto. Lounais-Suomen jätehuolto. <<https://www.lsjh.fi/fi/hinnat/vastaanottomaksut-suurille-jate-erille/>>. Luettu 29.3.2023.
43. Betoni. Perustietoa arkkitehtiopiskelijalle. Verkkoaineisto. Betoniteollisuus Ry. <<https://betoni.com/wp-content/uploads/2020/06/Betoni-Perustietoa-arkkitehtiopiskelijalle-2010.pdf>>. Luettu 27.3.2023.
44. Palautuspisteet yrityksille. SERTY. Verkkoaineisto. <<https://serty.fi/yrityksille/palautuspisteet-yrityksille/>>. Luettu 14.4.2023.
45. SER-kierrätys. Verkkoaineisto. <<http://serkierratys.fi/>>. Luettu 16.4.2023.

Liitteet

Hintaerittely 1	salainen
Hintaerittely 2	salainen
Hintaerittely 3	salainen
Hintaerittely 4	salainen
Vuotuinen tuotto	salainen
Tuotto- ja takaisinmaksuaika-arvio	salainen