

Aurinkoenergiajärjestelmien asennukset rakenneteknisestä näkökulmasta

Paula Alanko

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

ALANKO, PAULA:

Aurinkoenergiajärjestelmien asennukset rakenneteknisestä näkökulmasta

Opinnäytetyö 138 sivua, joista liitteitä 51 sivua
Huhtikuu 2024

Opinnäytetyössä tarkastellaan aurinkoenergian hyödyntämistä ja aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien asennustapoja. Yhdessä toimeksiantaja AFRY Buildings Finlandin ja A-Kruunun kanssa rajattiin opinnäytetyö aurinkoenergiajärjestelmien kuormien ja asennuksien rakennetekniseen tarkasteluun sekä uudisrakennus- että korjausrakennuskohteissa.

Taustatiedoiksi on esitelty aurinkoenergiajärjestelmien toimintaperiaatteita ja järjestelmäkokonaisuuksia, sekä selvennetty erilaisten kokoonpanojen toimintatapoja. Järjestelmien aiheuttamia kuormituksia on tarkasteltu työssä soveltaen Eurokoodistandardien laskentamenetelmiä. Tuulikuormien määrittämisen osoittaututtua haastavaksi on tehty kirjallisuustutkimusta tuulikuormien vaikutuksista aurinkovoimaloihin, minkä lisäksi tuulikuormia on määritetty CFD-simulointia hyödyntävällä RWIND-ohjelmistolla. Case-kohteiden suunnittelun perusteiksi myös järjestelmien varjostuksia mallinnettiin Revit-ohjelmiston avulla eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina.

Kuormituslaskelmien, simulointien ja järjestelmätoimittajien teknisen dokumentaation perusteella koostettiin laskentapohjista, detaljisuunnitelmista ja kirjallisista ohjeista koostuva suunnitteluohjekokoelma. Työn tuloksena kootuissa suunnitteluohjeissa käsitellään rakenne- ja asennusratkaisuja, erityisesti katto- ja julkisivurakenteiden toimivuutta sekä tarjotaan detaljipiirustuksia ja laskentaohjeita helpottamaan järjestelmien kuormitusten laskemista ja mallintamista. Lisäksi ohjeistukseen on koottu tietoa järjestelmien asennusvaatimuksista ja -ohjeista käytettäväksi tulevaisuuden työprojekteissa.

Asiasanat: aurinkoenergia, aurinkopaneeliasennukset, aurinkosähkö, aurinkolämpö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Engineering
Building Construction

ALANKO, PAULA:
Solar energy system installations - a structural perspective

Bachelor's thesis 138 pages, appendices 51 pages
April 2024

The aim of the thesis was to examine the utilization of solar energy and the installation methods of photovoltaic and solar thermal systems. In collaboration with the commissioning party AFRY Buildings Finland and A-Kruunu, the thesis was focused on the structural analysis of load caused by solar energy system and installation methods of the systems in both new construction and renovation projects.

As background information the thesis includes the principles of operation and system configurations of solar energy systems and an introduction to the differences in various assemblies' functionalities. The loads imposed by and to the systems were initially examined by applying the calculation methods outlined in the Eurocode standards. As determining wind loads proved challenging, a literature review was conducted on the effects of wind loads on solar panels. Additionally, wind loads were determined using the RWIND software to carry out CFD simulations. The shading of the potential solar panel fields of case study properties was also modelled using software assistance at different times through the year.

Based on these calculations and the technical documentation provided by system suppliers, a set of design guidelines consisting of calculation templates, detail plans and written instructions was compiled. The guidelines address structural and installation solutions, especially focusing on the functionality of roof and facade structures. Furthermore they provide detail drawings and calculation models to facilitate the calculation and modelling of loads. Additionally, the guidelines include information on system installation requirements and instructions for future use.

Key words: solar panel, solar electricity, solar energy, solar installations

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AURINKOENERGIASTA YLEISESTI.....	8
3	JÄRJESTELMÄT	10
	3.1 Aurinkosähköjärjestelmät	10
	3.2 Aurinkolämpöjärjestelmät	15
4	JÄRJESTELMÄN SIJOITTELU.....	21
5	KUORMITUKSET	28
	5.1 Lumikuorma	28
	5.1.1 Lumikuorman määräytyminen.....	29
	5.1.2 Kinostuma-alueet.....	32
	5.2 Tuulikuorma	33
	5.2.1 Tuulikuorman määräytyminen.....	34
	5.2.2 Tuulikuormien määrittäminen simulaatioavusteisesti	44
	5.3 Aurinkosähköjärjestelmän paloturvallisuus	46
	5.3.1 Aurinkosähköjärjestelmä palolähteenä	47
	5.3.2 Aurinkosähköjärjestelmän vaikutus paloon	49
	5.3.3 Merkinnät.....	50
6	ASENNUSRATKAISUT	51
	6.1 Katon kannatinjärjestelmän vaikutus	55
	6.1.1 Betonirakenne	57
	6.1.2 Puurakenne	60
	6.2 Pintamateriaalin vaikutus	63
	6.2.1 Kermikate	63
	6.2.2 Peltikate	66
	6.2.3 Tiilikate	68
7	MUUT JULKISIVURAKENTEET	70
	7.1 Julkisivuasennuksista.....	70
	7.2 Julkisivun rakenteen vaikutus.....	74
8	POHDINTA.....	76
	LÄHTEET	82
	LIITTEET	87
	Liite 1. Case-kohteet.....	87
	Liite 2. Tuulikuormakaaviot	102
	Liite 3. Laskentaesimerkki.....	113
	Liite 4. Detaljipiirustukset	122

LYHENTEET JA TERMIT

$c_0(z)$	pinnanmuotokerroin
C_e	tuulensuojaisuuskerroin
$C_e(z)$	altistuskerroin
C_{pe}	ulkopuolisen paineen painekerroin
$C_{pe,1}$	rakenneyksityiskohdan painekerroin
$C_{pe,10}$	rakennekokonaisuuden painekerroin
C_{pi}	sisäpuolisen paineen painekerroin
$c_r(z)$	maaston rosoisuuskerroin
C_t	lämpökerroin
DC	direct current, tasavirta.
$I_v(z)$	turbulenssia kuvaava kerroin
l_s	kinostumispituus
q_b	nopeuspaineen perusarvo
$q_p(z_e)$	puuskannoepuspaine korkeudella z_e
s	katon lumikuorma [kN/m ²]
s_k	maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m ²]
V_b	tuulennopeuden perusarvo
V_m	tuulennopeuden modifioitu perusarvo
z_e	nopeuspainekorkeus
γ	tilavuuspaino [kN/m ³]
μ	kitkakerroin
μ_i	lumikuorman muotokerroin (η_1 / η_2)
μ_s	ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttama lumikuorman muotokerroin
μ_w	tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin
ρ	tiheys

AC	alternating current, vaihtovirta
aurinkoenergiajärjestelmä	auringosta peräisin olevaa energiaa hyödyntävä järjestelmä, usein aurinkosähkö- tai aurinkolämpöjärjestelmä, joka käsittää keräinelementtien lisäksi muut järjestelmäosat
aurinkosähkö	auringonsäteilystä jollakin tekniikalla tuotettu sähkö
aurinkolämpö	auringonsäteilystä jollakin tekniikalla tuotettu lämpö
azimuth-kulma	auringon suoran säteilyn tulosuunta ilmaistuna kulmaerona etelän suuntaan
Invertteri	vaihtosuuntaaja, joka muuntaa tasavirtaa vaihtovirraksi
off-grid-järjestelmä	aurinkosähköjärjestelmä, jota ei ole kytketty kiinteistön ulkopuoliseen sähköverkkoon
on-grid-järjestelmä	sähköverkkoon kytketty aurinkovoimala, vrt. off-grid järjestelmä
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System, Aurinkosähköinen maantieteellinen tietojärjestelmä

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään aurinkoenergiaa ja aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien toteutusta. Aurinkoenergian hyödyntäminen on yhä yleistymässä, ja Suomessakin jo monet toimijat toimittavat aurinkoenergiajärjestelmiä valmiiksi asennettuna avaimet käteen -periaatteella. Tämän lisäksi yksityisetkin henkilöt voivat hankkia järjestelmien osia ja toteuttaa osia hankkeesta itsenäisesti. Osatavoitteena olikin muodostaa suunnitteluohjekokoelma aurinkoenergiajärjestelmien asennuksien toteutukseen rakenneteknisestä näkökulmasta huomioiden järjestelmien aiheuttama rasitus ja rakenteelliset riskitekijät. Lisäksi työssä käsitellään case-kohteiden kautta asennukseen ja toteutukseen kohdistuvia rajoitteita ja esteitä.

Työssä käsitellään sekä aurinkosähköjärjestelmiä, että aurinkolämpökeräimiä, sillä niiden rakenteille asettamat vaatimukset ja keskinäiset erot haluttiin selvittää. Työssä esitellään järjestelmien toimintaperiaatteet ja niiden toiminnan taustalla vaikuttavia ilmiöitä, kuten säteilyenergian määrää. Tällä on kriittinen vaikutus kaikkiin aurinkoenergiaa hyödyntäviin järjestelmiin. Aurinkopaneelit tai aurinkokeräinelementit ovat oleellisin osa aurinkovoimalassa, joten niiden toimintaan perehdytään tarkemmin työn teoriaosiossa, mutta myös järjestelmien muut osat on esitelty.

Voimaloihin kohdistuvia lumi- ja tuulikuormia arvioitiin Eurokoodien ja kansallisten ohjeiden mukaisilla laskentamenetelmillä. Tuulikuormien osalta käytettiin lisäksi apuna CFD-simulointia kuormitustiedon varmentamiseksi. Näiden yhdistelmällä pystyttiin yhdessä kirjallisuuslähteiden kanssa muodostamaan mahdollisimman hyvin perusteltu arvio asennuksien aiheuttamasta lisäkuormituksista. Myös aurinkopaneelien paloturvallisuutta ja palo-ominaisuuksien vaikutusta rakenteisiin tarkasteltiin kirjallisuuskatsauksen ja järjestelmien teknisen dokumentaation avulla.

Suunnittelun ohjaukseksi on myös otettu kantaa rakennekohtaisiin asennusratkaisuihin, joissa erityisesti huomion kohteena on ollut katto- ja julkisivurakenteiden rakennusfysikaalisen toimivuuden varmistaminen. Periaatetasoisilla detailjipiirustuksilla on pyritty myös tarjoamaan havainnetyökalu rakennesuunnitteluun, jotta järjestelmien aiheuttamia kuormituksia ja niiden jakautumista olisi helpompi laskea ja mallintaa osana uudisrakennus- tai jälkiasennushanketta. Lisäksi ohjeisiin on kasattu eri lähteistä kootusti tietoa järjestelmien asennusvaatimuksista ja -ohjeista.

Opinnäytetyön taustatietoja on kerätty niin suomalaisista kuin ulkomaalaisista lähteistä, muun muassa akateemisista tutkimuksista aurinkosähkön käytöstä, aurinkoenergiajärjestelmien toimittajien teknisistä asiakirjoista sekä kohdekäyntien olemassa olevien voimaloiden teknisestä toteutuksesta.

2 AURINKOENERGIASTA YLEISESTI

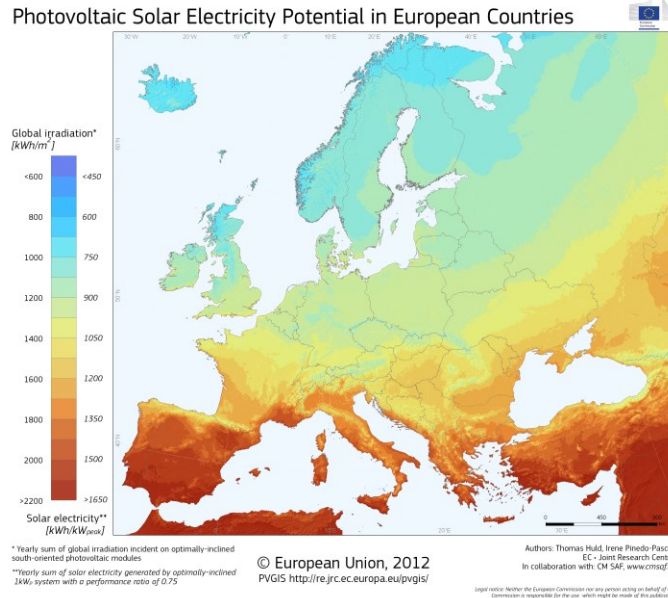
Ihmiset käyttävät aurinkoenergiaa passiivisesti ja aktiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen tarkoittaa auringon säteilyn käyttöä ilman siihen tarkoitettuja erityisiä teknisiä apuvälineitä. Esimerkkejä passiivisista menetelmistä aurinkoenergian hyödyntämiseksi rakentamisessa ovat rakennusten sijoittelu ja ikkuna-aukotuksen suunnittelu siten, että auringon lämpö- ja valoenergian käyttöä voidaan optimoida. (Erat, Erkkilä, Löfgren, Nyman, Peltola & Suokivi 2001 10–39, 65.)

Aktiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen puolestaan edellyttää teknisten laitteiden käyttöä. Tässä työssä käsitellään aurinkolämpökeräimiä, joilla auringon säteily voidaan hyödyntää lämmitykseen, sekä aurinkosähköjärjestelmiä, joilla auringon säteilyenergia muunnetaan sähköenergiaksi käyttöä varten.

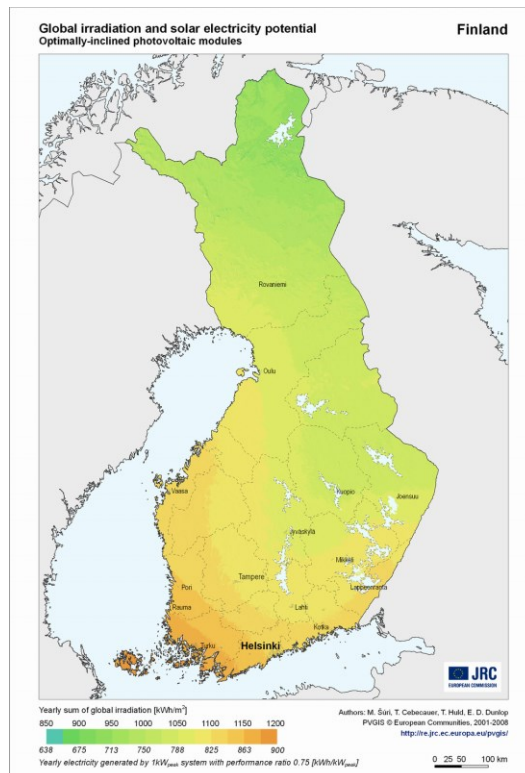
Aurinkosähköjärjestelmät, kuten aurinkopaneelit, hyödyntävät auringosta lähtöisin olevaa säteilyenergiaa sähkön tuottamisessa. Aurinko tuottaa energiaa fuusioreaktiossa, josta syntyy sähkömagneettista säteilyä. Tämä säteily koostuu sekä ultraviolettisäteilystä, näkyvästä valosta, että infrapunasäteilystä. Aurinkopaneeleissa sähkön tuottamiseen hyödynnetään pääosin näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksia. (Motiva 2022.)

Maan pinnalle tulee Suomen alueella aurinkoenergiaa vuosittain noin 800–1000 kWh/m². Kuviossa 1 on esitetty vuosittain Euroopan alueella maahan saapuva auringon säteilyn energiakertymä, sekä optimikulmaan ja suuntaukseen asennettujen aurinkosähköjärjestelmien teoreettinen sähköntuottopotentiaali. (PVGIS 2023) Kuviossa 2 on esitetty samat tiedot Suomen alueelta. Auringon säteilyn voimakkuus vaihtelee sijainnin, vuoden- ja vuorokaudenajan mukaan. Eniten säteilyä vuositasolla saadaan lähellä päiväntasaajaa, koska aurinko paistaa suurimman osan päivästä suoraan kohti maanpintaa. Mitä kohtisuorempaan aurinko paistaa, sitä lyhyemmän matkan säteily kulkee ilmakehässä ja näin pienempi osa siitä absorboituu ilmakehään. Samasta syystä auringon säteily on voimakkainta keskipäivällä missä tahansa sijainnissa maan päällä. (Šúri, Huld, Dunlop & Ossenbrink 2007, 1298.)

Säteily jaetaan kolmeen tyyppiin: suora säteily, joka tulee suoraan auringosta maanpinnalle, toiseksi on hajasäteily, joka koostuu muun muassa pilvistä heijastuvasta säteilystä ja kolmas, ilmakehän vastasäteily, muodostuu, kun maasta heijastunut säteily heijastuu takaisin maahan ilmakehän kautta. (Erat ym. 2001, 10–12; Motiva, 2022.)



Kuvio 1 Vuotuinen auringon säteilyenergiakertymä Euroopassa [kWh/m²] (PVGIS © European Union 2012)



Kuvio 2 Vuotuinen auringon säteilyenergiakertymä Suomessa [kWh/m²] (PVGIS © European Communities 2001–2008)

3 JÄRJESTELMÄT

3.1 Aurinkosähköjärjestelmät

Aurinkopaneeli on laite, joka muuntaa auringonvalon säteilyenergian sähköenergiaksi. Tämä prosessi perustuu aurinkokennoihin, jotka koostuvat puolijohdeista, yleensä piistä. (Erat ym. 2001, 132)

Aurinkopaneelin kennon toimintaperiaate on seuraava: Aurinkopaneelin pinta on peitetty valoherkillä kennoilla. Kun kenno vastaanottaa fotoneista (valohiukkasista, jotka ovat sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkasia) koostuvaa säteilyä, sen puolijohdekiteissä vapautuu elektroneja, joiden liike saa aikaan sähkövirran. Syntyvän sähkövirran jännitettä voidaan kasvattaa kytke-mällä useita aurinkokennoja sarjaan. Tämä sähkövirta ohjataan aurinkopaneelin johtimien avulla käyttöä varten. (Motiva 2022.)

Aurinkopaneelien kennoja voidaan valmistaa kolmella eri rakenteella:

- 1) yksikiteisestä piistä
- 2) monikiteisestä piistä
- 3) amorfisesta piistä

Yksikiteiset kennot tarjoavat parhaimman hyötysuhteen. Parhailla yksikiteisillä kennoilla voidaankin päästä jopa 24 % hyötysuhteeseen. Haittapuolena on vastaavasti kallis hinta. Tämä johtuu yksikidekennojen hitaasta ja virheherkästä valmistusprosessista, jossa piistä kasvatetaan tangon muotoinen kide, joka sitten höylätään n. 0,35–0,45 mm paksuisiksi kennoiksi. (Deambi 2015, luku 2; Erat ym. 2001, 132.)

Nykyisissä teollisuus- ja kotikäyttöön tarkoitetuissa aurinkopaneeleissa käytetään yleensä yksinkertaista, jäykkää paneelirakennetta. On myös saatavilla esimerkiksi joustavia ja taivutettavia paneeleita, joita kutsutaan myös ohutkalvopaneeleiksi (kuva 1). Ohutkalvopaneelit valmistetaan lisäämällä höyrystämälä hyvin ohuita kerroksia amorfista piitä edulliselle pohjamateriaalille, kuten ruostumattomalle teräkselle tai muoville, jotta aikaansaadaan taipuisa kokonaisuus. (Erat ym. 2001, 133.)



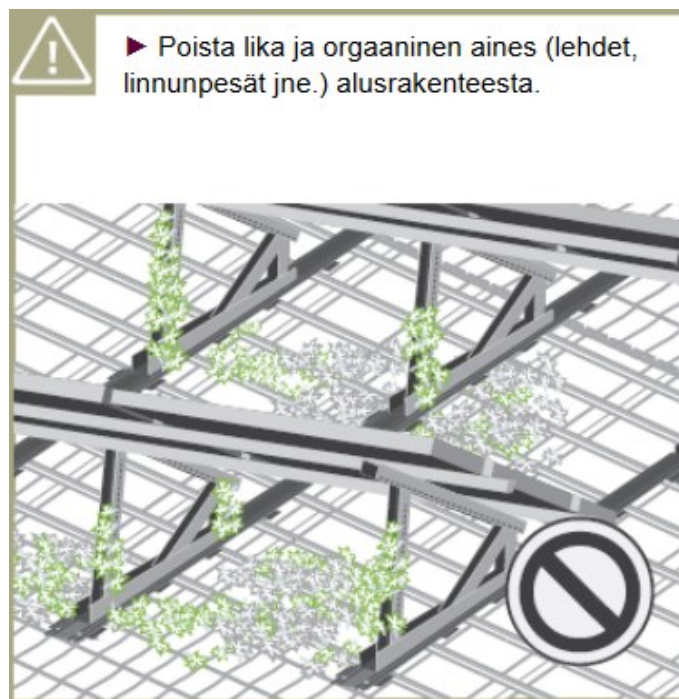
Kuva 1 Virte Aurinkokatto- järjestelmä, jossa saumattuun peltikattoon integroitu ohutkalvopaneeli (RT 38743, Virte Aurinkokatto™ Virte Aurinkoseinä™ Virte Solar Oy)

Tyypillisesti jäykkä aurinkopaneeli koostuu piikennosta, kennon taustasta, kehyksestä, lasista ja kytkentäkotelosta. Paneelien kehys pitää lasin, kennon ja taustan koossa. Kehyksen avulla paneelit voidaan myös kiinnittää erilaisiin asennustelineisiin tai alustoihin.

Monikidepaneeleista voidaan helposti tehdä sopivan kokoisia, sillä monikidekennot valmistetaan valamalla piitä kennon muotoon. Näin lähes koko paneelin pinta-ala on katettavissa kennoilla. Monesti jäykät integroidut aurinkopaneelit ovat monikidepaneeleja, sillä monikidepaneeli on kooltaan ja muodoltaan yksikidekennopaneelia joustavampi. Muutoin monikidepaneeelit ovat samanlaisia rakenteeltaan kuin yksikidepaneeelit. Monikiteisen aurinkopaneelin hyötysuhde on hieman alhaisempi, kuin yksikiteisen aurinkopaneelin. (Erat ym. 2001, 132; Motiva 2022)

Aurinkosähköjärjestelmien käyttö on pitkälle automatisoitua. Akkujen lataus ja purku, sähköverkkoon myynti ja omaa käyttöön ohjaus on usein tasapainotettu automaatiolla, jota loppukäyttäjän ei tarvitse säätää itsenäisesti. Jokapäiväistä huoltoa ja säätöä ei ole, mutta järjestelmän kunto olisi hyvä tarkistaa vähintään

vuosittain (Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje 2016). Tämä sisältää järjestelmän kiinnikeosien ja kytkentöjen kunnan ja toimivuuden tarkistamisen, sekä järjestelmän yleisen puhtauden varmistamisen. Paneeleja ja niiden tukirakenteita puhdistaessa tulee noudattaa valmistajan ohjeita ja seurata yleisiä työturvallisuustoimenpiteitä (kuvio 3). Lunta ja jäätä ei saa poistaa väkivalloin paneelien pinnasta. Yleisesti paneelien pinnan naarmuuntumista ja vaurioitumista tulee välttää. (Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje 2016; Motiva 2022)



Kuvio 3 Myös paneelien tukijärjestelmien kunnosta ja puhtaudesta tulee huolehtia säännöllisesti (QCELLS Oy 2016)

Julkisivuun integroitu järjestelmä

Jos aurinkopaneelit integroidaan rakennuksen julkisivuihin, ne voidaan suunnitella visuaalisesti sopivaksi osaksi rakennuksen arkkitehtuuria ja niillä voidaan korvata muita julkisivumateriaaleja, esimerkiksi parvekelasituksia (RT 103076 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät 2019; Keränen 2024) tai verhoavia julkisivujärjestelmiä. Aurinkopaneelit voivat myös toimia vaikkapa ikkunoiden tai tankkausasemien aurinkovarjoina. Tällöinkin tulee pyrkiä ratkaisuun, jossa paneelien tausta pääsee tuulettumaan asianmukaisesti. (Motiva 2023)

Järjestelmän muut osat

Itse paneelien lisäksi aurinkosähköjärjestelmässä muita osia ovat tasasähkö- (DC) ja vaihtosähkökaapeloinnit (AC), invertteri, erotuskytkimet, sähkökeskus, johon järjestelmä kytketään, ja kaksisuuntaiseen mittaukseen kykenevä sähkömittari.

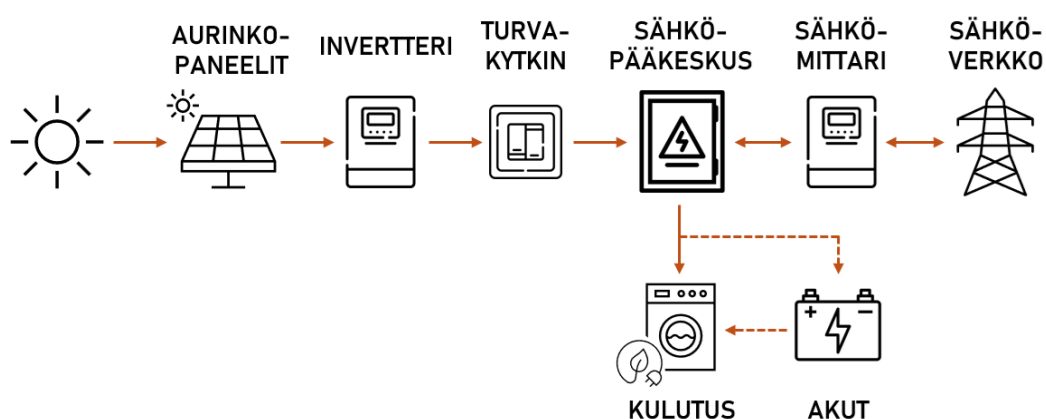
Invertteri

Sähkön käyttöä ennen tarvitaan tyypillisesti invertteri, sillä aurinkopaneelien tuottama sähkö on tasavirtaa (DC), kun taas kodin sähköjärjestelmät käyttävät vaihtovirtaa (AC). Invertteri eli vaihtosuuntaaja muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi. Aurinkopaneelit kytketään invertterin kautta kiinteistön sähköjärjestelmään (sähköpääkeskus), jotta paneelien tuottama sähkö voidaan syöttää kodin sähköverkkoon ja käyttää sähkölaitteissa, tai syöttää takaisin sähköverkkoon. (Motiva 2022.)

Kun aurinkosähköjärjestelmä liitetään sähköverkkoon, tai tarvitaan vaihtovirtaa omavaraiseen järjestelmään, invertteri mahdollistaa aurinkosähköjärjestelmän tuottaman tasavirran muuttamisen vaihtovirraksi. Pienissä aurinkosähköjärjestelmissä käytetään usein yhtä invertteriä. Vaihtoehtona on kullekin aurinkopaneelille erikseen asennettavat mikroinvertterit, jolloin jokainen paneeli toimii omana voimalanaan ja tuottaa sähköä täysin itsenäisesti (Mikroinvertterit ja aurinkopaneelit n.d.). Useiden mikroinverttereiden käyttö aurinkosähköjärjestelmässä tehostaa sähköntuotantoa tilanteissa, joissa osa aurinkopaneeleista on varjossa. Tavanomaista keskitettyä invertteriä käytettäessä sarjaan kytketyn järjestelmän tehontuotto vähenee, mikäli osa paneeleista altistuu varjostukselle. Mikroinverttereiden avulla varustetun järjestelmän etuna on myös se, että siihen on helpompi lisätä myöhemmin lisäpaneeleita. Pienemmissä aurinkosähköjärjestelmissä invertteri kytketään yleensä yhteen vaiheeseen. Yksivaiheinen invertteri tulisi kytkeä siihen vaiheeseen, jossa sähkönkulutus on suurinta. Suuremmissa aurinkosähköjärjestelmissä käytetään 3-vaiheista invertteriä, joka mahdollistaa sähköntuotannon kaikille vaiheille. (Motiva 2022.)

Tuotettua sähköä pystyy kohteesta ja järjestelmästä riippuen myös myymään sähköverkkoon muille käyttäjille (nk. on-grid-järjestelmä). Verkosta otettua ja sinne siirrettyä sähköä mitataan järjestelmään asennetulla energiamittarilla. (Ost 2023.)

Lisäksi kiinteistön aurinkosähköjärjestelmä on oltava erotettavissa sähköverkosta turvakytkimellä, johon verkkoyhtiöllä on oltava vapaa pääsy. Turvakytkin sijaitsee invertterin ja keskuksen välissä. Verkkoon liitettyyn järjestelmään kuuluu myös kiinteistön energiamittari, joka mittaa verkkoon syötettyä ja sieltä otettua tehoa (Motiva 2022). Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano on esitetty kuviossa 4.



Kuvio 4 Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän kokoonpano

Akut

Paneelien tuottamaa tasasähköä voi myös varastoida akkuihin kun tuotto on hetkellisesti suurempaa kuin kulutus ja taas käyttää akuista invertterin kautta, kun kulutus ylittää samanaikaisen tuoton. Ennen akkuja järjestelmään tulee lataussäädin, jonka tehtävä on estää akkujen syväpurkautuminen, yllilatautuminen ja sähkövirran vuotaminen takaisinpäin. (Erat ym. 2001, 137)

Akulliseen järjestelmään sisältyy lataussäädin, joka asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Säädin ohjaa aurinkopaneeleita tuottamaan sähköä mahdollisimman suurella hyötysuhteella ja valvoo, että akusto latautuu optimaalisesti, näin pidentäen myös akustojen käyttöikä. (Motiva 2022)

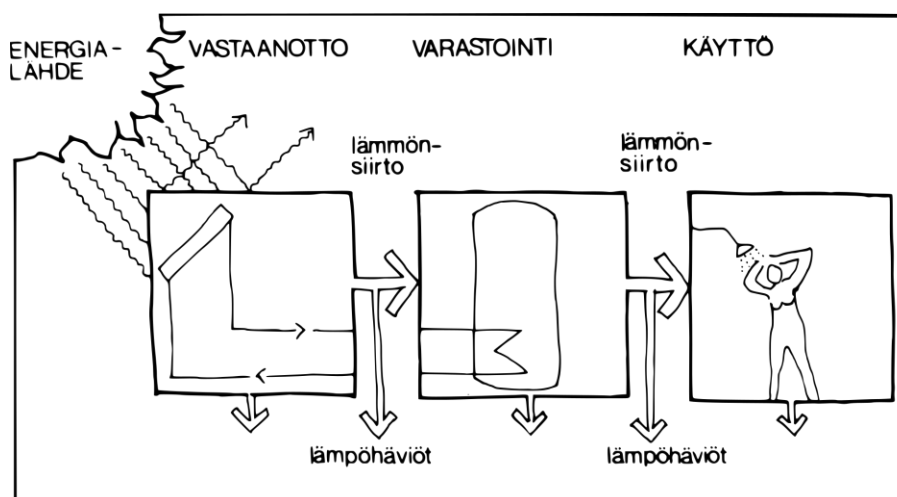
Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa valtaosassa asuinkohteita suunnitella siten, että se sopii täyttämään tuottajakiinteistön oman kulutuksen (Motiva 2022). Sähköntuotantokapasiteetin optimoinnin osa on suurien akustojen tarpeen välttäminen, sillä poikkeustapauksia lukuun ottamatta suurien akustojen hankintakulut syövät nopeasti aurinkopaneelien tavoitellun kustannussäästön. (Motiva 2022; Ost 2023)

Sekä on-grid, että off-grid-järjestelmissä, joita eivät ole liitetty sähköverkkoon, aurinkopaneelien tuottama sähkö voidaan varastoida akkuihin ennen käyttöä, mikäli sähköntuotanto ja -kulutus eivät ajoitu samalle ajanjaksolle. Näitä akkuja voidaan asennustavasta riippuen käyttää myös hätävarasähkönä. (Ost 2023)

Lawrence Berkeley National Laboratoryn vuonna 2022 tekemän tutkimuksen mukaan aurinkosähköjärjestelmä, joka on mitoitettu kattamaan tuottohuipussaan 100% energiantarpeesta riittää kattamaan olennaiset kotitalouden järjestelmät (sisältäen lämmitys) kolmeksi päiväksi, kun varastointikapasiteettia on 30 kWh (2-3 litiumioniakku). Tämä kuorma oli mitoitettu keskimääräisen yhdysvaltalaisen kotitalouden (pientalo) tarpeilla. Lisäksi tutkimus noteeraa, että etenkin pohjoisilla alueilla sähköntarpeen vaihteluväli on eteläosia suurempaa etenkin talvisin, jolloin energiantuotto on pienimmillään. Voidaankin todeta, että esimerkiksi kerrostalon energiantarpeen kattamiseen tarvittaisiin valtava määrä akkuja, ja esimerkiksi Motiva suosittaakin mitoittamaan järjestelmän täyttämään oman tarpeen kesäaikaan.

3.2 Aurinkolämpöjärjestelmät

Yleisellä tasolla kaikkien aurinkolämpöjärjestelmien toimintaperiaate on sama: ne keräävät auringon säteilyenergian ja muuttavat sen välittäjäaineen lämpöenergiaksi. Yksinkertaisimmillaan tämän järjestelmän voisi kuvata tummana paneelina, jossa kiertävä neste lämpiää paneelin lämmitessä, jonka jälkeen lämmennyt neste käytetään esimerkiksi kiinteistön lämmittämiseen (kuva 6).



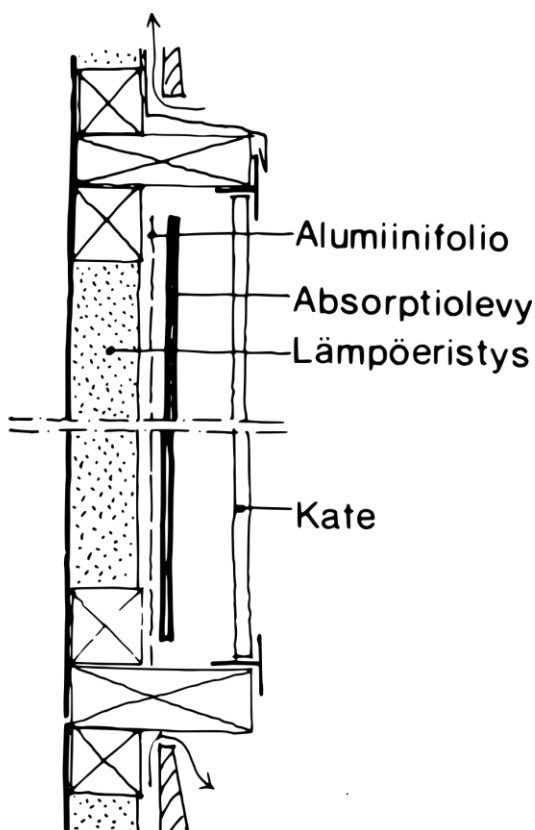
Kuvio 5 Aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate (Erat ym. 2001, 72)

Aurinkokeräimiä on karkeasti jaotellen kaksi tyyppiä:

- 1) Keskittämättömät keräimet, kuten nestekiertoiset taso keräimet: auringon säteily otetaan vastaan välittömästi ilman erillistä keskitystä (Erat ym. 2001, 72). Pohjoismaissa lähes kaikki uudet keräinasennukset toteutetaan tasokeräimillä (Motiva 2020).
- 2) Keskittävät keräimet: auringon säteily keskitetään absorboitavaksi viivamaiselle tai pistemäiselle alueelle. Keskittäviä keräimiä käytetään lämpimämmillä alueilla teollisuuskohteissa (Motiva 2020).

Tasokeräimissä säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla. Tumma pinta absorboi siihen osuvasta säteilystä suurimman osan (Paminto, Fianti & Yulianti, 2021, 28). Tumma pinta absorboi auringon säteilyn ja lämpenee, lämmittäen kennossa kiertävää nestettä tai ilmaa. Lämmön siirto tapahtuu useimmiten jonkin lämmönsiirtonesteen avulla. Aurinkolämpöpuhaltimissa taasen lämpöä siirretään kierrättämällä ilmaa. Jonkinlainen lämpövarasto on aurinkolämpöjärjestelmissä lähes aina tarpeen, koska auringonsäteilyn määrä vaihtelee paljon, eikä kulutus useinkaan ole suurimmillaan säteilyhuippujen aikana. (Motiva, 2020.)

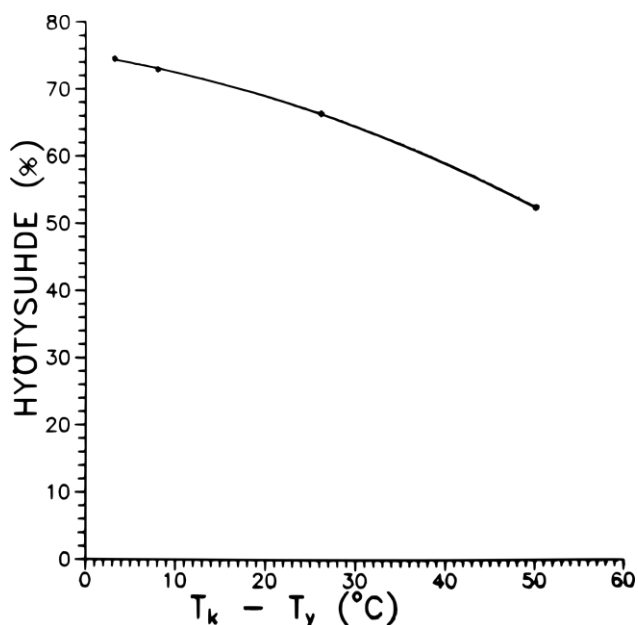
Aurinkokeräimet jakaantuvat ilmakiertoisiin ja nestekiertoisiin järjestelmiin, jotka jakautuvat vielä omiin alatyyppeihinsä. Nestekiertoiset järjestelmät jakautuvat tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin, ilmakiertoisen jaetaan katetyypin mukaan kattamattomiin ja katteellisiin järjestelmiin. (Motiva 2020.) Kuviossa 6 on esitetty aurinkokeräin integroituna rakennusjulkisivuun katelevyn alla.



Kuvio 6 Aurinkolämpöjärjestelmän integrointi julkisivuun (Erat ym. 2001, 79)

Aurinkokeräinten hyötysuhde voidaan kuvata niin sanotulla hyötysuhdekäyrällä. Tässä käyrässä oletuksena on, että aurinko paistaa keräimeen optimaalisessa 90° kulmassa, eikä pintaan vaikuta tuulta. Kuten kuviosta 7 voidaan havaita, laskee hyötysuhde merkittävästi keräimen keskilämpötilan ja ulkolämpötilan eron kasvaessa. (Erat ym. 2001, 80) Tästä voidaan tehdä päätelmä, että aurinkolämpökeräimien hyötysuhde on pienimmillään silloin, kun lämmityksen tarve on suurin- kun ulkona on kylmä.

Aurinkolämpöjärjestelmä soveltuu osaksi muuta lämmitysjärjestelmää niin sanottuna hybridijärjestelmänä, jolloin aurinkolämmöllä korvataan osa ostoenergiasta. Aurinkolämpökeräimillä lämmitetään tavallisimmin käyttövettä, mutta aurinkolämpö voidaan liittää myös vesikiertosiin lämmitysjärjestelmiin ja vähentää näin lämmitykseen muuten käytettävän polttoaineen kulutusta. Aurinkolämpöjärjestelmä on mahdollista liittää myös kaukolämpöverkkoon. (Pekkala, 2018.)

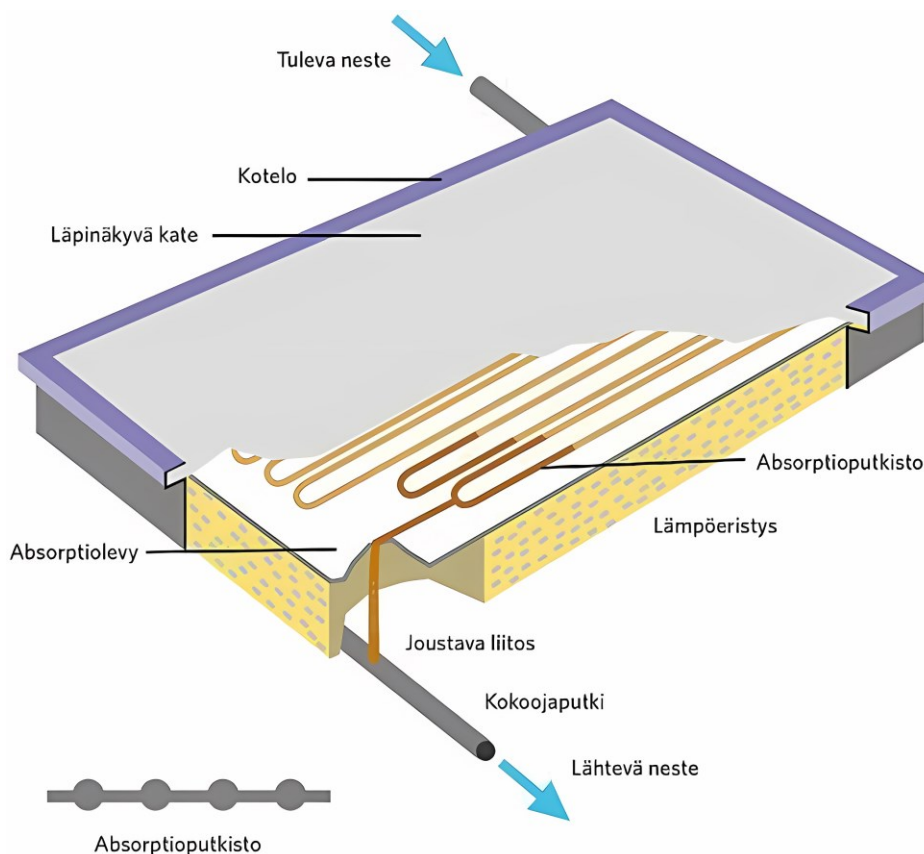


Kuvio 7 Aurinkolämpökeräimen hyötysuhde keräimen ja ulkoilman lämpötilaneron suhteen (Erat ym. 2001, 80)

Nestekiertoiset keräimet

Nestekiertoinen keräin muuntaa auringon säteilyn keräimen sisällä kulkevan nesteen lämpöenergiaksi. Lämmön välittäjäaineena toimiva neste kuljettaa lämpöenergian joko suoraan käyttökohteeseen, tai lämpövaraajaan. Varaajasta lämpöenergiaa voidaan käyttää käyttö- tai kiertoveden lämmittämiseen ja näin myös tilojen lämmitykseen. Aurinkolämpöjärjestelmä soveltuu erinomaisesti yhdistettäväksi nestekiertoiseen lattialämmitykseen, koska lattialämmityksessä käytetään matalampia lämpötiloja kuin lämpöpattereissa. (Motiva 2020.)

Nestekiertoiset järjestelmät jakautuvat tasokeräimiin ja tyhjiöputkikeräimiin (Motiva 2020). Tasokeräimessä säteilyä kerätään lämmöksi tumman keräinelementin avulla- elementin tumma pinta absorboi säteilyä ja kuumenee. Elementit ovat yleensä metallirakenteisia, mutta myös lämpöä kestäviä muoveja käytetään. Tumman elementin lämpöenergia siirtyy elementissä kiertävään nesteeseen (kuva 9). Vaikka vedellä on muita nesteitä paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet, sitä voidaan käyttää ainoana nesteenä vain sellaisissa järjestelmissä, joissa ei ole jäätymisvaaraa, kuten uima-altaissa ja kesämökkisovelluksissa (Erat ym. 75). Tämän takia koko järjestelmä täytyykin tyhjentää talvikaudeksi, jos ei käytetä jäätyminenestolisäaineita, kuten propyleeniglykolia. Suomessa ympärivuotisessa käytössä olevissa järjestelmissä käytetäänkin jäänestoaineita jäätymisen ja järjestelmän vaurioitumisen estämiseksi. (Motiva 2020.)



Kuvio 8 Nestekiertoisen tasokeräimen rakenne (Motiva 2020)

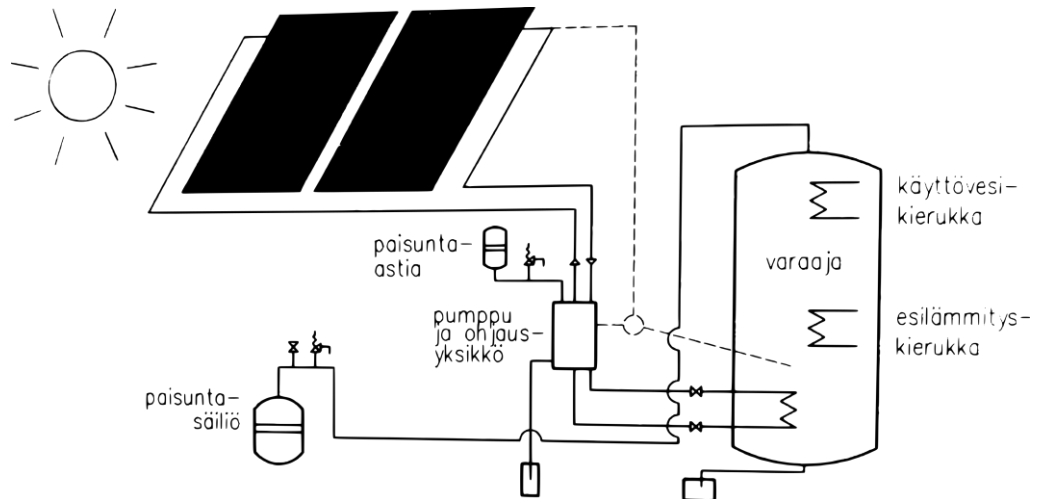
Nestekiertoisissa aurinkokeräimissä pyritään yleensä pieneen nestetilavuuteen -alle 1 l/m^2 , virtausnopeuden ollessa $30\text{--}60 \text{ l/m}^2/\text{h}$. Uudenaikaisissa järjestelmissä on tyypillisesti automatisoitu säädin, joka pystyy säätämään pumpun kierrosnopeuksia. Tällöin virtausnopeudet keräimissä voivat vaihdella hetkittäin parhaimman lämmöntuoton saavuttamiseksi. (Motiva 2020)

Ilmakeräimet

Ilmakeräin käyttää nimensä mukaisesti lämmön välittäjäaineena ilmaa. Koska ilman lämmönvastaanottokyky ja -siirtokyky ovat huonommat kuin nesteen, hyvin toimivia laitteita saadaan rakentamalla absorptioelementtejä, joissa on suuri lämmönsiirtopinta. (Motiva 2020)

Järjestelmän muut osat

Aurinkolämpöjärjestelmään kuuluu keräinelementtien lisäksi pumppuyksikkö, ohjauksyksikkö, varaaja, lämmönsiirrin, putkisto, sekä varolaitteet (kuvio 9). Nämä löytyvät kaikista aurinkolämpöjärjestelmistä muodossa, tai toisessa riippumatta siitä, millainen on päälämmönlähde ja keräin. (Motiva 2020)



Kuvio 9 Aurinkolämpökeräinjärjestelmän osat (Erat ym. 2001, 94)

Pumppuyksikkö

Pumppuyksikkö kierrättää lämmönsiirtoainetta keräimien ja varaajan lämmönsiirtimen välillä. Tehdasvalmisteisissa yksiköissä on valmiiksi asennettuna myös tarvittavat varoventtiilit, takaiskuventtiilit, lämpö- ja painemittarit sekä täyttöyhteet. Takaiskuventtiili estää varaajan jäähtymisen ja ennen varaajaa operoiva ohjausyksikkö ohjaa keräinpiirin pumppua. Ohjausyksikkö seuraa jatkuvasti järjestelmän lämpötiloja ainakin kahden anturin avulla: yksi anturi keräimissä ja toinen anturi varaajassa. Se estää myös varaajan ylikuumentumisen pysäyttämällä tarvittaessa kiertopumpun, jos lämpötila nousee liian korkeaksi. Lisäksi ohjausyksikössä voi olla erilaisia hälytys- ja laskuritoimintoja. (Motiva 2020)

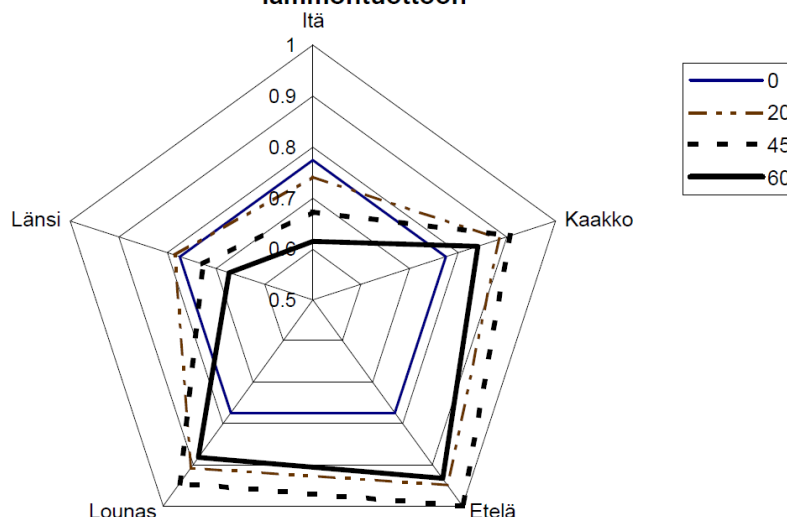
Putkisto ja paisunta-astia

Keräimien ja varaajan välinen putkisto on yleensä kuparia tai ruostumatonta terästä, sillä muoviputket eivät kestä tarvittavan korkeita lämpötiloja. Putkisto eristetään korkeita lämpötiloja kestäväällä materiaalilla, useimmiten mineraalivillalla tai lämpöä kestäväällä solumuovilla. Yksi putkiston kriittinen osa on paisunta-astia. Paisunta-astian valinnassa täytyy ottaa huomioon järjestelmässä vallitseva maksimipaine, joka määräytyy järjestelmän varaajan rakennepaineen edellyttämän varoventtiilin avautumispaineen perusteella useimmiten 2–6 bar. Paisunta-astian tulee myös kestää järjestelmän ylikuumentumistilanteessa mahdolliset lämpötilat. Astian tilavuus valitaan samoin kriteerein kuin patteriverkossa, mutta sen lisäksi on varauduttava koko keräintilavuuden täyttymiseen höyryllä. (Motiva 2020; Erat ym. 2001, 95)

4 JÄRJESTELMÄN SIOITTELU

Aurinkoenergiajärjestelmän keräinelementit pyritään asettelemaan joko rakennusten katoille, julkisivuille tai maahan niin, että ne keräävät mahdollisimman paljon suoraa auringon säteilyä. Suoran säteilyn saanti ja siten sähkön- tai lämmöntuotannon maksimointi saavutetaan asentamalla paneelit rakennuksen eteläsivulle, joko suoraan katto- tai julkisivupinnalle, tai erilliselle asennustelineelle. Kuitenkin myös kaakkoon tai lounaaseen suuntautuvat pinnat voivat tuottaa hyviä tuloksia (kuvio 10).

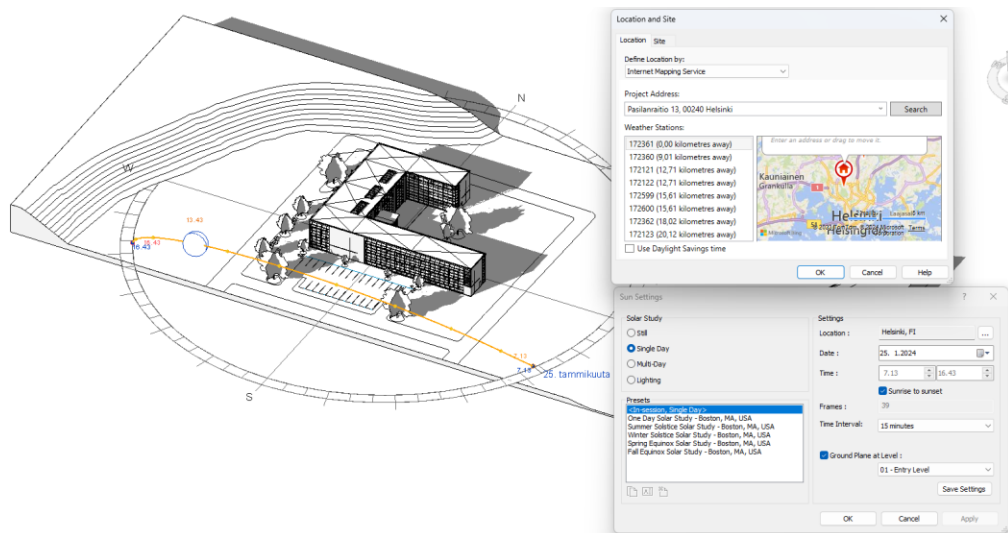
Aurinkokeräimen suuntauksen ja kallistuksen vaikutus sen lämmöntuottoon



Kuvio 10 Aurinkokeräimen suuntauksen ja kallistuksen vaikutus karkeasti esitettynä, eri viivatyytit merkitsevät kallistuskulmia ja säteet tuottoa suhteessa etelään suunnattuun paneeliin (Faninger-Lund, H. & Lund, P. 2000)

Paneelien sijoittelussa on myös tärkeää varmistaa, ettei niille osu varjostuksia ympäröivistä rakennuksista, puista tai muista rakenteista, kuten katoilla olevista ilmanvaihtokonehuoneista (Erat ym. 2001, 154–155; Motiva 2022). Koska aurinkovoimalat ovat useiden vuosikymmenien investointeja, voi olla hyödyllistä varmistaa alueen kaavoituksesta, onko ympärille suunniteltu tulevaisuudessa rakennettavan korkeita rakennuksia, jotka voisivat aiheuttaa varjostuksia. EU-komissio on kerännyt tietokannan auringon paistekulmista ja aurinkosähkön tuotantopotentiaalista, nimeltä PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System, Aurinkosähköinen maantieteellinen tietojärjestelmä). Rakennusten ja ympäristöjen varjostuksien analysointiin on saatavissa myös useita erilaisia tie-

tokoneohjelmia, joilla voidaan jopa animoida päivien aikana tapahtuvaa auringon liikettä ja sen myötä liikkuvia varjostuksia (pvresources.com 2018). Esimerkiksi Revit-ohjelmalla voi mallintaa varjostuksia 3D-ympäristössä (Liite 1, casekohteet). Nykyisin Revit-ohjelmassa on sisäänrakennettu auringon liikkeen tietokanta, jonka avulla on yksinkertaista toteuttaa 3D-malliin varjostusanalyysi. (Autodesk n.d.; kuvio 11) Lisäksi on verkkosivustoja, joiden avulla voi arvioida kattopintojen aurinkoenergian tuotantopotentiaalia satelliittikuvien perusteella (kuvio 12).



Kuvio 11 Revit-ohjelmassa mallirakennuksen varjostusanalyysiä, rakennuksen sijainti ja käytetyt muuttujat näkyvissä

KODIT YRITYKSET TALOYHTIÖT TIETOA MEISTÄ SV EN **Kirjautu**

Sähkö Lämmitys **Aurinkopaneelit** Sähköauton lataus Asiakaspalvelu Ajankohtaista Q Hae

Etuusiva > Aurinkopaneelit > Aurinkopaneelit kotiin > Aurinkolaskuri

Aurinkolaskuri

3 kohdetta valittu

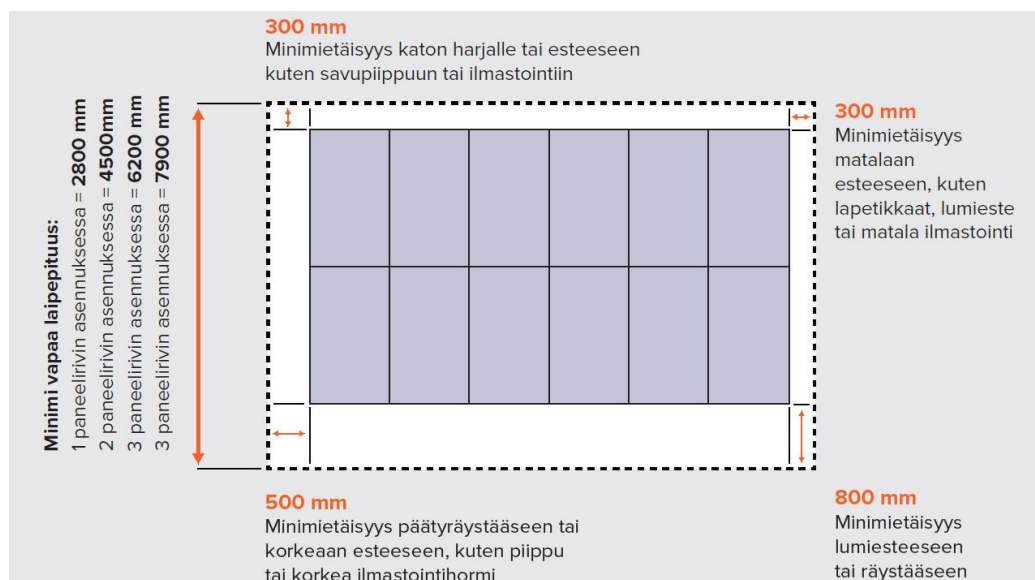
Pinta-ala: 1208 m²
 Tuotantoon soveltuva ala: 563 m²
 Alalla tuottamasi aurinkosähkön määrä: 88111 kWh / vuosi

[Tulsiennä valinnat](#)

Kuvio 12 Helen Oy:n Aurinkolaskuri, joka käyttää Google Mapsin satelliittikuvaa aurinkosähkön tuotantopotentiaalin arvioimiseen (Helen Oy 2023)

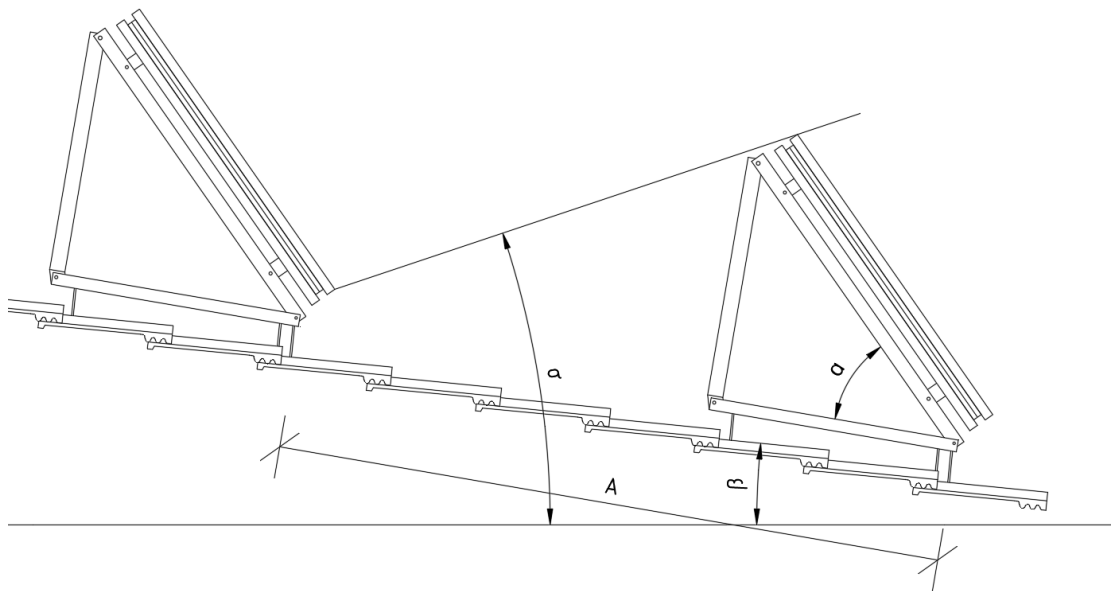
Aurinkopaneelien tausta tulisi jättää tuulettuvaksi jättämällä vapaa ilmarako paneelien ja niiden takana olevien rakenteiden väliin. Tuulettamaton rakenne nostaa paneelien lämpötilaa, mikä johtaa varsinkin kiteisen piin paneelien hyötysuhteen selvään laskuun. Kevään ja kesän parhaimpina tuotantoaikoina paneelien lämpötila nousee ilman taustan tuuletusta kymmeniä asteita ympäristön lämpötilan yläpuolelle, mikä vähentää tuotantoa tuntuvasti. Ohutkalvopaneelilla ongelma ei ole yhtä suuri, sillä niiden hyötysuhde ei ole samalla tavalla sidoksissa ympäröivän ilman lämpötilaan kuin kiteisen piin paneelien. (Motiva 2023.)

Paneelien sijoittelussa tulee huomioida myös ympäröivät rakennusosat. Kuvassa 14 on havainnoituina Finnwind Oy:n kokoamia turvaetäisyyksimittoja paneelientäälle. Säännöksin turvaetäisyyksiä esimerkiksi räystäisiin ei ole rajattu, joten risteäviä mittoja esiintyy suomenkielisessäkin lähdemateriaalissa. Esimerkiksi RT-kortissa RT 103076 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät sanotaan, että ”vanhan rakennuksen” vesikatolla tulisi jättää aurinkopaneelien ja harjan välille 100 mm etäisyys, sekä paneelien ja räystään välille 1500 mm etäisyys. Helen Oy:n ” Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus” ohjeistaa 2,0 m etäisyyttä katon reunoilta putoamissuojauksen takia, sekä palomureista paloturvallisuussyistä. Tämän lisäksi huoltokäytävistä on kirjoitettu seuraavasti: ”Aurinkovoimalan yhtenäisen paneelientäen suositeltu maksimikoko on 20.0 m x 20.0 m ja sen jälkeen vähintään 1.6 m huoltokäytävä”.



Kuvio 13 Aurinkopaneelientäen suojaetäisyyksiä ympäröiviin rakenteisiin (Finnwind Oy 2019)

Kattopinnoilla tulisi välttää paneelien asennusta liian lähelle varjostusta ja lumen kinostumista aiheuttavia rakenteita, kuten IV-konehuoneita, seiniä ja lumiesteitä. Varsinkin korkeampien esteiden, kuten IV-konehuoneen seinien vierustalle on hyvä tehdä tarkastelut lumen kinostumisen varalle. Lumikuormiin palataan tämän opinnäytetyön luvussa 5.1. Lisäksi paneelivalmistajilla ja asennusyriyksillä on omia ohjeitansa asennusetäisyyksistä. Kuitenkaan kaikki tilanteet kattavaa kansallista ohjetta ei ole. (Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje 2016; Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus n.d.; Sorsa, 2018) Tasakattoasennuksissa tulee myös kiinnittää huomiota paneelirivien välisiin etäisyyksiin, jotta paneelit eivät varjosta toisiaan. Kuvassa 15 ja taulukossa 1 on esitetty paneelirivien välisiä optimaaliset rivivälit eri katto- ja paneelikulmille avulla. Laskennassa on käytetty paneelin korkeutena 1000 mm. Tulos on pyöristetty yhden desimaalin tarkkuudelle.



Kuvio 14 Aurinkopaneelirivien välinen etäisyys, muuttujat

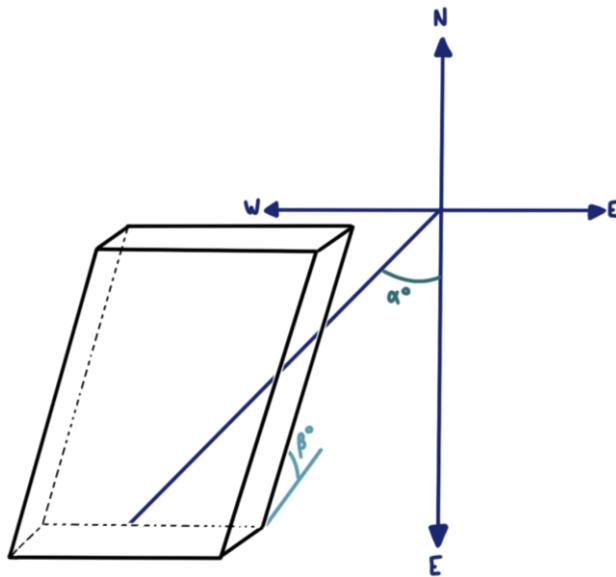
Taulukko 1 Aurinkopaneelirivien etäisyydet varjostuskulman σ , asennuskulman α ja kattokulman β suhteen

Katto- kulma β°	Asennuskulma suhteessa katto- pintaan α°	Varjostus- kulma σ°	Paneelirivin etäisyys A [m]
0.75	20	20	1.84
		30	1.00
		40	1.00
	45	20	2.65
		30	1.00
		40	1.00
	60	20	2.88
		30	1.00
		40	1.00
20	20	20	1.35
		30	1.00
		40	1.00
	45	20	2.65
		30	1.00
		40	1.00
	60	20	2.88
		30	1.00
		40	1.00
45	20	20	1.10
		30	1.00
		40	1.00
	45	20	2.65
		30	1.00
		40	1.00
	60	20	2.88
		30	1.00
		40	1.00

Aurinkosähköjärjestelmien asennuksen ja sijoittelun suunnittelussa on huomioitava myös katon tai muun asennuspinnan kantokyky. Etenkin jälkiasennuksissa tulee varmistua kantavan rakenteen kestävydestä. Aurinkopaneelien paino vaihtelee paneelityypin ja valmistajan mukaan, jonka lisäksi paneelit voivat tarvita vastapainoja ja suurempia asennustelineitä, jotka voivat lisätä järjestelmän painoa merkittävästi. Tästä syystä on usein tarpeen konsultoida rakennesuunnittelijaa, kun suurempaa aurinkovoimalaprojektia ryhdytään suunnittelemaan.

Suuntaus

Paneelien suuntaukseen liittyy kaksi eri kulmaa, joita on havainnollistettu kuviossa 15: kallistuskulma, eli paneelin kulma suhteessa horisonttiin, ja suuntakulma, eli paneelin katsontasuunnan poikkeama etelästä. Suuntakulmaan viitataan sekä suomalaisessa, että ulkomaalaisessa kirjallisuudessa usein termillä azimuth. Kallistuskulma on nolla, kun paneelin pinta on vaakatasossa maanpintaan nähden ja 90° kun pinta on kohtisuorassa horisonttiin nähden. Tulokulma on auringon ja laitteen välinen kulma. Aurinkopaneelin sähköntuotto on parhaimmillaan, kun tämä on 90° , jolloin säteily osuu kohtisuoraan paneelin pintaan. Paneelin suunta- ja kallistuskulma pyritään optimoimaan siten, että paneeli katsoisi mahdollisimman tarkasti aurinkoon keskipäivällä. (Erat ym. 2001, 13-14, 154-155; Motiva 2022.)



Kuvio 15 Aurinkopaneelin suuntaus: suuntakulma (azimuth) α , kallistuskulma β

Aurinkopaneelin tai -keräimen optimikallistuskulma Suomessa on 35–45 astetta. Vuosituotanto pienenee hitaasti optimikulmasta poikettaessa. Kulmat 30° ja 60° tuottavat lähes yhtä paljon sähköä vuodessa kuin optimikulma. (Motiva 2023)

On olemassa myös seurantajärjestelmiä, jotka mahdollistavat paneelien kääntymisen aurinkoa kohden. Nämä laitteet jakaantuvat yksi- ja kaksiakselisiin järjestelmiin. Yksiakselinen järjestelmä seuraa aurinkoa nimensä mukaisesti kiertymällä yhden akselin ympäri. Yksiakseliset järjestelmät voidaan luokitella yhä edelleen vertikaaliakselisiin, horisontaaliakselisiin ja kalteva-akselisiin järjestelmiin. (Motiva 2022; Erat ym. 2001, 16–17) Kaksiakseliset järjestelmät pystyvät seuraamaan aurinkoa niin, että aurinkopaneelit ovat jatkuvasti optimaalisessa kulmassa auringon sijainnista riippumatta. Kaksiakselisessä järjestelmässä on kaksi moottoria ja se pystyy kiertymään kahden akselin ympäri. Näin saadaan täysi hyöty aurinkopaneeleista, mutta aurinkoseuraimien moottorien ja mekanismien kustannukset voivat muodostua järjestelmän suurimmaksi kustannuseräksi. Seurantajärjestelmä kasvattaaakin merkittävästi järjestelmän investointikustannuksia ja siitä aiheutuu myös lisää jatkuvia huolto- ja ylläpitokuluja. (Motiva 2022; Deambi 2015, 45; Erat ym. 2001, 16–17)

5 KUORMITUKSET

Aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa on otettava huomioon voimalan aiheuttamat lisäkuormat, oli sitten kyseessä jälkiasennus- tai uudisrakennuskohde, jossa kantava rakenne voidaan suunnitella kestävämpään suurempaan kuormaan. Voimalat itsessään eivät usein ole kovinkaan raskaita. Esimerkiksi QCELLS-aurinkosähköpaneelien asennusohjeessa ilmoitetaan 1,67 neliön kokoisen paneelin painoksi 18,8 kg, eli n. 11,3 kg/m². Vertailun vuoksi tyypilliset suunnittelulomikuormat manner-Suomen alueella korkeimmillaan 3,5 kN/m², vastaten noin 380 kg/m² painolastia. Eri toimijat ohjeistavat eri tavoin aurinkopaneelien tai -keräinten kanssa käytettävistä suunnittelukuormista. Esimerkiksi Helen Oy:n ”Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus” kehottaa huomioimaan katon kantavuudessa keskimääräinen 25,0 kg/m² (0,245 kN/m²) tuuli- ja lumikuorman lisäksi.

Kuitenkin aurinkopaneelien kiinnitys saa aikaan pistemäisiä kuormia paneelien kiinnityspisteissä, eikä kuorma jakaudu täysin tasaisesti paneelien alalle. Lisäksi paneelit voivat aiheuttaa välillisesti lisäkuormia rakenteille, muun muassa aiheuttamalla lisääntyntä lumen kertymistä katoille, tai aiheuttamalla muutoksia katon tuulikuormiin. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan näiden kuormitusten määrittämistä laskennallisesti eurokoodistandardien mukaisesti, sekä paneelien palo-ominaisuuksista aiheutuvia kuormituksia. Paneelien tukirakenteiden painoihin palataan myöhemmin kappaleessa 6.

5.1 Lumikuorma

Lumikuorman vaikutus paneeliasennuksien suunnittelussa riippuu hyvin paljon sijainnista kattopinnalla, sekä paneelien asennosta. Katon suuntaisesti asentaessa, kuten usein menetellään jyrkillä kattopinnoilla, tulee varmistua lähinnä paneelien ja niiden kiinnikkeiden tai alusrakenteiden kestävydestä. Kuitenkin johtuen tyypillisimmästä paneelien rakenteesta, (lasipinta, tumma väri) paneelit eivät jyrkästi asennettuna kerää suuria lumipatjoja päällensä, eikä näin itse paneeli altistu tyypillisesti suurille kuormille.

Tasakatolle kulmaan asennettaessa laskennassa joudutaan ottamaan huomioon myös paneelien asennon ero kattopinnan kulmaan nähden. Kulmaan asennuksen seurauksena paneelien taakse voi mahdollisesti kinostua lunta, joka tukkii paneelin takapuolen tuuletusta ja rasittaa kiinnikkeitä ja katon kantavaa rakennetta. Kuvassa 2 on pieni kulmaan asennettujen paneelien kenttä, jossa voi havaita lumen kertymistä paneelirivien väleihin.



Kuva 2 Pieni aurinkopaneelikenttä, johon kertynyt paikoin tasaista kattopintaa enemmän lunta (Paula Alanko)

5.1.1 Lumikuorman määräytyminen

Lumikuormien laskentaan annetaan ohjeita standardissa SFS-EN 1991-1-3. Maan pinnalla olevan lumikuorman suurimmaksi ominaisarvoksi s_k Suomen alueella antaa Ympäristöministeriön asetus lumikuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-3 6/16 $3,5 \text{ kN/m}^2$. Tämä lumisin alue sijoittuu Kainuuseen, ja lumikuorman ominaisarvot on esitetty

Suomen alueella kuviossa 16. Lumen kinostumista korkeampaa rakennusosaa vasten käsitellään kansallisen liitteen kohdassa kuusi. Aurinkopaneelien kannalta vaarallisen suuria lumikuormia voi kansallisen liitteen mukaan kertyä 2–6 metrin etäisyydelle korkeamman rakennososan vierelle, esimerkiksi IV-konehuoneiden tai muiden esteiden vierelle. Myös aurinkopaneelit ja -keräimet itse aiheuttavat lumen kinostumista, varsinkin telineille kulmaan asennettuna (Kilkki 2018). Aurinkopaneelien aiheuttama lumen kinostuminen on otettava huomioon laskettaessa käytettävien lisäpainojen määrää, sekä arvioitaessa mahdollisesti rakenteille syntyviä lisäkuormia.

Tässä opinnäytetyössä ei käsitellä joitakin lumikuormien erikoistapauksia, kuten kaarevia rakennuksia, todella suuria rakennuksia (lyhyempi sivu > 50 metriä), eikä silta- tai mastorakenteita. Laskenta on esitetty Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n julkaisun RIL 201-1-2017: Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat, sekä standardin SFS-EN 1991-1-3 ja siihen liittyvien kansallisten liitteiden ja asetusten mukaisesti.

Katolle tuleva lumikuorma määritetään normaaleissa mitoitustilanteissa

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (1)$$

jossa

s = katon lumikuorma [kN/m²]

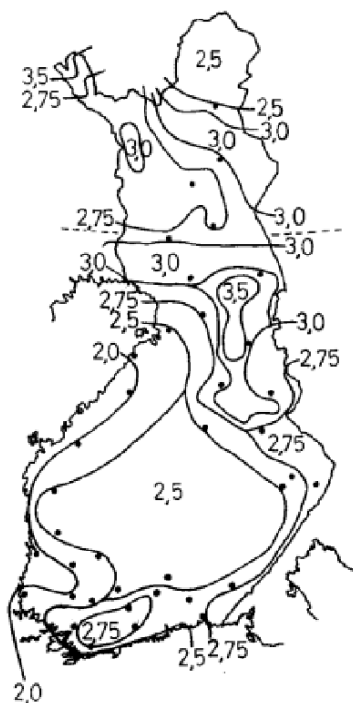
s_k = maassa olevan lumikuorman ominaisarvo [kN/m²]. Sijainnista riippuva lumikuorma (kuva 18)

μ_i = lumikuorman muotokerroin, muotokertoimet η_1 / η_2 esitetty kuviossa 16. Esitetyt arvot ovat voimassa, kun lumen liukumista ei ole estetty.

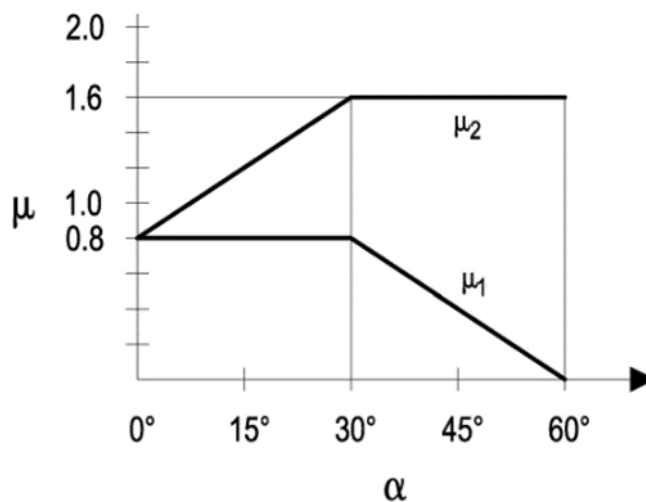
C_e = tuulensuojaisuuskerroin, jonka avulla määritellään lämmittämättömän rakennuksen katon kuorman vähennys. Lämmitetyissä rakennuksissa 1.

C_t = lämpökerroin, jonka avulla määritellään katon lumikuorman vähennys katon läpi kulkevan katon sulamista aiheuttavan lämpövuon funktiona.

Katon ominaislumikuorman määrittämiseen tarvitaan maanpinnan lumikuorman ominaisarvoa s_k . Se on maassa oleva lumikuorma, joka ylittyy keskimäärin keran 50 vuodessa. Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo saadaan kuviosta 17.



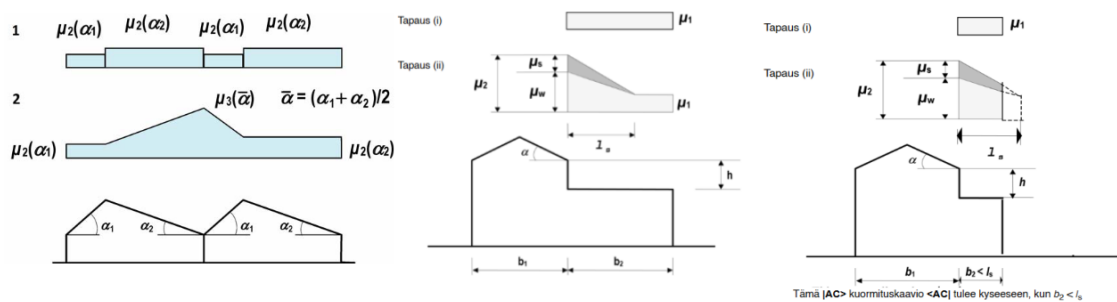
Kuvio 16 Maanpinnan lumikuorman ominaisarvot s_k [kN/m²] (Ympäristöministeriön asetus lumikuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-3 6/16)



Kuvio 17 Lumikuorman muotokertoimet, α = katon kaltevuuskulma vaakatasoon nähden (SFS-EN 1991-1-3 2015)

5.1.2 Kinostuma-alueet

Muotokerrointa μ_1 käytetään kinostumattomalle lumelle ja muotokerrointa μ_2 kinostuneelle lumelle (kuvio 18). Muotokertoimen arvo perustuu siihen oletukseen, että mitä jyrkempi kattokaltevuus, sitä vähemmän katolle jää lunta. Erityistä huomiota on tarpeen kiinnittää silloin, kun katto on muodoltaan sellainen, että se voi johtaa lumikuorman merkittävään lisäykseen. Jos katolla on lumieste tai muu liukumiseste, esimerkiksi alaräystäällä kaide, lumikuorma muotokertoimelle käytetään vähintään arvoa 0,8.



Kuvio 18 Eurokoodi 1 mukaiset kinostuma-alueet (SFS-EN 1991-1-3 2015)

Kuvassa on myös esitetty kaksi tilannetta, jossa korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevalle kattotasolle pääsee kinostumaan lunta. Tämän laskennassa käytetään muotokertoimelle μ_2 :

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w \quad (2)$$

jossa

μ_s = ylempältä katolta liukuvan lumen aiheuttama lumikuorman muotokerroin

μ_w = tuulesta johtuvan lumikuorman muotokerroin

Kuvassa 20 näkyvä kinostumispituus l_s määräytyy kattojen tasoeron h kautta seuraavasti

$$l_s = 2h \quad (3)$$

, kuitenkin $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$

Kuvan 20 alemman katon räystäällä oleva kerroin määritetään lineaarisesti interpoloimalla.

Putoavan lumen aiheuttama muotokerroin

Kun $\alpha \leq 15^\circ$, $\mu = 0$

Kun $\alpha > 15^\circ$ μ_s määritetään lisäkuormasta, joka on 50 % ylemmän katon vierisen lappeen lasketusta maksimilumikuormasta, jos katolla ei ole liukuesteit.

Tuulesta johtuva kinostuvan lumikuorman muotokerroin μ_w määritetään

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} < \frac{\gamma h}{s_k} \quad (4)$$

jossa

h = ylemmän katon kaltevuus [°]

b_1 ja b_2 = rakennuksen osien pituus [m] (kuva)

γ = lumen tilavuuspaino, tyypillisen käytetään arvoa 2 kN/m³

Kaavassa esiintyvä reunaehto rajaa pois sen vaihtoehdon, että tuuli kinostaisi lunta korkeamman osan seinustalle yli kattojen tasoeron. Tämän lisäksi kertomelle μ_w on määritelty seuraavat vaihteluvälit:

$$0,8 \leq \mu_w \leq 2,5, \text{ jos alemman katon pinta - ala } \geq 6 \text{ m}^2$$

$$0,8 \leq \mu_w \leq 2,5, \text{ jos alemman katon pinta - ala } = 6 \text{ m}^2$$

$$\mu_w = 0,8, \text{ jos alemman katon pinta - ala } \leq 1 \text{ m}^2$$

5.2 Tuulikuorma

Tuulikuormien laskennassa oletetaan tuulen kohdistuvan rakennukseen vaakatasossa, yleensä neljästä eri ilmansuunnasta. Rakenteiden lujuuslaskentaa varten saatava tieto on tuulen aiheuttama paine (ja sen suunta) neliometriä kohden. Neliökuormien avulla voidaan kuormitus jakaa mitoitettavalle rakennosalle tai vastaavasti neliökuormien avulla voidaan määrittää koko rakennukseen kohdistuva tuulivoima.

Ennen laskennan aloittamista täytyy olla selvillä, aiotaanko määrittää kuormia yksittäiselle rakenneosalle, vai tuulta vastaan jäykistäville rakenteille, tai perustuksille. Tämä johtuu siitä, että eurokoodi antaa kaksi erilaista tapaa määrittää tuulikuormia ja yksinkertaisempaa laskentatapaa ei kuulu soveltaa yksittäisille rakenneosille. (RIL 201-1-2008.)

Kari Kilkki on tarkastellut laajasti aurinkopaneelisiin liittyvien tuulikuormien laskennallista määräytymistä ja mallinnusta vuoden 2018 diplomityössään ”Aurinkopaneelijärjestelmän kuormitusten mallinnus”. Laskennallisesti paneelien tuulikuorman määräytymistä on tarkasteltu esimerkiksi vertauksena sahakattojen laskentaan, ja tästä on myös esitetty esimerkkejä. Lisäksi Kilkki on tehnyt kirjallisuustutkimusta kansainvälisistä julkaisuista tuulikuormien määräytymisestä myös muissa standardijärjestelmissä ja tuulitunnelikokeisiin. Diplomityössä todetaankin tuulikuormien vaihteluvälin olevan suuri, ja riippuvan useita tekijöistä, mukaan lukien paneelikentän sijainti katolla, räystäät, kattoturvatuotteet ja paneelien tukirakenteet. Yhteenvedossa kirjoittaja toteaaakin:

Yleispätevän määrittelyn laatiminen katoille asennettaville aurinkopaneelille osoittautui oletettua monimutkaisemmaksi. Rakenteiden mitoittamiseen käytetyt standardit eivät monen asiantuntijan mielestä sovellu suoraan aurinkopaneelien tuulikuormien mitoittamiseen. (Kilkki 2018)

Kilkki jatkaa todeten, että tuulitunnelikokeen ja virtauslaskennat eivät anna selkeää tai yksiselitteistä vastausta siihen, miten vastapainoja voitaisiin vähentää. Hän suosittaa jättämään paneelien ja katon reunojen väliin riittävän suuren etäisyyden- ” esimerkiksi yksi kymmenesosa rakennuksen leveydestä”. Tämä tuntuu vähintään kohtuulliselta verrattuna Finnwind Oy:n ”Aurinkopaneelien asentaminen ja asennuksessa huomioitavaa”- blogikirjoituksen 800 mm minimietäisyyteen räystään ja paneelikentän välillä.

5.2.1 Tuulikuorman määräytyminen

Rakenteiden tuulikuormien määrittämiseen annetaan ohjeita standardissa SFS-EN 1991-1-4. Tätä täydentävä Suomen kansallinen liite löytyy Ympäristöministeriön julkaisusta ”Rakenteiden lujuus ja vakaus: Rakenteiden kuormat”, johon

on koottu kaikkiin EN 1991 -sarjan standardien kuormituslaskentoihin liittyvät kansalliset ohjeet.

SFS-1991-1-4 mukaisessa laskennassa tuulikuorman suuruuteen vaikuttavat tuulennopeus, maaston rosoisuus, maaston paikalliset pinnan muodot ja rakennuksen mitat. Tuulikuormien laskentaan tarvittavat arvot ja käsittelykohdat standardissa SFS-EN 1991-1-4 on esitetty kuviossa 19. Tämä laskenta ei ota huomioon lähellä olevien rakennusten vaikutusta muutoin kuin maastoluokan kautta. Esimerkiksi kaupunkialueen turbulenssi-ilmiöitä ei huomioida, eikä suunniteluohje koske yli 100 m korkeiden rakennusten tai erikoisrakenteiden mitoitus. Näiden osalta tarkempia ohjeita esitetään standardeissa SFS-1993-3-1 ja SFS-1993-3-2, eikä niitä tarkastella tässä opinnäytetyössä.

Parametri	Aiheen käsittelykohta
Puuskanopeuspaine q_p	
tuulennopeuden perusarvo v_b	4.2 (2)P
nopeuspainekorkeus z_e	Luku 7
maastoluokka	Taulukko 4.1
puuskanopeuspaineen ominaisarvo q_p	4.5 (1)
tuulenpuuskien intensiteetti I_v	4.4
tuulennopeuden modifioitu perusarvo v_m	4.3.1
pinnanmuotokerroin $c_o(z)$	4.3.3
rosoisuuskerroin $c_r(z)$	4.3.2
Esim. verhouksiin, kiinnikkeisiin ja rakenteen osiin vaikuttava tuulenpaine	
ulkopuolisen paineen kerroin c_{pe}	Luku 7
sisäpuolisen paineen kerroin c_{pi}	Luku 7
nettopaineen kerroin $c_{p,net}$	Luku 7
ulkopuolinen tuulenpaine: $w_e = q_p c_{pe}$	5.2 (1)
sisäpuolinen tuulenpaine: $w_i = q_p c_{pi}$	5.2 (2)
Rakenteiden tuulikuormat, kuten tuulen kokonaisvaikutukset	
rakennekerroin: $c_s c_d$	6
tuulikuorma F_w voimakertoimista laskettuna	5.3 (2)
tuulikuorma F_w painekertoimista laskettuna	5.3 (3)

Kuvio 19 Laskentavaiheet ja niiden käsittelykohta standardissa (SFS-EN 1991-1-4 2011)

Tuulennopeuden perusarvo v_b määritellään tuulennopeuden 10 minuutin keskiarvona, 10 metrin korkeudella maanpinnasta, 50 vuoden toistumisaikaa vastaavana arvona (RIL 201-1-2011). Suomessa perusarvot ovat

$$\text{manneralueilla } v_b = 21 \frac{m}{s}$$

$$\text{merialueilla } v_b = 22 \frac{m}{s}$$

$$\text{tunturien lakialueilla } v_b = 26 \frac{m}{s}$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo $v_m(z)$ korkeudella z saadaan

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (5)$$

jossa

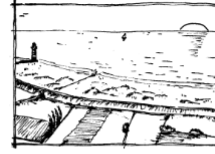
$c_r(z)$ = maaston rosoisuuskerroin

$c_0(z)$ = pinnanmuotokerroin (= 1)

v_b = tuulennopeuden perusarvo

Maaston pinnanmuodostus otetaan laskentaan mukaan, jos pinnanmuodostus lisää tuulen nopeutta yli 5 %. Jos tuulenpuoleisen maaston kaltevuus on alle 3 % voidaan pinnanmuodostus jättää huomiotta. Pinnanmuotokerroimen $c_0(z)$ laskentaa ohjeistetaan standardin SFS-1991-1-4 liitteessä A.3. Liitteessä A.4 annetaan ohjeet kohteen vierellä sijaitsevien korkeiden rakenteiden huomioimiseen, ja A.5 käsittelee lähekkäin sijaitsevien rakenteiden vaikutusta. Standardissa on esitetty maastoluokkajako kohtuullisen selkeästi (SFS-1990-1-4, Liite A.1 ja kuvio 20). Maastoluokat määräytyvät maaston rosoisuuden ja läheisen rakennuskannan sekä muiden tuulelta suojaavien rakennelmien perusteella. Nämä luokat ovat 0, I, II, III ja IV. Lisäksi rosoisuuden määrittämisessä on Suomen kansallisen liitteen määräämä merialueiden maastokerroin k_r . (Kansallinen liite standardiin EN1991-1-4, liite 5, 4.3.2.)

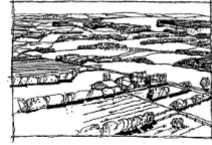
Maastoluokka 0
Meri, avoimen meren äärellä oleva rannikkoalue



Maastoluokka I
Järvi tai alue, jolla on vähäistä kasvillisuutta eikä esteitä



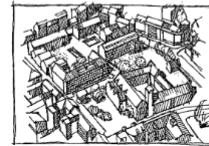
Maastoluokka II
Alue, jolla on matalaa kasvillisuutta, kuten heinää tai ruohoa ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), jotka ovat vähintään esteen 20-kertaisen korkeuden etäisyydellä toisistaan



Maastoluokka III
Alue, jolla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä esteitä, jotka ovat esteen 20-kertaista korkeutta lähempänä toisiaan (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)



Maastoluokka IV
Alue, jolla vähintään 15 % alasta on rakennusten peitossa ja joiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Kuvio 20 Kunkin maastoluokan enimmäisrosoisuuden kuvaus (SFS-EN 1991-1-4)

Kun tuulennopeuden modifioitu perusarvo on saatu selvitettyä, on määritettävä puuskanopeuspaine $q_p(z)$. Puuskanopeuspaine voidaan laskea numeerisesti käyttäen standardin SFS-EN 1991-1-4 kaavaa 4.8, johon sisältyy turbulenssia kuvaava kerroin $I_v(z)$ sekä ilman tiheys ρ ja tuulennopeuden modifioitu perusarvo V_m .

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (6)$$

jossa

ρ = ilma tiheys, joka riippuu maantieteellisestä korkeusasemasta, lämpötilasta ja ilmanpaineesta (SFS-EN 1991-1-4 suositus 1,25 kg/m³)

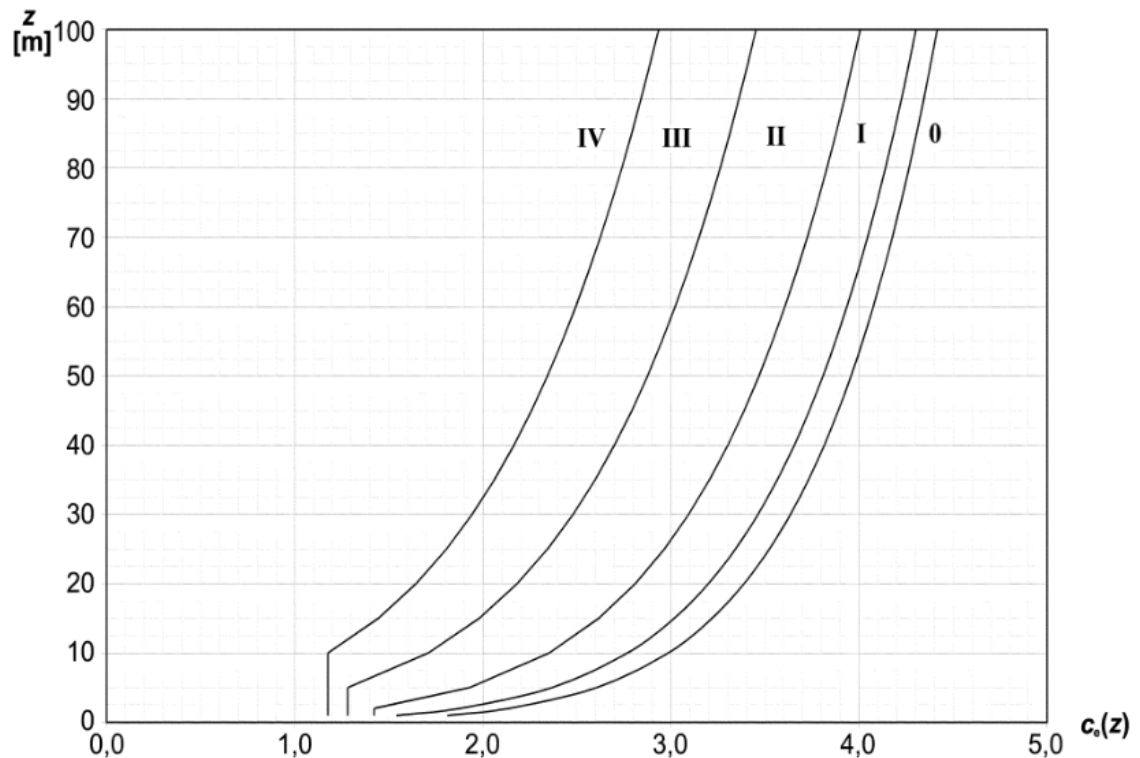
$c_e(z)$ = on kaavan 7 tai kuvion 1 mukainen altistuskerroin

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_p} \quad (7)$$

jossa

q_b on kaavan 8 mukainen nopeuspaineen perusarvo

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (8)$$



Kuva 4.2 Altistuskertoimen $c_e(z)$ kuvaajia arvoilla $c_0 = 1,0$, $k_1 = 1,0$

Kuvio 21 Altistuskertoimen $c_e(z)$ riippuvuus maastoluokasta ja korkeudesta z [m]

Tämän jälkeen standardin ohjeistama tuulennopeuden laskenta jakautuu kahteen tapaan. Ensimmäinen tapa voimakertoimien avulla, ja toinen pintapaineiden avulla. Kuitenkin RIL 201-1-2011 ja EN 1991-1-1-4 määrittelevät tuulenpainekertoimien menetelmän käytettäväksi verhouksien, kiinnikkeiden ja rakenteen osien kanssa, voimakerroinmenetelmän käytettäväksi rakenteiden tuulikuorien, kuten tuulen kokonaisvaikutusten arviointiin. Tähän perustuen tässä esitellään vain painekerroinmenetelmän toiminta.

Tuulikuorma painekertoimilla

Ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine w_e saadaan kaavasta 9

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (9)$$

jossa

$q_p(z_e)$ = puuskannopeuspaine

z_e = ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeus

c_{pe} = ulkopuolisen paineen painekerroin

Rakenteen sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine w_i saadaan kaavasta 10

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (10)$$

jossa

$q_p(z_i)$ = puuskannopeuspaine

z_i = sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeus

c_{pi} = sisäpuolisen paineen painekerroin

Seinään, kattoon tai rakenneosaan vaikuttava nettopaine on vastakkaisiin pintoihin vaikuttavien paineiden erotus, kun paineiden etumerkit otetaan asianmukaisesti huomioon. Pintaa kohti suuntautuvaa painetta pidetään positiivisena ja pinnasta pois päin suuntautuvaa imua negatiivisena. (SFS-EN 1991-1-4.)

Ulkopuolisen paineen kertoimet on esitetty kirjaimin merkittyjä vyöhykkeitä havainnollistavien piirustusten ja näitä vastaavien taulukoiden avulla erilaisille rakennusprofiileille ja -osille (SFS-EN 1991-1-4). Paine kertoimet on annettu vain yksinkertaisille rakennusmuodoille ja niiden soveltaminen monimuotoiseen rakennukseen vaatii suunnittelijalta tulkintojen tekemistä.

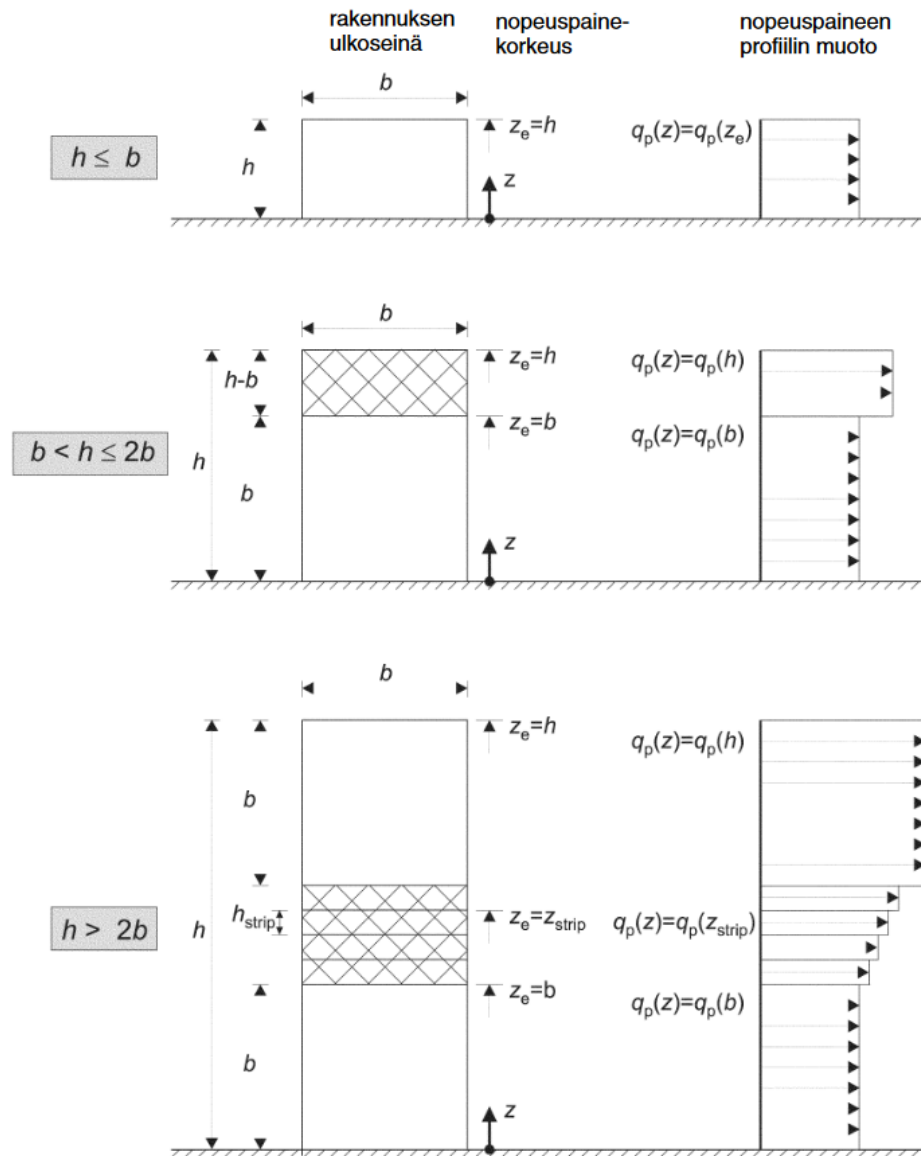
Rakennuksia ja rakennuksen osia koskevat ulkopuolisen paineen kertoimet c_{pe} riippuvat kuormitetun alan koosta A , joka on sen rakenteen pinta-ala, joka tuottaa laskettavassa poikkileikkauksessa vaikuttavan tuulikuorman.

Ulkopuolisen paineen kertoimet ovat taulukoituna kuormitetun alan A arvoille 1 m^2 ja 10 m^2 . Nämä kertoimet ovat asianomaisen osan rakennemallin mukaan rakenneyksityiskohdan painekerroin $c_{pe,1}$ ja rakennekokonaisuuden painekerroin $c_{pe,10}$. Rakenteen yksityiskohdan painekertoimen $c_{pe,1}$ arvot on tarkoitettu pienten osien ja kiinnitysten mitoittamiseen, kun osan ala on enintään 1 m^2 . Tällaisia voivat olla verhous- ja katelevyt. Rakennekokonaisuuden painekertoimen $c_{pe,10}$ arvoja voidaan käyttää rakennusten kantavan rungon suunnitteluun.

Ulokeräystäillä räystäään alapintaan vaikuttava paine on yhtä suuri kuin räystäään välittömästi liittyvään pystyseinän vyöhykkeeseen vaikuttava paine; räystäään yläpintaan vaikuttava paine on yhtä suuri kuin vesikattoa varten määritellyn vyöhykkeeseen vaikuttava paine.

Pohjaltaan suorakaiteen muotoisten rakennusten tuulenpuoleisten seinien kaistojen nopeuspainekorkeudet z_e riippuvat mittasuhteesta h/b , ja ne ilmaisevat aina seinän kunkin eri tuulikuormakaistan yläreunan korkeusasemaa. Ne on esitetty kuviossa 22, kolmessa standardissa SFS-EN 1991-1-4 määritellyssä tapauksessa:

- rakennusta, jonka korkeus h on pienempi kuin leveys b , tarkastellaan yhtenä kaistana
- rakennusta, jonka korkeus on suurempi kuin leveys b , mutta pienempi kuin $2b$, voidaan tarkastella kahtena kaistana, joista alempi ulottuu maanpinnasta korkeudelle b ja yläkaista tästä ylöspäin
- rakennusta, jonka korkeus h on suurempi kuin $2b$, voidaan tarkastella useina kaistoina, joista alin ulottuu maanpinnasta korkeudelle b ; yläkaistasta, joka ulottuu räystäältä mitan b verran alaspäin sekä ylä- ja alaosan välisestä välisosasta, joka voidaan jakaa vaakakaistoihin, joiden korkeus on h_{strip} kuvion 22 mukaisesti.



Kuvio 22 Mitoista h ja b sekä nopeuspaineen profiilista riippuva nopeuspaine-korkeus z_e

Ulkopuolisen paineen kertoimien taulukkoarvot ja vyöhykekaaviot on koottu liitteeseen 2.

Vastapainon määräytyminen

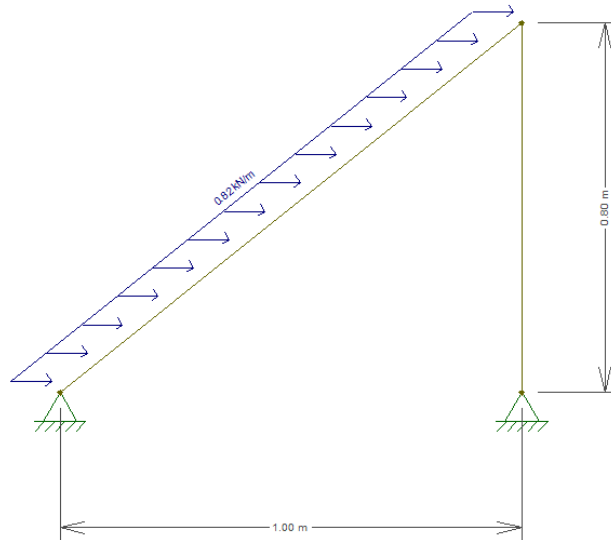
Aurinkopaneeleja tai -keräimiä vasten tulevat kuormat eivät saa päästä liikuttelmaan järjestelmää. Tämä voidaan estää tasaisilla ja loivilla katoilla vastapainoilla, sillä tällaisissa tapauksissa ei usein ole tarpeellista mekaanisesti kiinnittää paneeleja kattopintaan. (Orima-Tuote Oy n.d.)

Vastapainon suuruuteen vaikuttavat asennuspaikan edellä määritellyistä tuulikuormista syntyvät voimat ja tarkemmat asennustelineen ja sen osien mitat. Helpompi ja yksinkertaistettu tapa laskea paneelien ja niiden kiinnitykseen vaikuttava tuulikuorma tasakattoasennuksen tapauksessa on tuulen nopeuspaineen avulla. Taulukon 2 nopeuspaineella kerrotaan paneelin kohtisuoralla pinta-alalla, jolloin saadaan paneeliin vaakasuuntaan vaikuttava voima. Tämä jakaantuu etureunaa nostavaan ja takareunaa alas painavaan voimakomponenttiin.

Taulukko 2 Nopeuspaine $q_{p0}(Z)$ [kN/m²] tarkastelukorkeuden ja maastoluokan mukaan (RIL 201-1-2017 2017)

Nopeuspaine $q_{p0}(Z)$					
Korkeus	Maastoluokka				
z [m]	0	I	II	III	IV
0	0.66	0.42	0.39	0.35	0.32
1	0.66	0.42	0.39	0.35	0.32
2	0.78	0.52	0.39	0.35	0.32
5	0.96	0.65	0.53	0.35	0.32
8	1.05	0.73	0.61	0.43	0.32
10	1.09	0.76	0.65	0.47	0.32
15	1.18	0.86	0.72	0.55	0.4
20	1.24	0.88	0.77	0.6	0.45
25	1.29	0.92	0.82	0.65	0.5

Kuvion 24 esimerkkitapauksen vapaakappalekuvassa tuentaratkaisun tapauksessa on hyperstaattinen rakenne, eli tukireaktioita enemmän kuin on tasapainoyhtälöitä. Tällöin täytyy käyttää yksinkertaisten tasapainoyhtälöiden sijasta lujuuslaskennan muita menetelmiä. Sorsa yksinkertaistaa vuoden 2016 opinnäytetyössään, että kohtisuoraan paneeliin vaikuttava tuulikuorma "...jakaantuu tasan paneelin kiinnityksen etureunaan tuulen suunnasta katsottuna voimana, joka pyrkii vetämään laitetta irti katosta, ja tuulen suunnasta takareunaan voimana, joka pyrkii painamaan laitetta kattoa kohti."



Kuvio 23 Esimerkkipaneeli, paneelin leveys 1,1 m

Lisäksi vastapainon määrittämisessä tärkeää on vastapainon ja kattomateriaalin välinen kitkakulma. (Sunfixings Ltd 2017) Betonin ja bitumikermin välisestä kitkakertoimesta löytyy ristiriitaista tietoa, esimerkiksi H+H Suunnittelijan käsikirja mainitsee Siporex-harkon ja eristebitumikermin väliseksi kitkakertoimeksi 0,4 ja pveurope.eu mainitsee German Solar Industry Association:in suositukseksi 0,5, mainiten vaihteluväliksi 0,2–0,6. Vastapainot ovat usein betonia, joka kiinnitetään joko aurinkopaneelien telineisiin tassumaisina ratkaisuin, tai erillisiin kannaketelineisiin. Betonilaattojen alla käytetään myös bitumikermin kappaleita suojaamaan kattopintaa. Kitkavoima lasketaan seuraavasti:

$$F = N \cdot \mu \quad (11)$$

jossa

F = pinnan suuntainen kitkavoima [N]

N = pintaa vastaan kohtisuoran komponentin N suhde [N]

μ = kitkakerroin

Esimerkkipaneelin tapauksessa 1,1 m leveään paneeliin kohdistuisi kuvan mukaisessa kulmassa 0,72 kN suuruinen voima. Konservatiivisella 0,4 kitkakertoimella vaadittaisiin yhteensä 183 kg paino, jotta saataisiin aikaan riittävä kitkavoima kumoamaan paneeliin kohdistuvan yksinkertaistetusti lasketun tuulesta syntyvän voiman. Kuitenkin tässä esimerkissä ei huomioitu esimerkiksi painolaattoihin kohdistuvia tuulikuormia, eikä otettu kantaa aurinkopaneelin ja asennustelineiden painoon. Myöskään tuulikuormasta syntyvää kattoa vasten painavaa vaikutusta ei ole huomioitu.

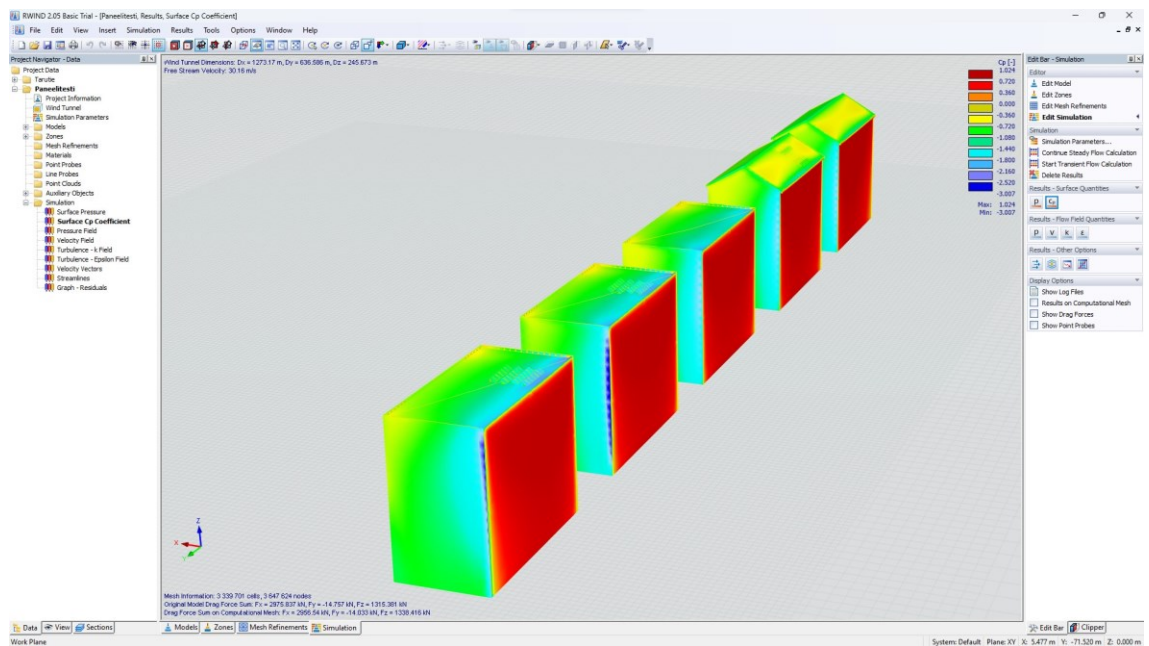
5.2.2 Tuulikuormien määrittäminen simulaatioavusteisesti

Tuulikuormia voidaan laskea nykyisin myös CFD-simulointiin (computational fluid dynamics, virtauslaskenta) pohjautuvien ohjelmistojen avulla. CFD on menetelmä, jota käytetään virtausilmiöiden, kuten nesteiden ja kaasujen, käyttäytymisen tutkimiseen ja analysointiin. CFD-simuloinnissa virtaavan aineen tilavuus jaetaan pieniin alueisiin eli soluihin ja solmuverkkoihin tai laskentahiloihin. Näitä soluja käytetään laskentaan, jotta saadaan analysoitua virtauksen jakautumista ja muita perusominaisuuksia.

CFD-simulointia voidaan soveltaa monenlaisiin tarkoituksiin, kuten ilmvirtauksiin rakennusten ympärillä, lentokoneiden aerodynamiikkaan, ajoneuvojen aerodynamiikkaan, kemiallisiin reaktioihin ja moniin muihin virtausilmiöihin. CFD-mallinnus on tehokas työkalu monimutkaisen virtauskäyttäytymisen ymmärtämisessä, jonka laskenta vananaikaisin menetelmin on raskasta ja aikaa vievää.

CFD-simuloinnissa kriittistä on analysoitavan geometrian onnistunut mallintaminen, solujen koon ja laskentahilan rakentaminen on kriittistä simulaation onnistumiselle. Tässä työssä tuulikuormien analysointiin käytetty RWIND 2-ohjelmisto käyttää tuulikuormien laskentaan CFD-simulointia, ja ohjelma osaa myös itse rakentaa laskentahilan esimerkiksi ifc-mallista. Tämän laskentahilan verkon kokoa voi säätää, mutta yksinkertaisenkin 3D-mallin solumäärä voi nousta kymmeniin miljooniin. Laskentaan kuluva aika on suunnilleen lineaarisesti verrannollinen solujen määrään, ja tehokkaallakin tietokoneella kymmenen miljoonan solun simulaation laskenta vei useamman tunnin.

Lisäksi aurinkopaneelien ja muiden rakennusmassaan suhteessa pienien rakenneosien analysointia hankaloittaa laskentaverkon koon määräytyminen. Kuvion 23 yksinkertaistetussa 3D-mallissa oli laskennassa 3,7 miljoonaa laskentasolua, ja silti kolmion mallisten laskentasolujen sivumitta oli 270 mm. Tämä laskentatarkuus voi kuitenkin antaa vähintäänkin suuntaa antavan arvion tuulikuormien muutoksista, etenkin tasakattojen ja kulmaan asennettujen paneelien tapauksessa. Harjakaton ja lappeen suuntaisten paneelien tapauksessa solujen koko muodostui rajoittavaksi tekijäksi, sillä lappeen suuntaisten paneelien ja kattopinnan väliin jätetään tyypillisesti 10–20 cm väli, jonka virtausanalysointiin laskentaverkon tiheys rakennuksen mittaluokassa ei riitä.



Kuvio 24 Yksinkertainen 3D-malli, jossa verrattavana kattoprofiileja, joissa on aurinkopaneelleja ja aurinkopaneelittomia tasa- ja harjakattoja. Näkymässä esillä pintojen painekertoimet c_p . Tuulen virtauksen suunta X-akselin suunnassa.

Liitteen 3 esimerkkilaskentatarkastelussa on laskettu tasakatolle kulmaan asennettujen aurinkopaneelientuuli- ja lumikuormia, sekä verrattu niitä tarkemmin RWIND- simulaation laskemiin kuormiin.

5.3 Aurinkosähköjärjestelmän paloturvallisuus

Aurinkosähköjärjestelmät ovat nykyisin jo luotettavaa tekniikkaa. Kuitenkin aurinkosähköjärjestelmään, kuten mihin tahansa muuhunkin sähköjärjestelmään, liittyy tulipalon riski. Aurinkosähköjärjestelmistä alkaneet tulipalot ovat Suomessa hyvin harvinaisia. (Motiva 2023) Kuitenkin lisääntynyt paloriski tulee huomioida, kun järjestelmiä lisätään jälkiasennuksina olemassa oleviin rakennuksiin.

Suomessa on saatavilla vähäisesti tietoa sattuneista tulipaloista aurinkosähköjärjestelmissä, mutta tietoa ja kirjallisuutta on saatavilla laajemmin ulkomaisista lähteistä. Lisäksi aurinkoenergiateknologia on yhä hyvin nopeassa kehittymisen vaiheessa, joten tutkimustieto vanhenee nopeasti. Rasisen vuoden 2020 kirjallisuuskatsaus on huomionnut, että kansainvälisiä lähteitä tarkastellessa ylivoimaisesti suurin osa aurinkosähköjärjestelmien tulipaloista on johtunut suunnittelu- ja asennusvirheistä, eikä niinkään viallisista tuotteista. Hän noteeraa myös säännöllisen huollon ja kunnossapidon merkityksen järjestelmien säilymiselle paloturvallisina.

Aurinkopaneelien aiheuttama lisääntynyt paloriski on hyvin rakennekohtainen. Pelastuslaitoksen ohjeessa 2023 on tehty yksinkertaistus: ”Suurissa rakennuksissa puolestaan palo-osastoinnit ovat järeämpiä ja pintamateriaalit useasti heikommin palavia”. Ohjeessa huomioidaan, että suurissa rakennuksissa myös aurinkopaneelientät ovat potentiaalisesti suurempia.

P1-paloluokan rakennukset ovat yleensä suuria ja niissä voi olla isoja ihmismääriä. P1-luokan rakennuksissa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota siihen, ettei aurinkosähköjärjestelmä vaaranna poistumista: järjestelmän osat tulisi sijoittaa riittävän etäälle uloskäytävistä, poistumisreiteistä ja varateistä. P1-paloluokan rakennuksissa on tiukat vaatimukset heikosta syttyvyydestä rakennusten julkisivujen materiaaleille ja eristeille. Rakentamismääräysten ulkoseinää ja katemateriaaleja koskevat vaatimukset voivat koskea myös aurinkosähköjärjestelmiä ja sen osia, ja tämä tulisi huomioida järjestelmän suunnittelussa.

Aurinkosähköjärjestelmien asennuksella ei saa kasvattaa julkisivun pinnan syttymisherkkyttä Ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuus-

desta (848/2017) ja sen muutokseen (927/2020) nähden. Esimerkiksi yli 2-kerroksisen P1-paloluokan rakennuksen julkisivuissa on huomioitava, että varatiekäyttöön suunnitellun parvekkeen pintojen on oltava vähintään B-s2, d0 -luokkaa. Tämä vaatimus on voimassa myös P2- paloluokan rakennuksille.

Aurinkosähköjärjestelmien akkujen ja inverttereiden tarvitsemat tilat olisi turvallisuuden näkökulmasta aina suositeltavaa palo-osastoida ja sijoittaa erilleen reiteistä, joita käytetään poistumiseen, sekä erilleen tiloista, joissa majoitutaan tai oleskellaan- näitä tiloja voitaisiin verrata mm. sähköpääkeskuksiin tai lämmönjakohuoneisiin.

Pelastuslaitosten ohjeessa on kuvamateriaalia Satakunnan ammattikorkeakoulun Aurinkosähköjärjestelmien turvallisuus palotilanteissa -hankkeesta vuodelta 2021. Näissä voidaan havaita, miten paneelien alumiiniset kehys- ja tukirakenteet sulavat tulipalon voimasta. Tämä tukirakenteiden pettäminen aiheuttaa harjakatoilla paneelien putoamisriskin palotilanteessa, jonka lisäksi nestemäinen alumiini levittää tulipaloa ja aiheuttaa vaaraa sammutustyötä suorittaville.

5.3.1 Aurinkosähköjärjestelmä palolähteenä

Verkkoon kytketyssä aurinkopaneelijärjestelmässä AC-puolen erotusmahdollisuus, yleensä turvakytkin, on pakollinen. Turvakytkimellä voidaan erottaa aurinkosähköjärjestelmä sähköverkosta mm. mahdollisen jännitepiikin takia, mutta se ei estä paneeleja tuottamasta sähköä. Kuitenkin järjestelmän suunnittelussa on tärkeää huomata, ettei AC-turvakytkin tee aurinkopaneeleja, invertteriä eikä niiden välisiä komponentteja ja kaapelointeja jännitteettömiksi. Turvakytkimellä erotus katkaisee vain sähkönsyötön aurinkosähköjärjestelmästä kiinteistön sähköverkkoon ja täten myös kantaverkkoon. (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023) Pelastuslaitoksille 2023 valmisteltu ohje kuvaa aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuutta seuraavasti:

Aurinkosähköjärjestelmät ovat lähtökohtaisesti hyvin turvallisia oikein asennettuna, käytettynä ja asianmukaisesti huollettuna. Järjestelmä pitää yleensä sisällään lukuisia paneeleja, kaapelointeja, liitoksia ja vaihtosuuntaajia sekä joskus myös akuston, jotka vastaavasti kuin muutkin sähköjärjestelmän osat, voivat virheellisesti toteutettuna tai vaurioitumisen seurauksena muodostaa paloriskin. (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023)

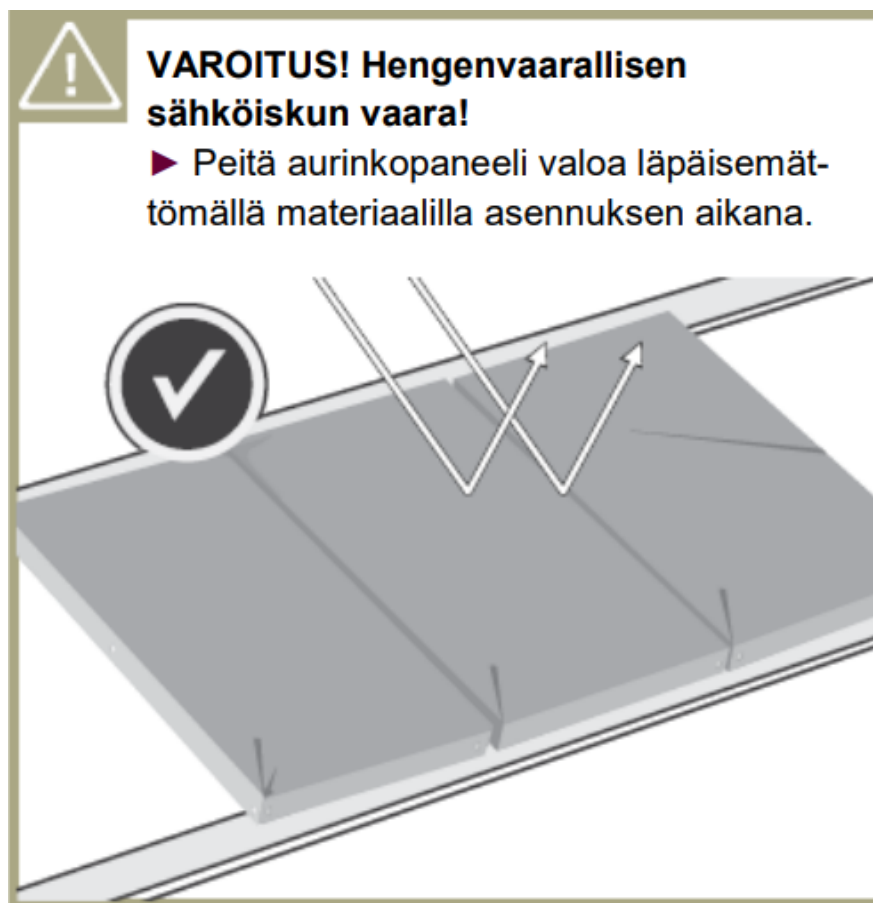
Pelastuslaitoksien ohjeessakin viitatussa Prumen ja Viehwegin tutkimuksessa vuodelta 2018 todettiin, että Saksassa vuosina 2011–2013 aurinkosähköjärjestelmien tulipaloista kolmannes johtui aurinkosähköjärjestelmän komponenteista, kolmannes asennus- ja kolmannes suunnitteluvirheistä. Tutkimuksessa havaittiin myös, että paloista suuri osuus tapahtui keskipäivällä ja varhaisin iltapäivällä auringon säteilyn ollessa voimakkaimmillaan, jolloin vialliset tai vaurioituneet komponentit ovat ylikuumentuneet ja aiheuttaneet syttymisen.

Järjestelmän akut ovat myös vaikeasti sammutettavia kohteita, jos ne pääsevät syttymään. Etenkin sisätiloissa pelastuslaitoksen ohje kuvaa akkupalojen sammutuksen vaativan erikoistarpeistoja, mm. kemikaaleilta suojaava varustusta (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023). Järjestelmän suunnittelussa ja akustojen sijoittelussa tuleekin ottaa huomioon pelastuslaitoksen sääntuloväylät, lähestymissuunnat, kulkuväylät, uloskäytävät ja poistumisreitit.

Sekä Energia-alan yritys Helen Oy, että valtio-omisteinen kestävän kehityksen yhtiö Motiva Oy kiinnittävät erikoishuomiota asennuksen ja suunnittelun ammattimaiseen toteutukseen. Helen rajaa asennustyötä suorittavia urakoitsijoita tarkemmin:

Sähköasennuksia saa tehdä vain sellaiset urakoitsijat, joilla on S2 (1000 VAC tai 1500 VDC) tai S1 (Rajoittamaton) pätevyys sekä ovat ilmoittautuneet Tukesin ylläpitämään urakoitsijarekisteriin. Aurinkopaneelien mekaanisen asennuksen voi tehdä kuka vain, mutta liitokset ovat sähköalan ammattilaisten sähkötöitä. (Aurinkovoimailoiden turvallisuusohjeistus n.d.)

Aurinkopaneelit tuottavat sähköä aina kun ne altistuvat valolle, oli järjestelmä kunnossa tai ei. Esimerkiksi QCELLS Oy:n asennus- ja käyttöohjeessa varoitetaan sähköiskun mahdollisuudesta asennusvaiheessa (kuviokuva 25). Paneelit voivatkin sytyttää tulipaloja myös myöhemmin palotilanteen ja järjestelmän vaurioitumisen jälkeen, ellei paneeleita kytketä irti järjestelmästä heti niiden vaurioituttua esimerkiksi tulipalossa. Aurinkopaneelit tulee siis muistaa kytkeä irti, jos paneelit, muut järjestelmän osa tai niihin kytketty rakennus vaurioituu tulipalon satuessa. (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023)



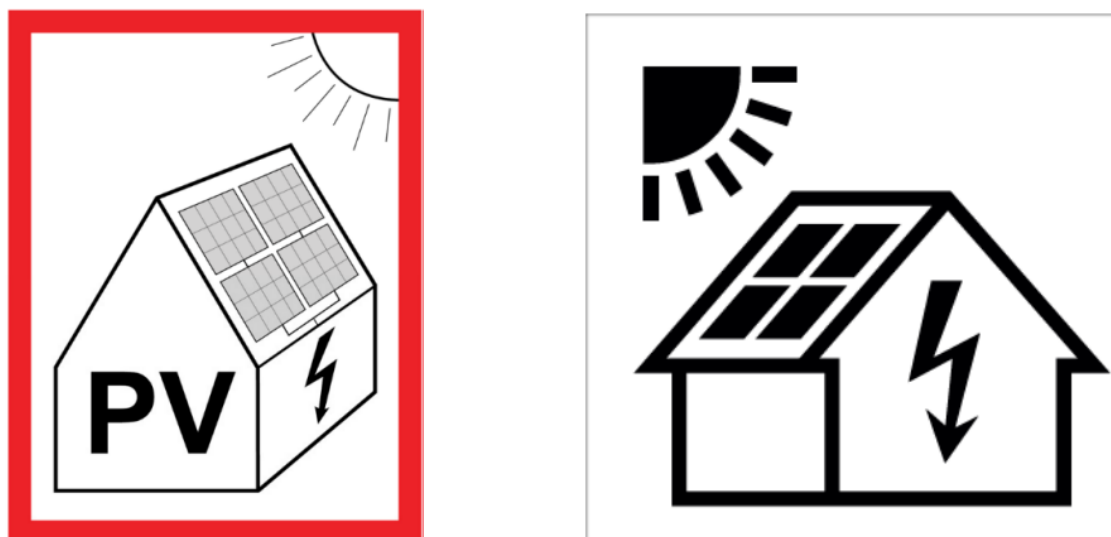
Kuvio 25 Aurinkopaneelien asennusohjeen varoitus sähköiskuista (Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje 2016)

5.3.2 Aurinkosähköjärjestelmän vaikutus paloon

Vaikka aurinkosähköjärjestelmä itsessään ei aiheuttaisi tulipaloa, voi esimerkiksi paneeleilla olla tulipaloa pahentava vaikutus. Pelastuslaitoksen ohje viittaa tanskalaiseen tutkimukseen. Tutkimuksessa (Steemann Kristensen, Merci, Jomaas 2017) havaittiin, että aurinkopaneeleilla voi olla merkittävä vaikutus nimenomaan palon leviämiseen muuttamalla palon dynamiikkaa. Steemann Kristensen ja muut tutkivat lämmön uudelleenheijastumista aurinkokennokenttien takana tasakattoasennuksien tapauksessa, ja he havaitsivat, että palon mekaniikka oli paloa edistävä tekijä, eikä niinkään paneelien tuoma lisäpalokuorma. He laajentavatkin löydöksensä koskemaan todennäköisesti myös muita katoille asennettavia katepaneeleja. Paneelit voivat muodostaa alapuolelleen lämpöä ja savua kerääviä onteloita, jotka voivat edistää palon leviämistä hormimaisesti. Vaikka Steemann Kristensenin ja muiden tutkimus kohdistuikin kattoasennuksiin, voitaisiin olettaa näiden paloa ohjaavien vaikutusten ulottuvan myös esimerkiksi julkisivuasennuksiin.

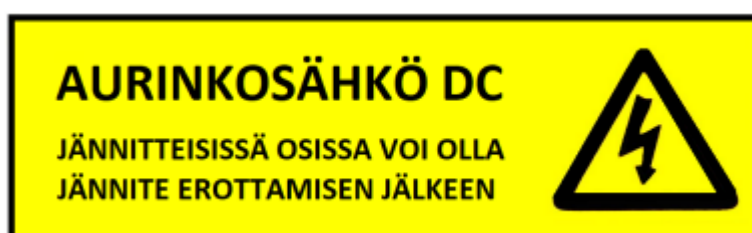
5.3.3 Merkinnät

Kiinteistö, jossa on aurinkosähköjärjestelmä, täytyy aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeen mukaan merkitä henkilö- ja työturvallisuuden varmistamiseksi alla olevan kuvion 26 mukaisella kilvellä. Merkintäkilpi on asennettava sähköasennuksen liittymiskohtaan tai sähköenergian mittauskohtaan, jos se on erillään asennuksen liittymiskohdasta ja sähkökeskukseen, johon järjestelmän invertteri syöttää virtaa.



Kuvio 26 Aurinkosähköjärjestelmästä syntyvästä vaarasta on varoittavia varoituskylttejä (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023)

Lisäksi järjestelmän tasasähköisen osan kaikissa luokse päästävissä jännitteisiä osia sisältävissä laitteissa, kuten sähkökeskuksissa ja liitäntäkeskuksissa on myös oltava pysyvä merkintä, joka ilmoittaa, että erottamisen jälkeen osissa voi olla yhä jännite (kuvio 27).



Kuvio 27 Varoituskyltti aurinkosähköjärjestelmien tasavirtapuolelle (Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje 2023)

6 ASENNUSRATKAISUT

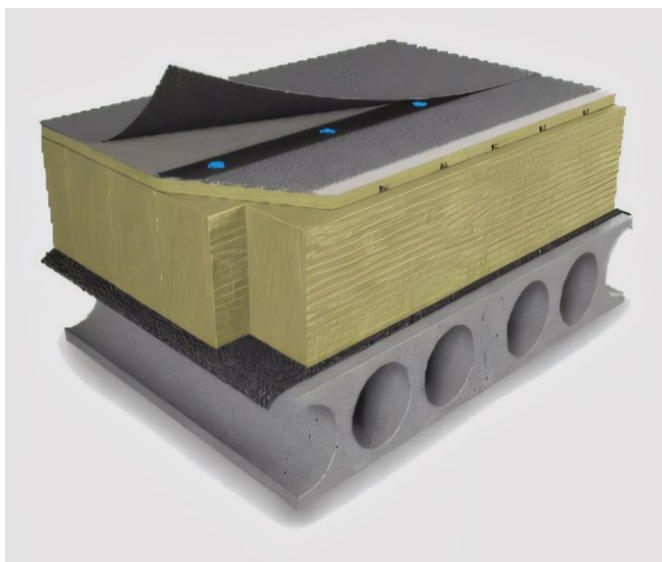
Aurinkovoimalan asennusta suunniteltaessa tulisi sekä suunnittelijan että asentajan tuntea asennusalustan rakenteet, sillä niin katto- kuin julkisivurakenteidenkin kirjo on laaja, ja vaikutus asennustapaan on merkittävä. Tässä kappaleessa käsitellään ensin kattojen ja sitten julkisivujen rakenteiden vaikutusta aurinkovoimalan asennukseen, sekä nostetaan esille erityisesti kriittisiä kohtia.

Katot ovat yleisin paikka paneelien tai keräimien asentamiselle. Katolla paneelit ovat yleensä esteettömmässä paikassa ja näin ollen energiantuotanto optimaalista. (Erat ym. 2008, 142) Etenkin tiheästi rakennetulla kaupunkialueella katto on myös varjostuksien kannalta julkisivuja parempi asennuspaikka– niin asennustyön helppouden kuin tuotonkin kannalta. Suomessakin kattojen rakenteiden kirjo on varsin laaja, joitakin kattorakenteita on esitelty RT- kortissa ”RT 83-11010 Yläpohjarakenteita”.

Katon materiaalit ja yksityiskohdat tulisi suunnitella siten, että niiden käyttöikä tavoite olisi 25–50 vuotta- tämä tulee huomioida, kun aurinkoenergiajärjestelmiä asennetaan jälkikäteen, sillä vesikaton yksityiskohtien kuten läpivientien käyttöikä tavoitteen tulisi olla sama kuin vesikatteella, jos läpivientiosan vaihtaminen edellyttää katteen uusimisen (Toimivat katot 2022, 36). Kattoliitto suosittelee julkaisemissaan kattojen huoltokirjoissa tarkastamaan katon kunnon vähintään kaksi kertaa vuodessa. Kattotyypeittäin jaetuissa huoltokirjoissa on myös koottuna tärkeimmät asiat, joihin tarkastuskäynneillä tulisi kiinnittää huomiota. Lisäksi esimerkiksi peltikattojen huoltokirjapohjassa on kirjattu kappaleeseen ”6. 20 vuoden jälkeen” seuraavasti: ”Kun huoltokirjassa on päästy näin pitkälle, huoltotaulukot ovat täyttyneet ja vesikatolle on kertynyt ikää 20 vuotta. Tällöin Sinun kannattaa tilata alan ammattilainen tekemään laajempi kuntoarvio katosta.”

Aurinkovoimalan osien kiinnitystapa riippuu katon rakenteista ja halutusta ulkonnäöstä. Katoille asennusratkaisut jakautuvat karkeasti kahteen eri luokkaan katon kaltevuuden mukaan. Rakennusten katot jaetaan samoin kahteen kategoriaan, loiviin ja jyrkkiin kattoihin. Loivina kattoina pidetään kattoja, joiden kaltevuus on 1:10 tai vähemmän. Loivempia kattoja kuin 1:80 ei tulisi suunnitella (Toimivat katot 2022, 12). Loivissa katoissa vesi poistuu niin hitaasti, että niiden yksityiskohtien on kestettävä vedenpainetta ja tätä vedeneristystä ei saa vaarantaa voimala-asennuksilla. Loivilla katoilla vesikaton pintamateriaalina käytetään yleisimmin vedenpitävää bitumikermiä, jonka alla on lämmöneristyskerros, höyrynsulku ja kantava rakenne (kuvio 28).

Loiville katoille aurinkojärjestelmiä asennettaessa tulee huomioida, että asennus ei patoa katolla liikkuvaa vettä eivätkä aurinkopaneelien asennustelineet kinosta lunta tai aiheuta tuulikuormia, jotka voisivat vahingoittaa kattorakennetta. Lisäksi tasakatoille paneelit on usein optimaalisen kulman saavuttamiseksi asennettava erillisille asennustelineille. Jos näitä telineitä varten joudutaan katteeseen tekemään asennukselle reikä, on kate tehtävä jälleen vesitiiviiksi laipalista läpivientitiivistettä käyttäen. Kattoliitto mainitsee kattokaivojen ja läpivientien väliseksi minimietäisyydeksi 500 mm (Toimivat katot 2022, 36). Mahdollisten koko katon rakenteen läpäisevät tukirakenteet on tarpeen lämmöneristää koko matkalta kosteuden kondensoitumisen estämiseksi. Loivien kattojen etuna on se, että tarpeeksi tukevilla ja painavilla telineillä voimalat voidaan asentaa ilman katteen läpäisyä, pelkkien vastapainojen avulla. Tällöin kuitenkin riskinä on, että teline tai painot painavat kattoon kuopan johon vesi jää seisomaan. Tätä riskiä voidaan pienentää jakamalla pistekuormaa suuremmalle alueelle aluslevyjen avulla.

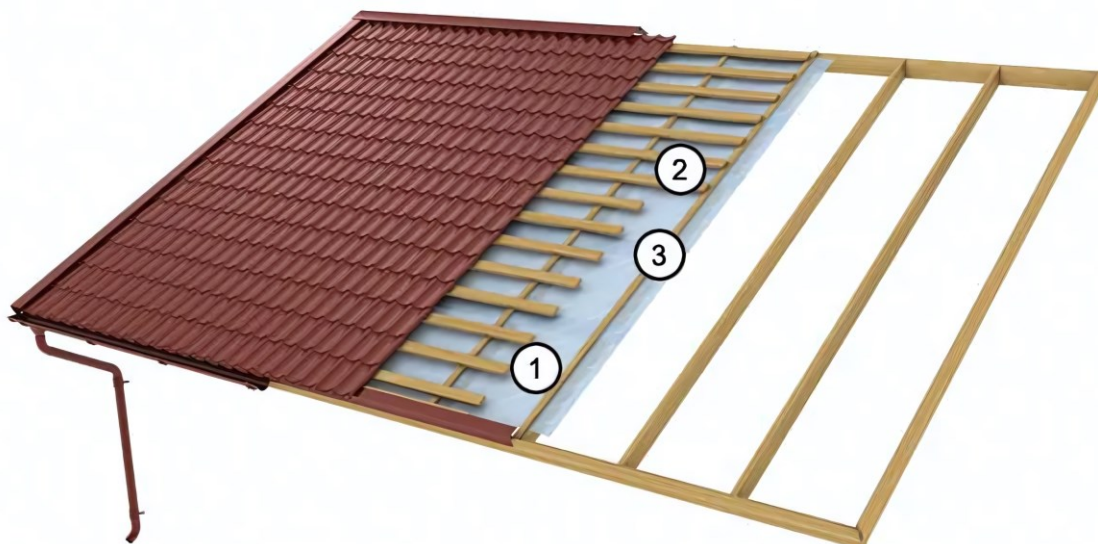


Kuvio 28 Loivan katon rakenne, havainnollistuskuva (Paroc Group Oy Loivien kattojen eristysratkaisut)

Loivilla katoilla voimalan asennus on nimellisesti helpompaa kuin jyrkillä katoilla, sillä loiva katto tuo joustavuutta työskentelyyn. Esimerkiksi tarvikkeiden nostot, joissa paneeleja ei tarvitse nostaa suoraan paikoilleen, vaan ne voidaan nostaa erissä kattopinnalle asennuspaikan lähelle. Myös aurinkovoimalan laitteiden huolto niiden elinkaaren aikana on jokseenkin jyrkkiä kattoja helpompaa, sillä erillisiä kulkusiltoja ei tarvitse rakentaa voimalalle kulkua varten

Jyrkällä katolla tarkoitetaan tässä työssä Toimivat katot- julkaisun esimerkin mukaisesti kattoa, joka on kaltevuudeltaan jyrkempi kuin 1:20. Yhteinen rajapinta loivilla ja jyrkillä katoilla on 1:10 – 1:20 kallistuskulmien välissä.

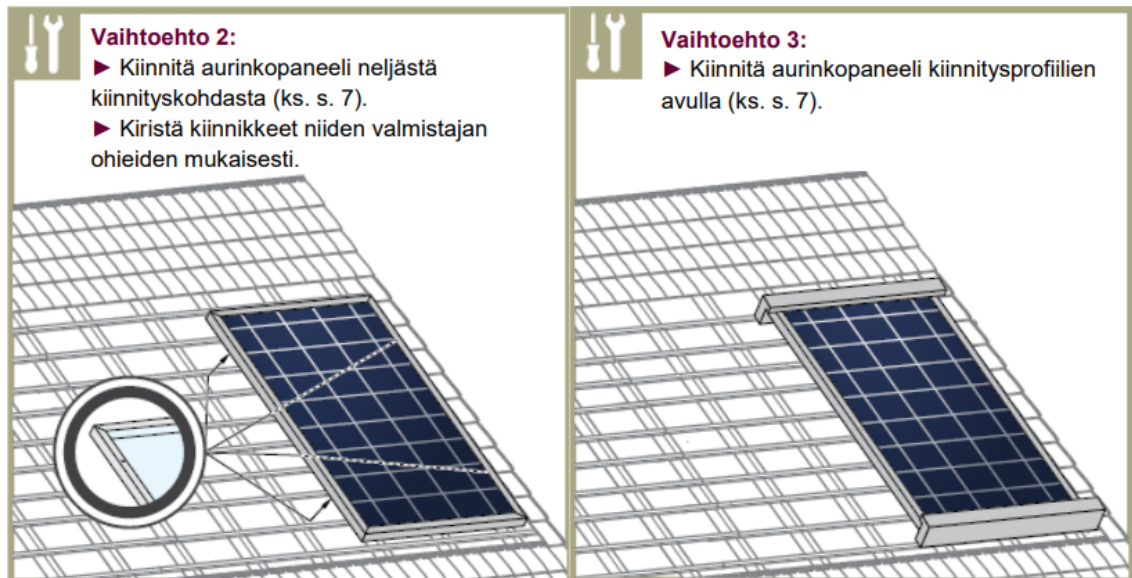
Jyrkillä katoilla käytetään pääsääntöisesti niin sanottuja epäjatkuvia katteita, joita on muun muassa tiili, pelti, erilaiset aaltolevyt tai bitumikatteen, jotka eivät kestä vedenpainetta (kuvio 28). Näiden katteiden alla on käytettävä erillistä vedenpitävää aluskatetta. Alle asennettava aluskate varmistaa, ettei vesi pääse turmelemaan katon rakenteita. Aluskatteita on kahdenlaisia: vapaasti asennettavia aluskatteita, jotka asennetaan kattotuoleihin ja aluskermejä, jotka asennetaan tiiviin aluslaudoituksen tai levytyksen päälle. (Toimivat katot 2022, 63) Vesikaton läpivientien tiivistäminen aluskatteeseen aiheuttaa selkeän riskikohdan vesikaton vedeneristykseen. Tämänkin vuoksi on rakennusfysikaalisesti toimintavarmoin ratkaisu kiinnittää aurinkoenergiajärjestelmät katemateriaaliin, aina kun se on mahdollista.



Kuvio 29 Jyrkän katon rakenne, havainnollistuskuva (Rautaruukki Oyj, Tietoa teräskatoista)

Jyrkillä katoilla voimaloiden asennus tapahtuu aina kyseessä olevan kattomateriaalin mukaisella mekaanisella kiinnitystavalla. Laitteiston huolto ja asennus on jyrkällä katolla huomattavasti hankalampaa ja vaatii huolellisempia työturvallisuustoimia, kuin loivilla katoilla työskenteleminen. Siinä missä loivalla katolla paneelit voidaan suunnata helposti etelään, voi jyrkän katon suunta muodostua ongelmaksi paneeliasennuksia suunnitellessa. Jyrkillä katoilla kattopinta itsessään suuntaa paneeleja paneelien molemmissa suunnissa, sillä usein paneelit asennetaan lappeen suuntaa noudattaen. Kattopinnan suuntaisiin paneelisiin ja asennusosiin kohdistuva tuuli- ja lumikuormat ovat pienemmät verrattaessa loiviin kattoihin, joissa käytetään esimerkiksi 35° asennustelineitä.

Jäykät aurinkopaneelit ja -keräimet asennetaan useimmiten metallisten kehikoiden ja listojen avulla, jotka kiinnitetään erillisiin kattomateriaaliin ankkuroituihin kannakkeisiin. Esimerkiksi QCELLS:in aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohjeissa kuvataan 1,6 m² kokoisen paneelin asennus joko neljän kulmissa sijaitsevan kannakkeen varaan, tai vaihtoehtoisesti päädyistä kannakoituna (kuvio 30).

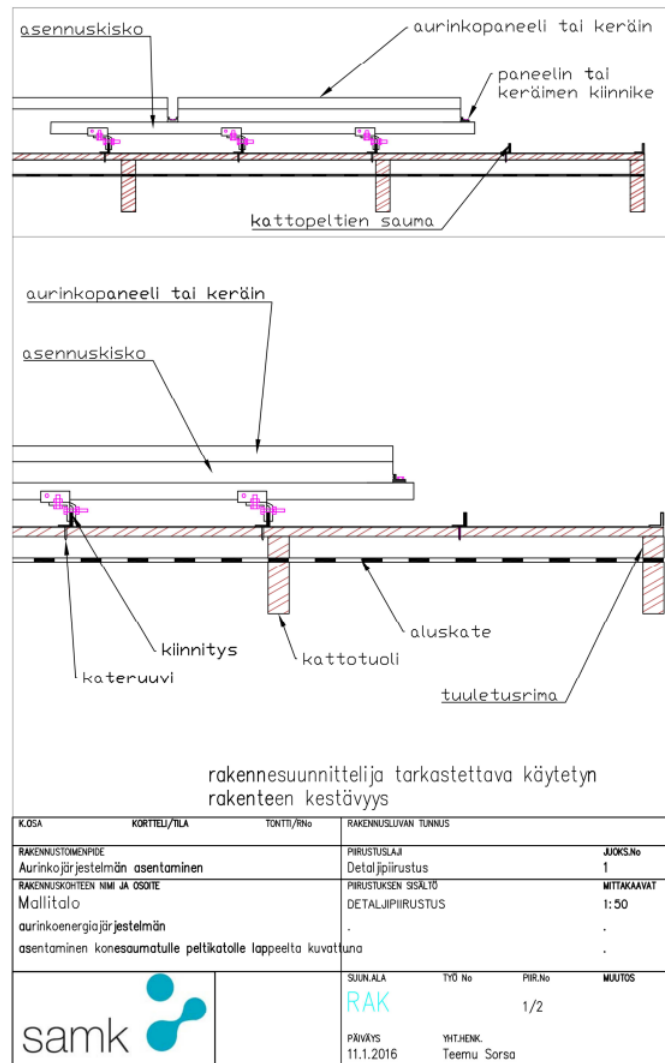


Kuvio 30 Aurinkopaneelin asennusratkaisu (QCELLS Oy 2016)

6.1 Katon kannatinjärjestelmän vaikutus

Katon kannatinjärjestelmä vaikuttaa aurinkovoimaloiden asennuksiin vähintäänkin välillisesti. Usein katon kannatinjärjestelmä ja jyrkkyys ovat jokseenkin riippuvaisia toisistaan- useimmiten loivien kattojen kantava rakenne on joko elementti- tai massiivinen betonirakenne, jyrkempien kattojen kantava rakenne on huomattavasti useammin puuristikko.

Teemu Sorsa on vuoden 2016 opinnäytetyössään tarkastellut erilaisia aurinkojärjestelmien asennusratkaisuja. Sorsa kategorisoi työssään kiinnitysmahdollisuudet ja läpiviennit katemateriaalin mukaan. Lisäksi Sorsa tuotti periaatekuvia asennuksille. Tästä toimii esimerkkinä konesaumaton peltikaton asennusratkaisu kuviossa 31.



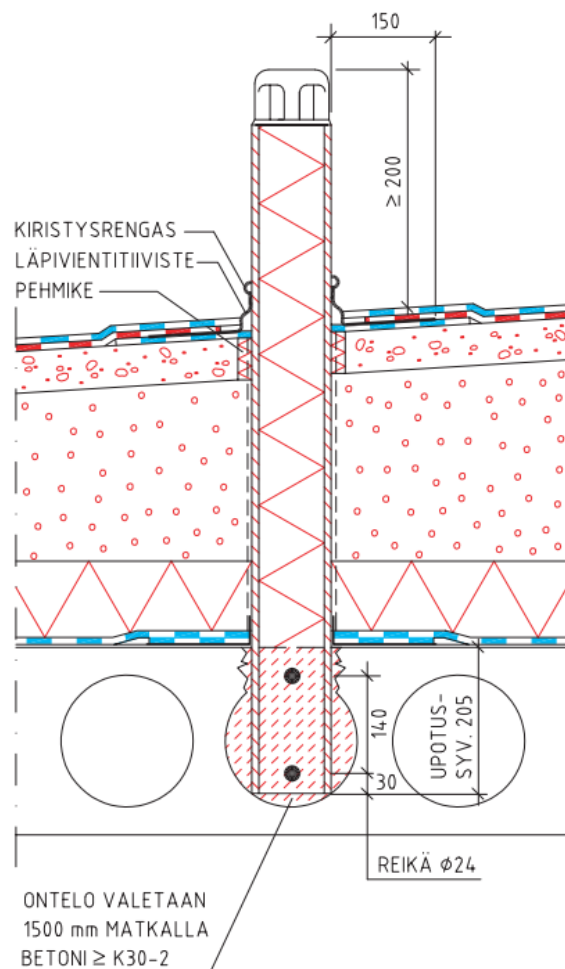
Kuvio 31 Detaljipiirustus, Aurinkoenergiajärjestelmän asentaminen konesaumattulle peltikatolle lappeelta kuvattuna (Sorsa 2016)

Tässä detaljipiirustuksessa on esitetty rakenne, jossa paneelit kiinnitetään erilliseen asennuskiskoon, joka taas kiinnitetään vesikaton peltikatteeseen. Tämä kiinnitystapa katteeseen ei ole riippuvainen konesaumapeltikatteen alla olevasta rakenteesta lainkaan. Kuitenkin, kuten piirustuksessakin on huomautettu, rakennesuunnittelijan on tarkastettava rakenteen kestävyys. Esimerkiksi kuviossa 31 esitetyt puiset kattotuolit voisivat ylikuormittaa paneelien, asennuskiskojen ja lisälumikuormien vuoksi.

Täten voidaankin huomata, että kiinnitystapa itsessään ei aina ole riippuvainen katteen alla olevasta kannatinjärjestelmästä. Seuraavissa kahdessa kappaleessa perehdytään yleisimpiin vesikaton kannatinjärjestelmiin ja niihin liittyviin erikoistapauksiin, ja tämän jälkeen esitellään kateratkaisuriippuvaisia asennustapoja.

6.1.1 Betonirakenne

Betonirakenteisiin on suhteellisen helppo sekä uudisrakennusvaiheessa että jälkeinpäin ankkuroida erilaisia kannakkeita tai telineiden perustuksia. Nämä voidaan kiinnittää jo valun yhteydessä ja korjaushankkeissa voidaan kiinnitykseen käyttää betoniruuveja ja/tai injektointia. Loivilla katoilla, kun aurinkokeräimet täytyy asentaa merkittävästi kattokulmasta poikkeavaan kulmaan, voidaan käyttää tukirakenteena erilaisia kattopollareihin verrattavia järjestelmiä. Kuviossa 32 on Toimivat katot 2022 -julkaisun detaljipiirros kattopollariasennuksesta kermikatteiselle loivalle katolle. Tähän verrattavia aurinkoenergiajärjestelmien jalustoja on hyvä käyttää etenkin tapauksissa, joissa järjestelmään kohdistuu suuria kuormia, ja ankkuroinnin tulee kestää suuria voimia. Tällaisesta kiinnityspilarista toimii esimerkkinä kuvassa 3 ja kuviossa 33 esiintyvä Finnwind Oy:n FS-P127 Aurinkopilari.



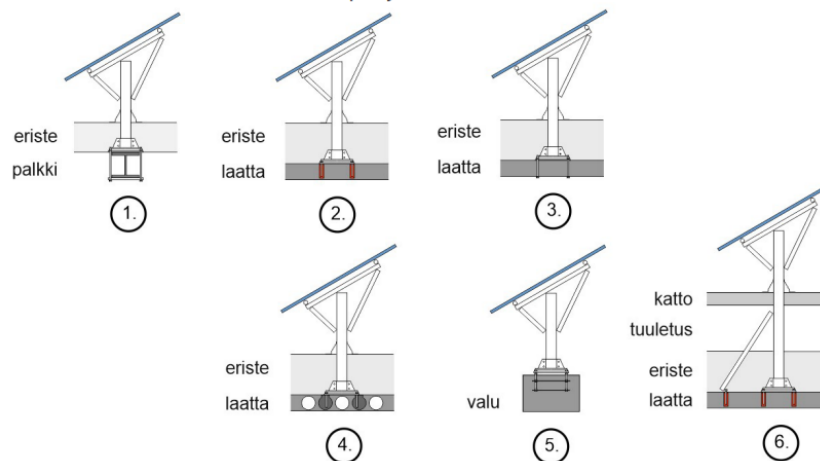
Kuvio 32 Kattopollariasennus loivalle katolle (Toimivat katot 2022, 56)



Kuva 3 Aurinkopilari FS-P127, betonilaattaan tai teräspalkkiin kiinnittyvä kattopilari (Aurinkopilari FS-P127 2021)

AURINKOPILARI KAIKILLE TAVANMUKAISILLE TASAKATTOTYYPEILLE

1. Asennus teräspalkille. Joko palkin suuntaisesti tai ristikkäiseen suuntaan.
2. Asennus betonilaattaan. Kemiallinen akkurointi.
3. Asennus betonilaattaan. Läpiporaus.
4. Asennus ontelolaattaan. Onteloon valu.
5. Asennus betonivaluun. Sapluunaraudat.
6. Asennus laattaan, kun korkea välipohja.



Kuvio 33 Aurinkopilarin asennustavat erilaisissa vesikattorakenteissa (Aurinkopilari FS-P127 2021)

Finnwind Oy markkinoi aurinkopilariansa seuraavasti:

”Aurinkopilarin mahdollistama aurinkopaneelien parempi säteilykulma, tehokkaampi jäähdytys ja vähäisempi lumipeitteisyyden aiheuttama tuoton menetys parantavat aurinkovoimalan tuottoa helposti yli 10% tavanmukaiseen painoperustaiseen aurinkopaneeliasennukseen verrattuna. Lisäksi aurinkopilarin käyttö lisää merkittävästi paloturvallisuutta ja helpottaa katon ylläpito- ja huoltotöitä.

Aurinkopilari on ensi-sijaisesti aurinkovoimalan pilariasennusjärjestelmä, mutta siihen voidaan kiinnittää panta- ja laippaosien avulla myös IV-koneet ja muut katon laitteet.” (Aurinkopilari FS-P127 2021)

FS-P pilarissa pilarin sisäosa täytetään polyuretaanieristeellä, jotta kattorakenteen eristeeseen ei tule merkittävää lämpövuotoa. Kyseessä on juurikin edellä kuvatun tapainen kattopollariin verrattava ratkaisu, jonka osalta esimerkiksi työmaalla tehtävä laadunvalvonta on helposti verrattavissa kattopollarin asennukseen. Esimerkiksi vesikatteen tiivistykseen osalta työ on hyvin samantyyppistä. 1,5 m pituudella yhden pilarin paino on noin 30 kg, joten pilari ei aiheuta kovin suurta lisäkuormaa, mutta paino kohdistuu pistekuormana suoraan kantavaan betonirakenteeseen. Etenkin rakenteellisesti haastavampien kohtien kuten aukotusten ympärillä pistekuormakenttä tulisikin huomioida rakenteen kantavuutta arvioidessa.

Myös A-Kruunun Maisemamaalauksenkatu 1:ssä aurinkopaneelien asennukset on jo rakennusvaiheessa toteutettu näillä aurinkopilareilla, ks. kuva 4.



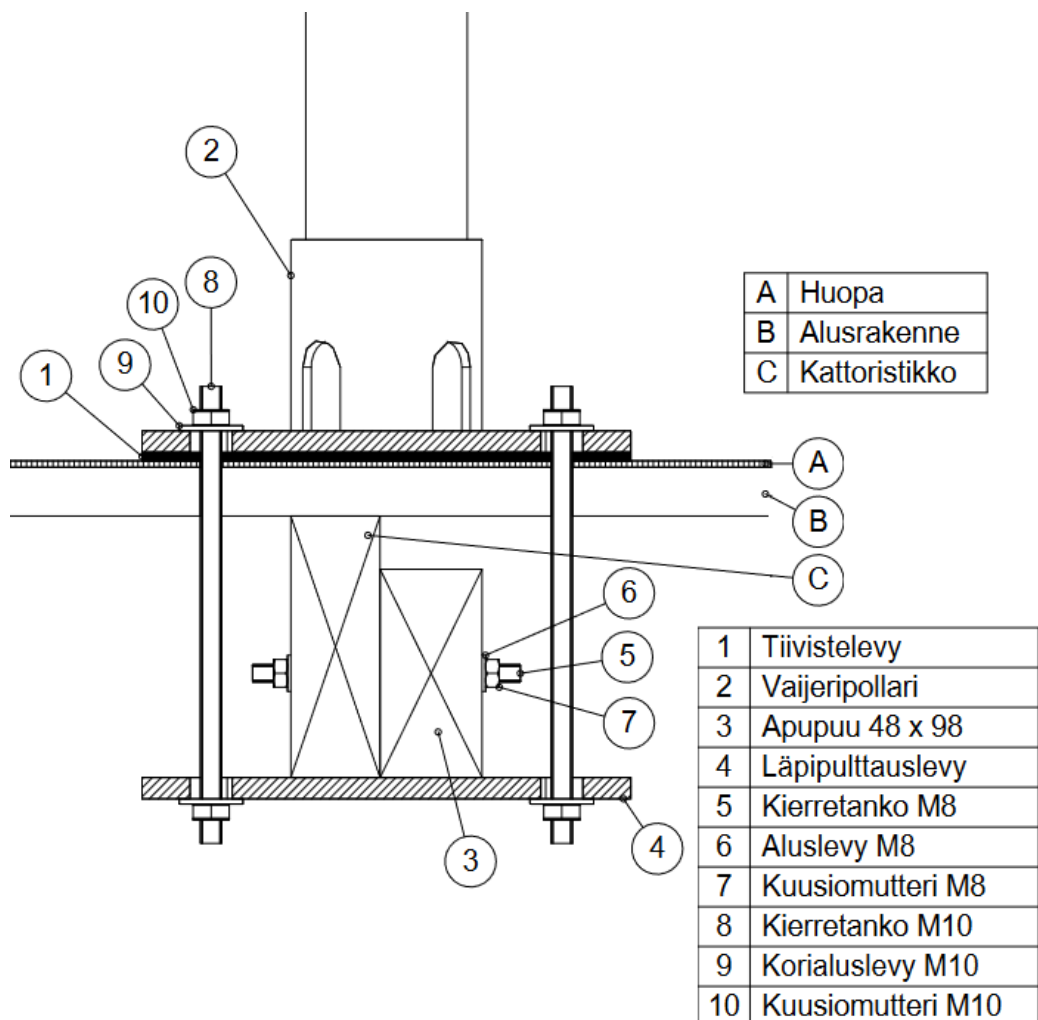
Kuva 4 Maisemamaalauksenkatu 1 aurinkopaneeliasennuksia (Paula Alanko)

Kattopollarin kaltaisen ankkurointijärjestelmän käyttö aurinkoenergiajärjestelmien asennuksissa varmistaa tukevan ja kiinteän asennusalustan paneelien telineille. Kuitenkin jälkiasennuksien näkökulmasta uusi pollariasennus on hyvin syväälle kattorakenteeseen kajoava asennustapa, sillä käytännössä koko vesikaton rakenne kantavaan betoniin saakka täytyy poistaa pollarin asentamiseksi. Tämän takia pollariasennukset ovatkin potentiaalisimpia asennustapoja uudisrakennuskohteissa tai vesikattokorjausten yhteydessä, jossa katon vedeneristys- ja eristyskerroksia poistetaan muutoinkin.

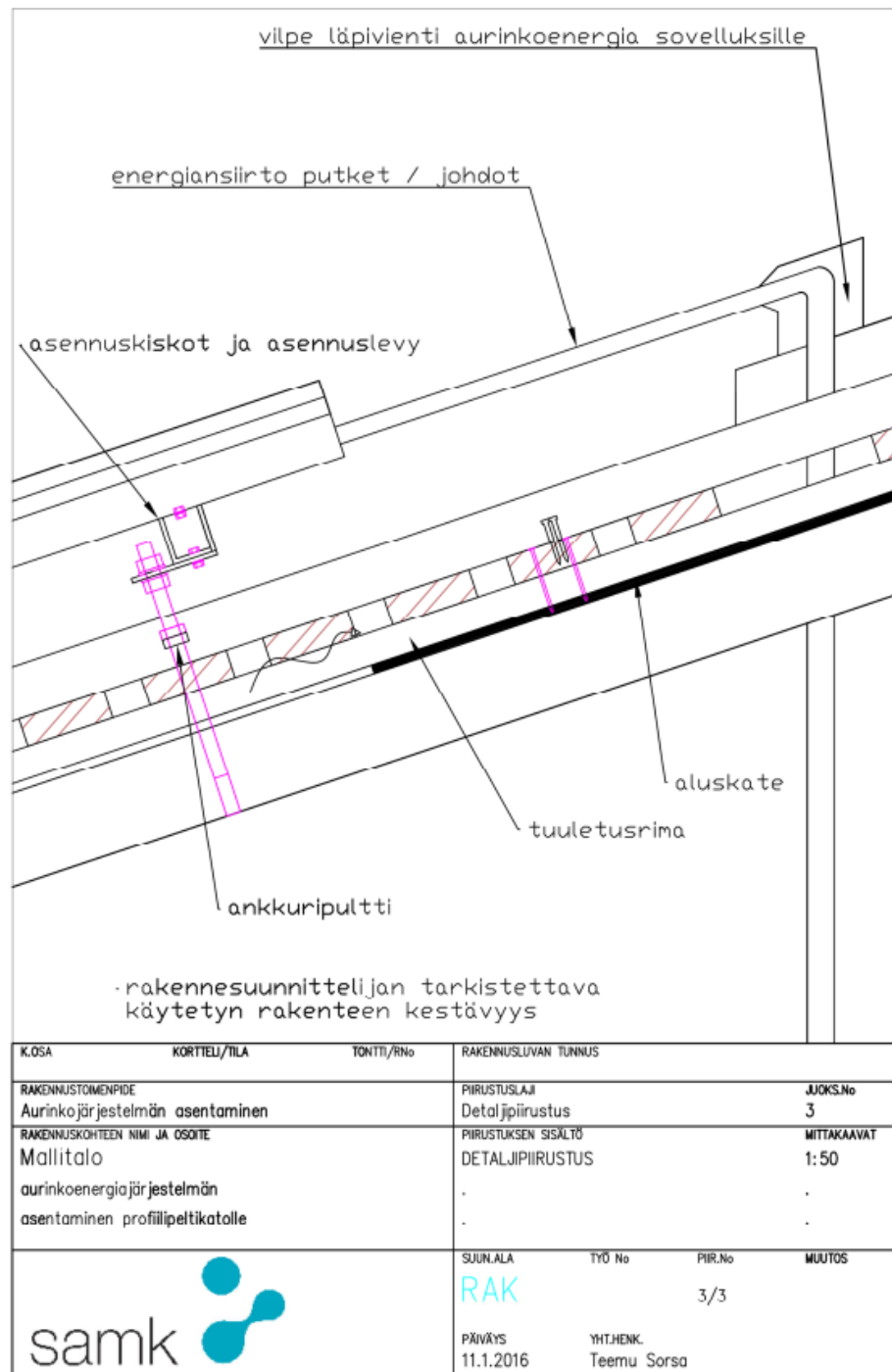
6.1.2 Puurakenne

Puiset kattokannattajat ovat yleisempiä jyrkkien vesikattojen kantavina rakenteina, joissa vesitiivis kerros ei ole kattorakenteen ylin kerros. Näillä katoilla on myös yleisempää asentaa aurinkokeräimien tai paneelien tukirangat tai telineet kiinni katteeseen, jolloin itse kantavaan rakenteeseen ei tarvitse kajoa lainkaan. Kuitenkin joissain tapauksissa voi olla tarpeen kiinnittää osia suoraan katon kantaviin puurakenteisiin, jolloin asennus on osin kattopollariasennusta vastaava.

Kuviossa 34 on esitetty Vesivek Oy:n kiinnitysohje kattopollarin asennuksesta kattorakenteeseen, joka koostuu puuristikosta, laudoituksesta ja bitumihuovasta. Huomattavaa kyseisessä kuvassa on kyseessä oleva kattorakenne, jossa katteena oleva huopa toimii myös vesieristeenä ja kattopollarin alla oleva tiivistelevy kiristyy kermiä vasten tiivistäen syntyvän reiän. Jos puurakenteiseen kattoon, jossa on erillinen aluskate, asennettaisiin kattopollarityyppisesti tukirakenteita, tulisi ristikon päällä olevaan aluskatteeseen syntyvä reikä tiivistää kiinnityspultteihin. Sama ongelma toistuu Teemu Sorsan opinnäytetyössä ja kuvion 35 detaljipiirustuksessa, jossa ankkuripultit läpäisevät vesikaton aluskatteen, eikä sen tiivistystä ole merkitty lainkaan.



Kuvio 34 Kattopollarin asennus puuristikoon (Vesivek Oy n.d.)



Kuvio 35 Detaljipiirustus, Aurinkoenergiajärjestelmän asentaminen profiilipeltikatolle (Sorsa 2016)

Kantavat puiset rakenteet tulee tarkastella kantavuuden varalta samoin kuin betonisetkin. Kuitenkin esimerkiksi puisten kattoristikoiden sijainnit kannattaa ottaa huomioon muutoinkin asennuksia suunniteltaessa, jotta kuormien tasainen jakautuminen voidaan varmistaa.

6.2 Pintamateriaalin vaikutus

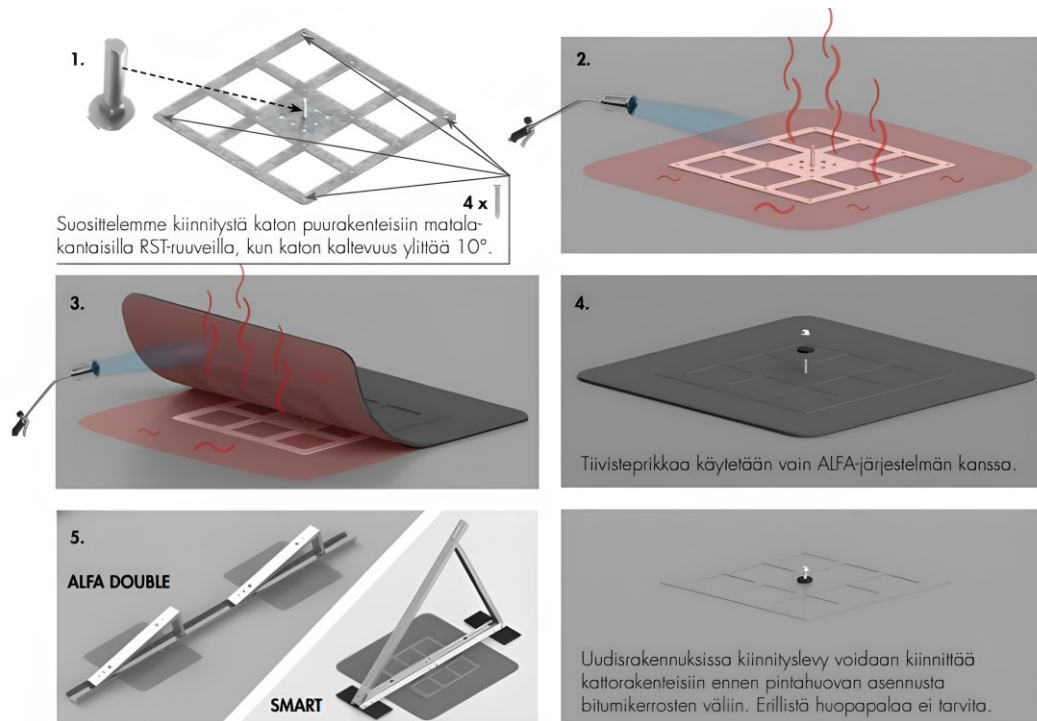
Kuten aikaisemmin todettiin, katon pintamateriaali ja kantava rakenne eivät ole toisistaan täysin erillisiä tekijöitä. Erityisesti korjausrakentamisessa ja jälkiasennuksissa katon pintarakenteella ja etenkin katteella on merkitystä aurinkojärjestelmien asennusmenettelyyn, sillä järjestelmät voi olla järkevämpi asentaa kiinni vain katon pintamateriaaleihin syvemmän rakenneavauksen sijasta.

6.2.1 Kermikate

Kermikatteisille loiville katoille aurinkopaneelit voidaan asentaa erilaisten metallisten runkojen avulla. Esimerkkinä tällaisesta asennusratkaisusta voidaan käyttää suomalaisen Orima-Tuote Oy:n Orima® Solar- järjestelmiä (kuva 5). Sekä SMART- että ALFA-telinejärjestelmät koostuvat kolmion mallisista kattojaloista (joiden kulma määrittää aurinkopaneelin kallistuskulman), paneelit jalkoihin ankkuroivista pääty- ja keskikiinnikkeistä, jalkojen alle tulevasta suojamatosta, ja mahdollisesti UP- kiinnityslevykokonaisuudesta ja tuulensuojalevyistä (kuvio 36, kuvio 37).



Kuva 5 Painotettava tasakattoratkaisu ALFA, tasakatolle tarkoitettu telineratkaisu (Orima-Tuote Oy, n.d)



Kuvio 36 UP-kiinnityslevyn asennus havainnollistettuna (Orima-Tuote Oy, n.d)



Kuvio 37 Orima-Tuotteen SMART- ja ALFA-järjestelmiin sopivat tuulensuojalevyinä ja painoina toimivat "helposti saatavilla olevilla vakiokoon pihalaatat" jotka ladotaan järjestelmän painopidikkeisiin (Orima-Tuote Oy, n.d)

Huopakatolle asennuksia tehtäessä halutaan usein välttää vedeneristyksenäkin toimivan kermikatteen rei'itämistä ja aurinkovoimalan alle tai ympärille jäävän kermipinnan vaurioittamista. Näin voidaan estää vesikaton kosteusvauriot ja säilyttää vesikaton tekninen käyttöikä. Kuitenkin huopakatteille on saatavilla

useita erilaisia tiivistysosia, jotka hitsataan bitumin avulla, jolloin saadaan aikaan yhtenäinen, tiivis ja vettä eristävä kerros. Kattoliitto suosittelee käyttämään vesikatoilla pyöreitä läpivientejä, joihin vettä eristävä kermi voidaan liittää tehdasvalmisteisilla läpivientitiivisteillä. Vesikattoläpivientien tiivisteiden yleisin valmistusmateriaali on EPDM-kumi, joka kiristetään läpiviennin ympärille ruostumattomasta teräksestä valmistetulla kiristyspannalla. (Toimivat katot 2020, Vesikaton yksityiskohdat) Kannakkeet tulisi sijoittaa niin, että kiinnikkeet tai tiivistyslaippa ei osu katteen liitossaumojen kohdalle (RT 103076 Verkkoon kytetyt aurinkosähköjärjestelmät 2019).

Jyrkillä huopakatoille alusrakenteen läpi ankkuroitaessa asennuksiin voidaan käyttää esimerkiksi kuvan 6 mukaisia ankkuripulttitiivisteitä. Näiden ankkuripulttien varaan muodostuu aurinkovoimalan profiilikiskojen verkko (kuva 7).



Kuva 6 Aurinkopaneelien kehikon kiinnityspisteenä toimiva ankkuripultti tiivisteinen jyrkällä kermikatolla (Aurinkovirta.fi 2023)



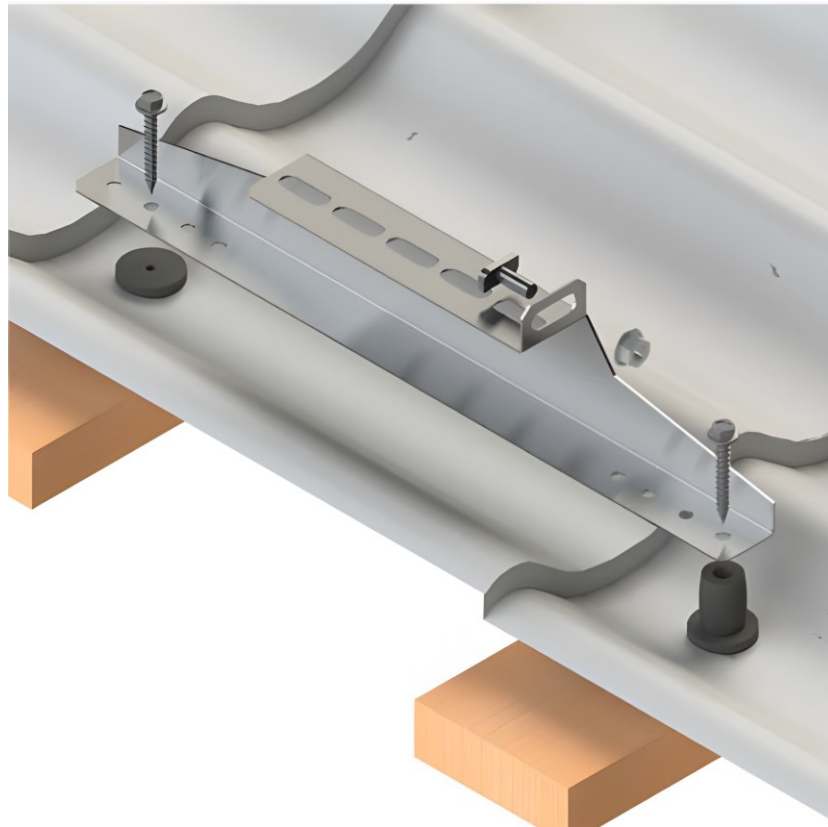
Kuva 7 Jyrkkä palahuopakatto valmisteltuna ankkuripulteilla ja profiilikiskoilla paneeliasennuksia varten (Aurinkovirta.fi 2023)

6.2.2 Peltikate

Peltikaton rakenne on samankaltainen kuin tiilikatteisen katon. Useimmiten kantavana rakenteena on puiset kattotuolit, joiden päällä on vedenpitävä aluskate ja rimoin tuettu tuuletusväli ruoteineen (kuva 30, kuva 44). Rimojen päällä on harva- tai umpilaudoitus, jota kutsutaan myös ruodelaudoitukseksi. Peltikatteen kiinnitys laudoitukseen riippuu peltikatteen tyypistä. Profiilipeltikate kiinnitetään laudoitukseen profiilin läpi peltikateruuveilla, saumattu peltikatto taas ankkuroidaan laudoitukseen pystysaumoihin saumattavilla kiinnitysluskoilla. (RT 85-11158 Konesaumattu peltikatto 2014.)

Profiilipeltikate

Aurinkoenergiajärjestelmän kiinnikkeen asennus tapahtuu joko ankkuripulttien tai kateruuvien avulla, jotka ruuvataan katteen läpi kiinnikeprofiilin pohjasta ruodelautoihin. Ankkuripultin ja peltikatteen rako tiivistetään EPDM-kumisella tiivisteellä, joka kiristyy katteen ja ankkuripultin kannan väliin. Näiden kiinnikkeiden varaan asennetaan aurinkojärjestelmän profiilikiskot, joihin itse paneelit ankkuroituvat. (Orima-Tuote Oy, n.d; kuvio 38)



Kuvio 38 Tiilikuvioiselle peltikatteelle tarkoitettu asennuskiinnike (Orima-Tuote Oy, n.d)

Saumattu peltikate

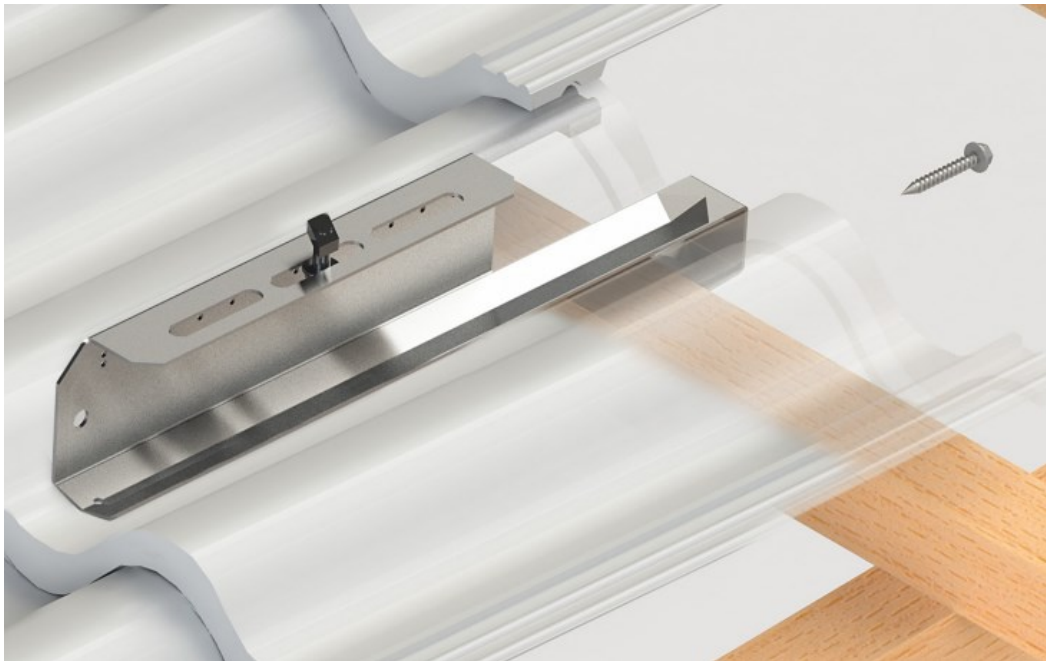
Saumattuun peltikatteeseen aurinkojärjestelmän kiinnittäminen toteutetaan samaan tapaan kuin kattoturvatuotteiden asennus peltirivien saumoihin kiinnittyvillä puristuskiinnikkeillä. Tällainen puristuskiinnike on esitetty kuvassa 8 ja liitteessä 4 (DET 008). Puristuskiinnikkeillä aurinkojärjestelmän kiinnittäminen on yksinkertaista, eikä se vaaranna vesikaton vesitiiveyttä.



Kuva 8 Saumatun peltikaton puristuskiinnike (Aurinkovirta.fi 2024)

6.2.3 Tiilikate

Tiilikatteiselle katolle aurinkopaneeleja asennettaessa käytetään tälle kattotyypille suunniteltua tiilikaton kiinnitystelinettä. Kiinnitys hoidetaan tiilen alle kiinnitettävien tiilikattokoukuiksi tai majavanhänniksi kutsuttujen teräsprofiilien avulla. Tiilikattokoukun tulee olla sellainen, ettei koukku kuormitettuna painu alas ja vahingoita tiiltä. Koukun tulee myös palautua muotoonsa, kun esimerkiksi lumi-kuorma poistuu. Koukut kiinnitetään kattotuolin yläpaarten ja korotuslevyn päälle puuruuveilla. Tällä korotus- tai tukilevyllä koukku nostetaan sellaiselle korkeudelle, että katon suuntainen osa tulee ulos kahden tiilen välistä koskettamatta kumpaakaan tiiltä. Tarvittaessa päälle tulevaa tiiltä voidaan hieman lojeta koukun kohdalta (kuvio 39). (Aurinkovirta.fi 2024)



Kuvio 39 Tiilikattokoukun asennus kattoon, ankkurointi apupuuhun (Orima-Tuote Oy, n.d)

Tiilikattokoukkuja on lukuisia eri mallisia eri valmistajilta. Ne ovat toimintaperiaatteeltaan samanlaisia, mutta koukkuja valitessa tulee varmistua siitä, että aurinkojärjestelmän profiilikiskot saadaan kiinnitettyä oikein päin koukun päälle.

Tiilikaton erikoisratkaisuihin lukeutuu myös sähköläpivientien erikoisosat. Kun tiilikatolla halutaan tehdä läpivienti keskelle lapetta, voidaan käyttää erityisiä muokattuja läpivientiosia. Näistä esimerkkinä Vilpe Oy:n Solar tiili- läpivienti, kuvassa 9. Läpiviennin alle tuleva laippaosia tiivistetään aluskatteeseen tiivisteillä ja liimamassalla, ja päälle tuleva kansi ja lisättävä kaapelien kumisukka estävät lumen ja sateen pääsyn katteen alle. Muotoiltu muovinen kansi sulautuu myös visuaalisesti kattopintaan.



Kuva 9 Vilpe Oy:n "Solar tiili" -läpivientiosa tiilikatolle (Vilpe Oy n.d.)

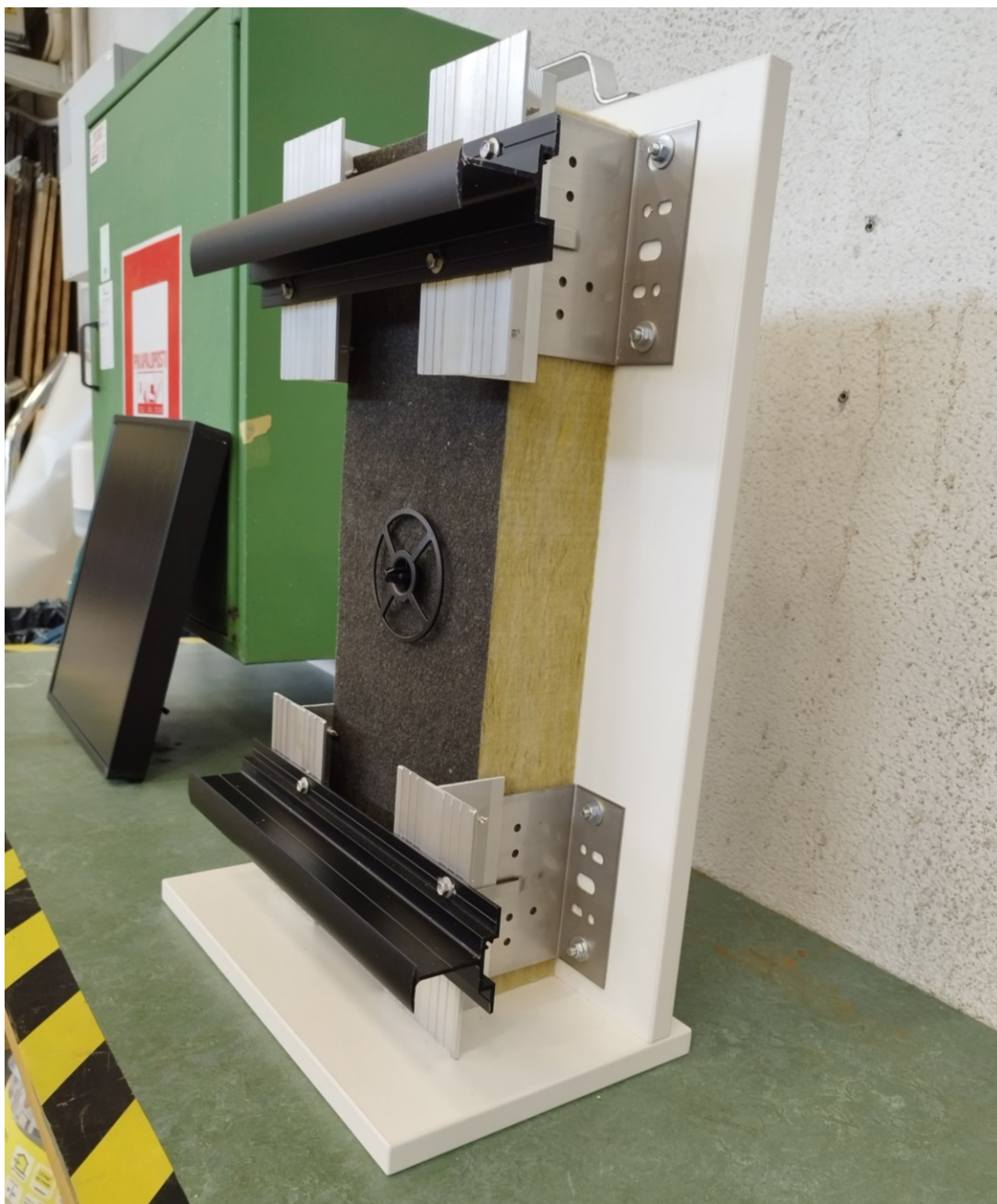
7 MUUT JULKISIVURAKENTEET

7.1 Julkisivuasennuksista

Seinään asennettavien aurinkopaneelien etuna on, että paneelien päälle ei kerry lunta tai muita varjostusta aiheuttavaa materiaalia, kuten perinteisimmissä aurinkopaneelien kattoasennustavoissa. Seiniin asennettavien aurinkopaneelien etuna on myös se, että ne eivät haittaa katoilla liikkumista ja kattojen normaaleja huoltotoimenpiteitä kuten lumien pudottamista tai puhdistamista.

Pystysuorat seinäasennukset eivät ole optimaalisessa kulmassa aurinkoon nähden, mutta niillä on omat etunsa. Esimerkiksi matalalta paistavan auringon hyödyt saadaan paremmin käytettyä hyväksi verrattuna vaakatasoon asennettuihin paneelisiin. Kuitenkin tiheästi rakennetulla kaupunkialueella julkisivut voivat olla liian varjoisia joko nyt tai tulevaisuudessa. Pystysuorille seinäasennuksille on myös omat rajoitteensa. Rakennusten seinien suunnat ovat yksi rajoittava tekijä kuten jyrkkien kattolappeidenkin tapauksessa. Lisäksi aurinkopaneelien ulkonäölliset seikat rajoittavat myös niiden käyttöä, koska ne eivät välttämättä arkkitehtonisesti sovi kaikkiin rakennuksiin.

Aaltonen tutki vuoden 2017 insinööriyössään aurinkopaneelien käyttöä julkisivumateriaalina ja käytti esimerkkikohteenaan Turkulaista KOy Jyrkkälänpolkua, johon toteutettiin yhden kiinteistön kokonaisen seinän saneerauksessa julkisivuun integroitu 132 m² paneelikenttä Sto Ventec Art-line aurinkopaneelijärjestelmällä. Opinnäytetyön esimerkkikohteen julkisivusaneeraus oli aurinkopaneelien materiaalityön tietojen mukaan ensimmäinen pohjoismaissa tehty julkisivukorjaus, jossa käytettiin aurinkopaneelia varsinaisena julkisivumateriaalina. Sto:n aurinkopaneelijulkisivujärjestelmällä on myös B-s1, d0 -paloluokitus, joka mahdollistaa sen käytön julkisivumateriaalina (Sto.fi). Ston nykyisen aurinkopaneelijulkisivujärjestelmän pienoismalli on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10 StoVentec Photovoltaics Inlay-julkisivujärjestelmän elementin malli, jossa näkyvissä seinäkiinnikejärjestelmä, tuulensuojapinnoitettu eristevilla ja aurinkopaneelielementtien kannakekiskot. Pienoismalli aurinkopaneelielementistä taka-alalla (Paula Alanko)

Aurinkolämpökeräimiä voidaan integroida julkisivuihin ilman yhtä suurta esteettistä vaikutusta. Tästä esimerkkinä toimii Porin keskustan uimahalli, jonka kuparikatteiden julkisivun alle on asennettu aurinkokeräimiä 80 m² edestä, joiden vuosituotto on noin 120 000 kWh (kuva 11).



Kuva 11 Porin keskustan uimahalli, kuparikatteen alla aurinkolämpökeräimiä (Projektiutiset.fi 2015)

Myös K -ryhmä on käyttänyt aurinkopaneeleja julkisivussa: Helsingin Herttoniemessä sijaitsevan K-Supermarket Hertan julkisivuun on asennettu 140 aurinkopaneelia, joiden teho on 43,4 kWp ja tuotto noin 30 MWh vuodessa. K-Supermarket Hertan kauppias Markus Ranne kommentoi paneeleja seuraavasti:

Aurinkovoima on hyvä, uusiutuva energiamuoto kaupan sähkön lähteeksi. Aurinkovoimalamme tuotanto on suurimmillaan kesällä, jolloin myös käytämme eniten sähköä kaupan jäähdyttämisessä ja kylmlaitteissa. Kesäaikaan aurinkovoimalamme tuotannolla pystytään likimain kattamaan ilmanvaihtojärjestelmämme vaatima sähkö (Kesko.fi 2019)

Etenkin lasipintaisiin julkisivuihin aurinkosähköjärjestelmiä on helppo integroida, ja markkinoilla on useita julkisivujärjestelmiä, joihin on integroitu tai voidaan integroida aurinkopaneeleja. Tästä esimerkkinä Ruukin Liberta -lasijulkisivu (kuva 12).



Kuva 12 Haminan kampus (Ruukki Construction Oy Liberta Glass)

Asuinkiinteistöjen julkisivuilla korjaushankkeissa yksi mahdollinen asennuspaikka on parvekekaiteet. Esimerkkinä toimii As Oy Helsingin Salvia, jossa aurinkopaneelit korvaavat lasisten parvekekaiteiden näkösuojina toimivat umpiosat (kuva 13). Kyseisessä kohteessa paneelit on asennettu jo uudisrakennusvaiheessa 2000-luvun alussa. Kohteen isännöitsijä kertoi puhelinhaastattelussa paneelien nykytilasta, että osa paneeleista ei ole enää toiminnassa, ja jäljellä olevien paneelien sähköntuotto käytetään pääosin asuntokohtaisten ilmanvaihdon tulopoistokoneiden käyttöön. Kuitenkin tällainen järjestelmä voisi olla jälki-asennuksissakin varteenotettava vaihtoehto, jos parvekejulkisivu on muutoin otollinen paneeliasennuksille.



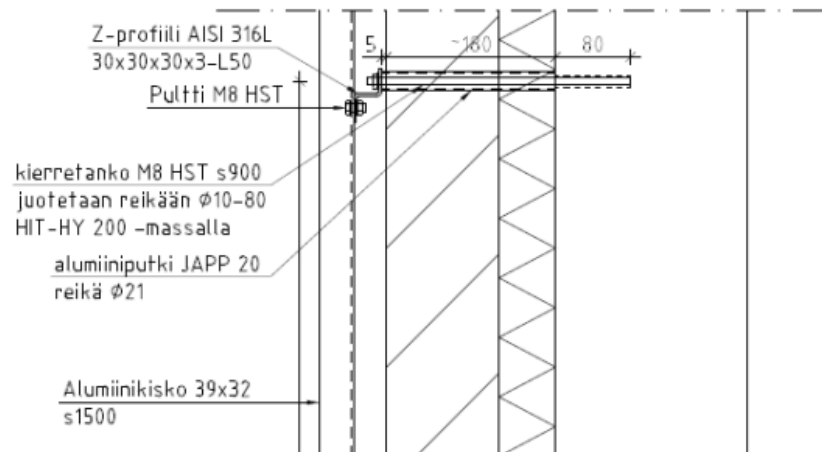
Kuva 13 As Oy Helsingin Salvia parvekejulkisivu, jossa kaiteissa aurinkopaneelleja (RT 103076 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät 2019)

7.2 Julkisivun rakenteen vaikutus

Samoin kuin vesikatoilla, vaikuttaa julkisivun materiaali ja kantava rakenne aurinkopaneelien asennukseen. Kuitenkin asennus on jokseenkin vähemmän riskialtista kuin vesikatoilla, joissa vedenpitävän kerroksen vaurioittaminen voi herkästi aiheuttaa merkittävämpiä rakennevaurioita.

Samoin kuin kattorakenteissa, julkisivuun kiinnitetään materiaaliriippuvainen ankkuri, johon profiilikiskojen avulla taas ankkuroidaan aurinkojärjestelmän muut osat. Aurinkopaneeleja ja -keräimiä voidaan käyttää muiden tuulettuvien julkisivurakenteiden tavoin esimerkiksi energiatehokkuusparannustoimien yhteydessä purkavan tai vain uudelleenverhoavan julkisivukorjauksen toteutukseen. Esimerkiksi lisäeristyskorjauksessa aurinkopaneelia tai -keräintä voidaan käyttää osin tai kokonaan julkisivun verhoavana paneeliosana.

Betonirakenteiseen julkisivuun, kuten betonisandwichrakenteeseen on verrattain helppo ankkuroida erilaisia kannakkeita. Esimerkiksi betoniruuveilla, kiila-ankkureilla, kiinnitystulpilla tai kierrangolla ja kemiallisella injektointilla saadaan aikaan lujia ja kestäviä liitoksia, joihin kiskot ja muut tukirakenteet voidaan ankkuroida. Vertailukohtaa voidaan hakea esimerkiksi verhoavien julkisivujen maailmasta, jossa uuden julkisivun katelevy ankkuroidaan betonisandwichelementin ulkokuoreen tai ulko- ja sisäkuoreen. Kemiallista injektointia voidaan hyödyntää myös muuratuissa julkisivuissa, vaikkakin julkisivumuurausten tapauksessa voi olla tarpeellista ankkuroida tartunta kantavaan betonirakenteeseen saakka (kuvio 40, liite 4).



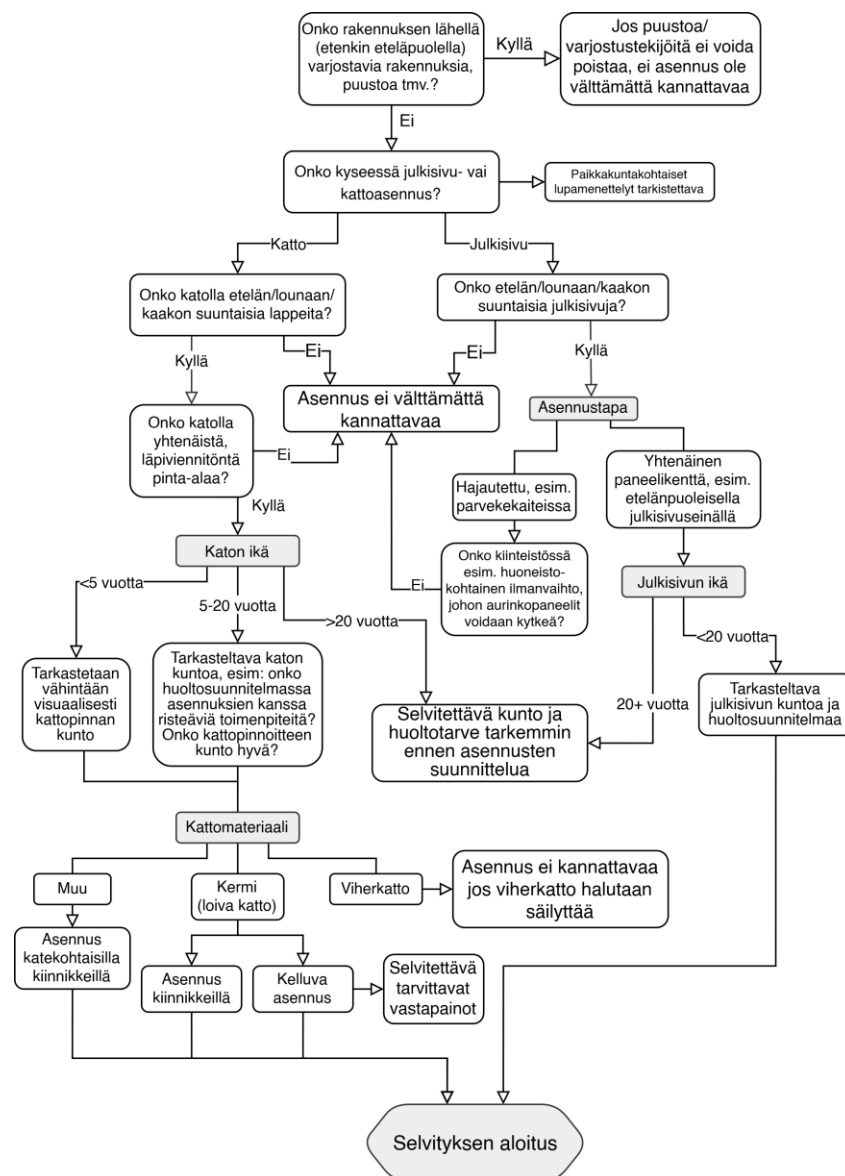
Kuva 5.11. Suunnitelma kiskon kiinnittämisestä seinään.

Kuvio 40 Aurinkopaneelin kiskon asennussuunnitelma (Lasonen 2016)

Puurankaisen julkisivun tapauksessa pääasiallinen ankkurointimetodi on asennusrankojen ruuvikiinnitys. Rinnastaen seinätikkaiden asennuksiin, tulisi aurinkopaneelien tukirangat ankkuroida myös ruostumattomin kiinnikkein julkisivun kantavaan runkoon saakka. Jos tarvitaan suurempia kiinnikeosia, joita varten julkisivulaudoitusta tulee lovetta, tulisi varmistaa että loveukset heittävät ulospäin, jotta voidaan estää julkisivun vettäminen. Jos puurankaiseen seinään tarvitsee tehdä läpivientejä, tulee seinän höyrynsulun eheys varmistaa tiivistysmassalla tai erillisellä läpivientiosalla (liite 4, DET 013). Läpiviennit tulee myös toteuttaa ulospäin kaatavina, jolloin vesi ei valu eristetilaan päin.

8 POHDINTA

Aurinkoenergiajärjestelmät ovat sekä Suomessa että kansainvälisesti yhä yleis-
tymässä. Kuitenkaan paneelien asennuksesta ei löydy juurikaan saatavilla ole-
via suunnitteluohjeita. Tämän opinnäytetyön tavoitteena olikin koostaa ohjeita
aurinkoenergiajärjestelmien kuormitusten mallinnuksesta, järjestelmien sijoitte-
lusta ja rakenteellisesta toteutuksesta. Lisäksi työn aikana ilmi tuli tarve aurin-
koenergiajärjestelmien suunnittelun vaiheiden jäsentämiselle. Kuvion 41 vuo-
kaaviossa on esitetty aurinkoenergiajärjestelmien asennuksien suunnittelua
edeltävä tarkastelu, joka auttaa kohteen potentiaalisuuden haarukoinnissa.
Asennuksien kannattavuuteen vaikuttaa moni tekijä, ja esimerkiksi vesikattojen
kuntoarviointia ei käsitellä tässä työssä.

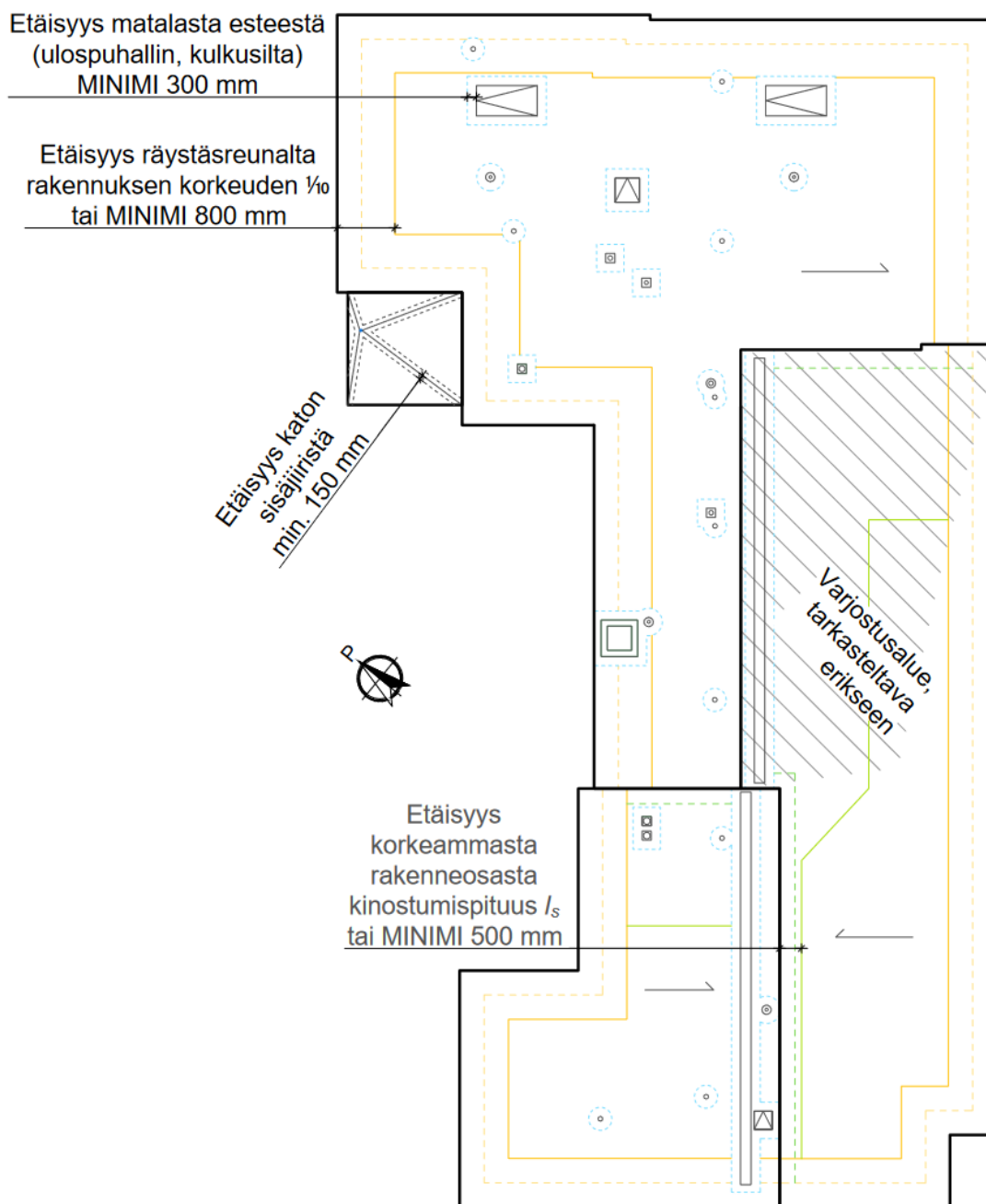


Kuvio 41 Aurinkopaneelijärjestelmän asennuksen tarkastuslista

Työ laajennettiin jo alkuvaiheissaan koskemaan myös aurinkolämpökeräimiä. Jo kohdekäynnillä 11.1.2024 havaittiin, että aurinkolämpökeräimet ja -paneelit oli asennettu vesikatolle hyvin samankaltaisilla ratkaisuilla. Osin työ ohjautui kuitenkin enemmän aurinkopaneelien tarkasteluun, sillä lämpökeräimien käyttömahdollisuudet kerrostalokiinteistöissä todettiin työn aikana huomattavasti rajallisemmiksi kuin sähköä tuottavien paneelien. Kuitenkin järjestelmien sisällyttäminen työhön on merkityksellistä, sillä keräinelementtien vaikutus kuormitukseen on hyvin samankaltainen kuin aurinkopaneelien, ja keräimet tulisi tyypistää huolimatta huomioida samalla tavoin kuormitusvaikutuksia arvioidessa, kun niiden asentamista harkitaan.

Esimerkiksi paneeleihin tai keräimiin vaikuttavista tuuli- ja lumikuormista ei ole standardi- ja asetustason ohjeita, joten kuormitusten analysoinnin työkalut ovat rajallisia. Asennuksesta syntyviä kuormia on vaikea koota esimerkiksi kattavaksi taulukoksi, sillä muuttujia on niin paljon. Järjestelmäosiin kohdistuvaan tuuli- ja lumikuormaan vaikuttaa muun muassa ympäröivät rakennukset, maastonmuodot, paikkakunta ja paneelien tai keräimien asennuskulma ja -paikka. Kirjallisuuslähteistä koottuja etäisyysvaatimuksia on esitelty kuviossa 42 ja liitteen 1 kohteiden aurinkopaneelikenttien sijaintien luonnostelussa.

Kohdekäynneillä 16.2. havaittiin myös, että liitteessä 1 käsitellyn Maisemamaalauksenkatu 1- kiinteistön tapauksessa uudisrakennusvaiheessa ei ole noudatettu aurinkopilarivalmistaja Finnwind:n ohjeistamaa 800 mm etäisyyttä räystääreunalta. Kuitenkin aihetta käsittelevässä kirjallisuudessa ohjeistetaan kulmaan tasakatoille asennettaville paneeleille 800 mm etäisyyttä tai enemmän, ja myös virtuaalinen tuulitunnelitarkastelu tukee tätä suositusta. Tämän käyttöä tukee myös se, että case-kohteissa kyseistä esitettyä suositusta rakennuskorkeuden kymmenyksestä tai 800 mm minimietäisyyttä käytettäessä ei siitä syntynyt merkittävää paneelikentän kokoa rajoittavaa tekijää.



Kuvio 42 Aurinkopaneeleille sovellettavia minimietäisyyksiä

Eurokoodi-standardien tuulikuormien laskentamenetelmiä ei ole muodostettu katelevyjen tai aurinkopaneelien kuormitusten tarkastelua varten, ja niiden soveltaminen tähän käyttöön onkin kankeaa. Standardien laskentaohjeisiin perustuen aurinkovoimalakenttien tuulikuormitusten analysointi on hankalaa, ja vaikka esimerkiksi paneelien käsittely katoksina tuottaa jokseenkin virtuaalisen tuulitunnelin simulaatioita vastaavia tuloksia, menetelmä ei ole erheetön. Tämän vuoksi työssä onkin käytetty lisäksi virtauslaskentaohjelmaa (CFD) tuulikuormien määrittämiseksi monimutkaisempien rakennusmassojen ja aurinkopaneelikenttien yhteydessä.

CFD-simuloinnin käyttö jokaisen aurinkopaneelikentän kohdalla ei vaikuta realistiselta ratkaisulta, sillä tarvittavat ohjelmistot ovat kalliita ja niiden käyttö vaatii erikoisosaamista ja paljon laskentatehoa. Esimerkiksi RWIND:in luotettava käyttö vaatii virtuaalisen tuulitunnelin toiminnan syvällisempää ymmärrystä ja osaamista ohjelman asetusten säätämisen, jotta tuloksia voisi verrata Eurokoodimitoitukseen. Tämän lisäksi etenkin monimutkaisten rakennusmassojen kanssa laskentasolumäärä täytyy kasvattaa jopa kymmeneen miljooniin soluihin, jotta päästäisiin neliömetrien kokoisten paneelien osalta tarpeeksi pieniin solukokoihin. Kuitenkin CFD-simulointi toimii hyvänä varmistuskeinona, ja jo esimerkkitaustien simulaatiot antavat lisäperustaa katosvertauksen käyttöön tuulikuormien määrittelyssä.

Myöskään lumikuormien analysointiin ei ole standardisoitua menettelyä. Esimerkiksi sahakattoon verrattaessa esimerkkilaskentatapauksessa paneelikentän kuormat eivät kasvaneet, koska aurinkopaneelirivien välinen etäisyys oli pien, ja siten väliin muodostuva tasainen alue jäi huomioimatta. Kuitenkin sekä tämän työn kohdekäynneillä että aikaisemmassa kirjallisuudessa on havaittu etenkin korotettujen aurinkopaneeli- ja keräinkenttien keräämä lisälumikuorma. On kohtuullista ajatella, että etenkin vähäisesti (< 1 m) kattopinnasta korotettujen paneelien tai keräimien kohdalle voi muodostua korotuksen korkuinen lisälumikinos ja siten lisälumikuorma.

Mielenkiintoista oli myös olemassa olevien resurssien hyödyntämispotentiaali etenkin aurinkovoimaloiden sijoittelussa. Esimerkiksi sekä varjostuksien analysointiin käytetty Revit-ohjelmisto, että tuulianalysointiin käytetty RWIND pystyvät käyttämään .ifc-tiedostoja. Ifc-tiedostomuoto (Industry Foundation Classes) on avoin tiedostomuoto, jota lukuisat rakennustietomallinnusohjelmat käyttävät, ja jota käytetään paljon esimerkiksi suunnittelualojen väliseen tiedonsiirtoon. Tämän työn aikana joistakin A-Kruunun kohteista löytyi jo valmiiksi kiinteistön rakennusvaiheessa tehty ifc-malli, joka pystyttiin suoraan lisäämään kuhunkin ohjelmaan analysointia varten (liite 1).

Kuitenkaan julkisivujen varjostuksien ja tuulikuormien laskentaan ei tarvitse tehdä yhtä tarkkaa mallia kuin käytettäisiin rakennusvaiheessa suunnitteluun, ja muista kohteista karkeasti yksinkertaistetun mallin tekeminen Revitin avulla oli hyvin nopea ja helppo prosessi, vaikka työn taholta jouduttiinkin tutustumaan ohjelman käyttöön ensimmäistä kertaa. Voidaankin todeta, että ifc-mallin saaminen osana tilaajalle luovutettavaa suunnittelumateriaalia ja sen säilyttäminen myöhempää käyttöä varten on hyvin edullista esimerkiksi aurinkoenergiajärjestelmien jälkiasennuksien suunnittelun kannalta. Tällöin vältetään suunnitelmapiirustuksien pohjalta tehtävän mallin tekeminen, kun voidaan käyttää valmiiksi saatavilla olevaa ifc.-mallia.

Vaikka kuormitusten osalta ei ole määräyksiä, tässä työssä saatiin hyvin selville kriittisimmät tarkasteltavat kohdat aurinkoenergiajärjestelmien asennuksissa ja selvitettyä niille rakenneteknisiä ratkaisuja. Asennustavoissa tyydyttiin esittelemään valmiiksi kaupallisesti saatavilla olevia menetelmiä ja käyttämään näitä rakenneyksityiskohtien tarkasteluun. Näiden perusteella tehtiin myös periaatetason detaljisuunnitelmat asennuksista (liite 4) ja laskentapohja (liite 3). Kuitenkin monissa asennusmetodeissa asennusosat voivat poiketa toisistaan, mutta asennustavan periaate on samankaltainen. Myös läpivienneissä luotetaan valmiiksi kehitettyihin ratkaisuihin, joita on käytössä jo muissa asennettavissa rakenteissa kuten kattopollareissa, lumiesteissä ja seinätikkaissa. Vesikattoasennuksissa ja vesikaton läpivienneissä päällimmäinen huolenaihe ja kriittinen kohta on vesitiiviin kerroksen eheyden säilyminen ja vesikatteen tiivistäminen läpivientien ympärille. Samoin julkisivuasennuksien yhdistävä tekijä on julkisivun vettymisen estäminen ja rakenteen tuuletuksen varmistaminen. Vaikka työskentely- ja asennusmetodeihin ei otettu kantaa laajemmin, oli todettava, että esimerkiksi tasakatoille toteutettaessa järjestelmien asennustyö on monin tavoin esimerkiksi julkisivuasennusta helpompaa. Tämä heijastuu varmasti myös asennuskustannuksiin ja työturvallisuustoimin.

Lopuksi täytyy vielä kiinnittää huomiota uudiskohteiden ja korjauskohteiden välisiin eroihin. Alun perin työssä oli tarkoitus tarkastella pääasiallisesti korjausrakennus- ja jälkiasennuskohteita, mutta kun havaittiin jo uudisrakennusvaiheessa käytettävien asennustapojen olevan pitkälti samanlaisia, päätettiin työ laajentaa koskemaan myös uudisrakennuskohteita. Asennustavoille oli helppo suunnitella periaatetasoiset asennusdetaljit, mutta rakennelaskemien osalta jokainen asennuskohde on uniikki. Vaikka tämä opinnäytetyö ei ota kantaa esimerkiksi vanhojen puukannattimien kestokyvyn arviointiin, tarjoaa se työkaluja aurinkoenergiajärjestelmistä johtuvaan kuormien muutosten arviointiin. Etenkin korjauskohteissa korostuvat muut vanhojen rakenteiden muutoksien suunnittelussa vaadittavat osaamisalueet, kuten materiaali- ja rakennetyyppituntemus, joita tämä työ ei käsittele. Toisaalta uudisrakennusten osalta voidaan todeta, että paneelikenttien lisäkuormat voivat olla kasvaa niin huomattaviksi, että ne olisi tarpeen ottaa huomioon etenkin vesikaton rakenteita suunniteltaessa. Näin voidaan välttää rakenteiden kestävyysmuodostetun varmuuden kapeneminen asennuksien vuoksi.

LÄHTEET

Aaltonen, K. 2017. Aurinkopaneelin käyttö julkisivumateriaalina. Rakentamisen koulutus. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö (YAMK). Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2017061413537>

Autodesk. n.d. About Solar Analysis. Verkkosivu. Viitattu Viitattu 17.3.2024. <https://help.autodesk.com/view/RVT/2024/ENU/?guid=GUID-15701517-EB11-460D-9BC9-EDEC7AE68BB9>

Baik, S., Barbose, G. L., Carvallo, J. P., Gorman, W., Miller, C., Prapost, M., White, P. 2024. Evaluating the Capabilities of Behind-the-Meter Solar-plus-Storage for Providing Backup Power during Long-Duration Power Interruptions. eScholarship, University of California. Vaatii käyttöoikeuden. <https://escholarship.org/uc/item/67g0z6s9>

Coulee Energy. 2021. Bifacial Solar Panel Double Sided Solar Panels. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://couleenergy.net/bifacial-solar-panel-double-sided-solar-panels/>

Deambi, S. 2015. From Sunlight to Electricity: A Practical Handbook on Solar Photovoltaic Applications. 3. painos. New Delhi, India: The Energy and Resources Institute. Vaatii käyttöoikeuden. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tampere/detail.action?docID=6318270>.

Dunlop, E. D., Huld, T. A., Ossenbrink, H. A., Šúri, M. 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81(10), 1295–1305. Vaatii käyttöoikeuden. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.12.007>

Arola, M., Rajaniemi, M., Sereda, P. 2023. Aurinkosähköselvitys, A-Kruunu. EcoReal Oy. A-Kruunun asuinkiinteistöjen aurinkosähkön tuotantomahdollisuuksia. Saatavana opinnäytetyön tekijöiltä.

Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S., Suokivi, H. 2001. Aurinko-opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys. Helsinki: Rakennusalan kustantajat

Faninger-Lund, H. & Lund, P. 2000. Aurinkolämmön itserakennusopas. Helsinki: Solpros Ay

Fianti, Paminto, J., Yulianti, I. 2021. The Effect of Surface Color on the Absorption of Solar Radiation. *Physics Communication*, 5(1), 27–32. Vaatii käyttöoikeuden. <https://journal.unnes.ac.id/nju/pc/article/view/33885/12889>

Finnwind Oy. 2019. Aurinkopaneelien asentaminen ja asennuksessa huomioitavaa. Verkkosivu. Viitattu Viitattu 17.3.2024. <https://aurinkopaneelitarjous.fi/blog/aurinkopaneelien-asentaminen-ja-asennuksessa-huomioitavaa>

Finnwind Oy. Aurinkopilari FS-P127. Betonilaattaan tai teräspalkkiin kiinnittyvät kattopilarit. 2021. Tuote-esite. Viitattu Viitattu 17.3.2024.
<https://finnwind.fi/tuote/tasakatto-laattaan-fs-p-pilarilla-10-900-kwp/>

H+H Finland Oy 2004. Suunnittelijan käsikirja. Helsinki: H+H Finland Oy
Helen Oy. 2023. Aurinkolaskuri. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.
https://www.helen.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelipaketit/aurinkolaskuri?=&utm_source=google&gad_source=1&utm_medium=cpc&utm_term=aurinkopaneelit%20katolle%20hinta&utm_content=673603783424&utm_campaign=B2C%20KODIT%20%20%7C%20Aurinkopaneelit%20-%20Pirkanmaa%20D3882a85

Helen Oy. n.d. Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus. Viitattu 17.3.2024.
<https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/yritykset/aurinkovoimaloiden-turvallisuusohje.pdf>

Kattoliitto ry. 2022. Toimivat katot. Helsinki: Suomen rakennusmedia.
https://kattoliitto.fi/wp-content/uploads/2022/03/Toimivat_katot_2022.pdf

Kattoliitto ry. n.d. Katon huoltokirja, peltikatot. Viitattu 17.3.2024. Saatavilla verkossa <https://www.kattoliitto.fi/kaikki-julkaisut/>

Keränen, P. isännöitsijä, As Oy Helsingin Salvia. 2024. Haastattelu 27.2.2024. Puhelimitse.

Kesko.fi. 2019. K-ryhmä pilotoi uutta tapaa hyödyntää aurinkoenergiaa: K-Supermarket Hertan aurinkopaneelit asennetaan kaupan julkisivuun. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://www.kesko.fi/media/uutiset-ja-tiedotteet/uutiset/2019/k-ryhma-pilotoi-uutta-tapaa-hyodyntaa-aurinkoenergiaa-k-supermarket-hertan-aurinkopaneelit-asennetaan-kaupan-julkisivuu/>

Keskustan uimahalli, Pori. 2015. Projektuuutiset.fi. Viitattu 17.3.2024.
<https://www.projektuuutiset.fi/keskustan-uimahalli-pori/>

Kilkki, K. 2018. Aurinkopaneelijärjestelmän kuormitusten mallinnus. Energiatekniikan koulutusohjelma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2018051724179>

Kujo, M. Tuotepäällikkö, Sto Finexter Oy. 2024, Haastattelu 8.4.2024.

Lasonen, J. 2016. Aurinkosähkövoimalan suunnittelu ja toteutus. Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tty-201703291242>

Lenardic, D. 2018. Shading analysis. pvresources.com. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://www.pvresources.com/en/siteanalysis/shadinganalysis.php>

Motiva Oy. 2020. Aurinkolämpöjärjestelmät. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva Oy. 2022. Aurinkosähköteknologiat. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.
https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Motiva Oy. 2023. Aurinkosähkön paloturvallisuus. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_paloturvallisuus

Nissinen, R. 2012. Aurinkopaneelien kiinnitys eri katto- ja seinämateriaaleihin. Tuotekehityksen koulutusohjelma. Hämeen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2012112316165>

Orima-Tuote Oy. n.d. Orima® Solar – Valmiit ratkaisut aurinkopaneelien kiinnitykseen. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://orima.fi/orima-solar/>

Ost, I. 2023. How Many Solar Batteries Are Needed to Power a House?. Solar.com. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024 <https://www.solar.com/learn/how-many-batteries-do-i-need-for-solar/>

Paroc Group Oy. n.d. Loivien kattojen eristysratkaisut. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://fi.paroc.com/kayttokohteet/rakennusten-eristaminen/loivat-katot>

Pekkala, J. 2018. Aurinkolämpö osana kaukolämpöjärjestelmää. Energiatekniikan koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2018091315107>

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto. 2023. Aurinkosähkölaitteiden paloturvallisuusohje. Aurinkosähkölaitteiden paloturvallisuus -työryhmä. Turvallisuuspalvelualueen ohje pelastuslaitoksille. Viitattu 17.3.2024. https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). 2023. European Commission. Verkkosivu. Viitattu 12.10.2023. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

Prume, K. & Viehweg, J. 2018. Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization. Viitattu 17.3.2024 <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/assessing-fire-risks-photovoltaic-systems-and-developing-safety-concepts-risk>

Purotokka Oy. 2024. Aurinkovirta.fi. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://aurinkovirta.fi/>

Pveurope. 2018. Flat roof mounting: Standardised quality needed. Verkkosivu. Viitattu 18.3.2024. <https://www.pveurope.eu/installation/flat-roof-mounting-standardised-quality-needed>

QCELLS Oy. 2016. Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje. https://kauppa.scanofficegroup.fi/WebRoot/vilkasfi02/Shops/2015081104/599E/9653/E546/58A5/C3F0/0A28/1011/A84F/Hanwha_aurinkokeraimet_Asennus-ja_kaeyttoehje_FI_draft.pdf

Rasinkoski, A. 2020. Aurinkosähköjärjestelmien paloriskit ja sammutusturvallisuus. Kirjallisuusselvitys ja näkemys suomen tilanteeseen 2019. Soleras. Viitattu 17.3.2024.

https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien_paloriskit_ja_sammutusturvallisuus.pdf

RT 103076 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. 2019. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Viitattu 17.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

<https://kortistot.rakennustieto.fi/>

RT 38743 Virte Aurinkokatto™ Virte Aurinkoseinä™ Virte Solar Oy. 2016. Tuotetieto. Rakennustieto Oy. Viitattu 17.3.2024.

<https://www.virtesolar.fi/sites/default/files/rt-kortti.pdf>

RT 83-11010 Yläpohjarakenteita. 2010. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Viitattu 17.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/>

RT 85-11158 Konesaumattu peltikatto. 2014. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Viitattu 17.3.2024. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/>

Ruukki Construction Oy Liberta Glass. n.d. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.

<https://www.ruukki.com/building-envelopes/products/facade-claddings/liberta-rainscreen-panels/facade-cladding-detail---rainscreen-panel-glass/liberta-glass>

Ruukki Construction Oy Tietoa teräskatoista. n.d. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <http://www.ruukkikatot.fi/Kaikki-katoista/Tietoa-teraskatoista>

Sons of Solar Oy. n.d. Mikroinvertterit ja aurinkopaneelit. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024. <https://sonsofsolar.fi/mikroinvertterit/>

Sorsa, T. 2016. Aurinkojärjestelmien asennus ja vaikutus rakenteisiin. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. Viitattu 17.3.2024. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201604114143>

Stemann Kristensen, J. & Merci, B. & Jomaas, G. 2017. Fire-induced re-radiation underneath photovoltaic arrays on flat roofs. Proceedings of the Fire and Materials 2017 Conference. Technical University of Denmark.

https://www.researchgate.net/publication/322358956_Fire-induced_reradiation_underneath_photovoltaic_arrays_on_flat_roofs

Sunfixings Ltd. 2017. The importance of the friction coefficient for ballasted solar systems. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2024.

<https://www.sunfixings.co.uk/2017/11/06/importance-friction-coefficient-ballasted-solar-systems/>

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2011. RIL 201-1-2017. Suunnittelu- perusteet ja rakenteiden kuormat. Eurokoodi. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry, Helsinki.

Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2010. SFS-EN 1991-1-4, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Tuulikuormat., Suomen Standardoimisliitto, Helsinki.

Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2015. SFS-EN 1991-1-3, Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-3: Lumikuormat., Suomen Standardisoimisliitto, Helsinki.

Suomen Standardoimisliitto SFS ry. 2019. SFS-EN 1991-1-3 NA, Kansallinen liite standardiin SFS-EN 1991, Ympäristöministeriö, Helsinki.

Vilpe Oy. Tuoteet. n.d. Verkkosivu. Viitattu 17.3.2024.
<https://www.vilpe.com/fi/tuotteet/>

Ympäristöministeriön asetus lumikuormia koskevista kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1991-1-3 6/2016. Helsinki. Viitattu 17.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42811>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta 848/2017. Viitattu 17.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848>

Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta 927/2020. Viitattu 17.3.2024.
<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200927>

Ympäristöministeriön asetus rakenteiden ja suunnitteluperusteita koskevia kansallisista valinnoista sovellettaessa standardia SFS-EN 1990. 3/2016 Helsinki. Viitattu 17.3.2024. <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/700001/42808>

LIITTEET

Liite 1. Case-kohteet

MAISEMAMAALAUKSENKATU 1

Kohteessa on jo pieni aurinkopaneelikenttä, joka sijaitsee D-portaan vesikatolla. EcoRealin tekemässä Aurinkosähköselvityksessä on kirjattu seuraavaa:

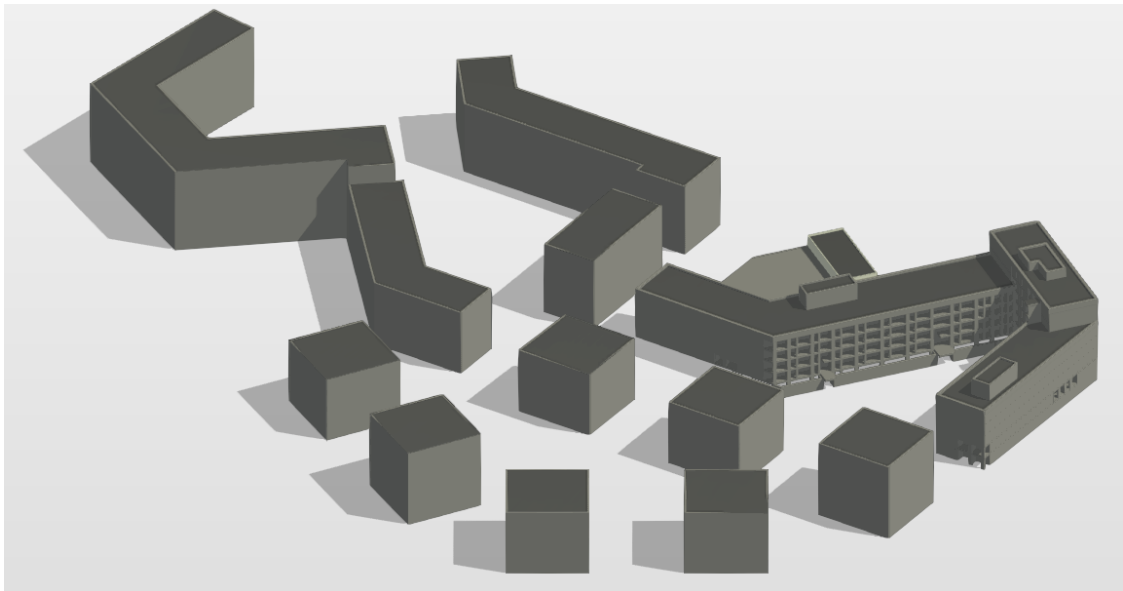
Katolla on jo pieni paneelikenttä. Pohjakuorma korkea. Katolla hyvin tilaa uudelle aurinkovoimalalle. Voisi rakentaa jopa suuremman voimalan (noin 35 kWp). Tarkistettava vielä rakennusten varjostukset ja paneelikentät sijoitettava sen mukaan vapaalle, yhtenäiselle kattoalalle.

Paneelien yhteenlaskettu teho (P_{max}) 3.3 kW, ja paneelit on asennettu saatavilla olevan dokumentaation perusteella Finnwindin FS-P127-aurinkopilareilla (ks. 6.1.1; kuva 1.1). Paneelien asennuksesta on merkintä rakennesuunnittelupiirustuksissa, joissa pilarien paikat on merkitty. Kuitenkaan mittapiirustukseen ei ole merkitty paneeleista lisäpistekuormaa. Myöskään mitään asennusdetaljeja ei ole. Rakenne paneelien alla on LECA-sorayläpohja kantavan ontelolaatan päällä. Aurinkopilarityyppisen telineen ankkurointi on esitetty liitteessä 4 (DET 001A/B/C).

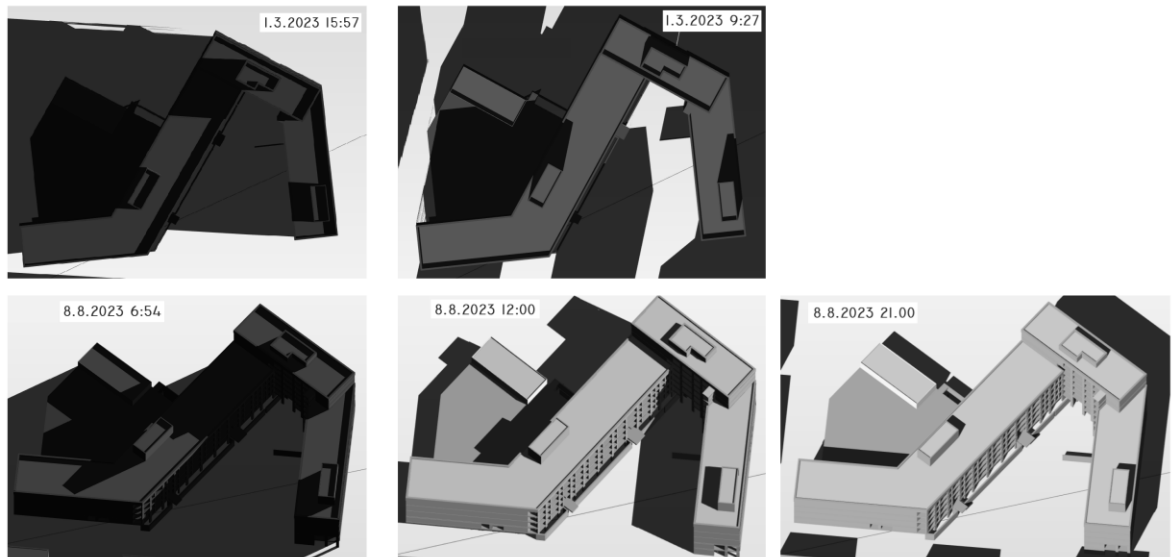


Kuva 1.1 Kuvia kohdekäynniltä 16.2.2024 (Paula Alanko)

Kohteelle tehtiin varjostustarkastelu karkealla arviolla ympärillä olevien rakennusten sijainnista ja korkeudesta. Tasoerojen ja IV-konehuoneiden takia kattopinnalle muodostuu suuria varjostusalueita, joille paneelien asentaminen ei ole kannattavaa. Varjostustarkastelu tehtiin tähän ja muihin kohteisiin Revit-ohjelmistolla, jossa pystytään mallintamaan auringon liikettä taivaalla eri vuoden- ja vuorokaudenaikoina. Tämä 3D-malli ja varjostusanalyysi on esitetty kuvioissa 1.1 ja 1.2.



Kuvio 1.1 Maisemamaalauksenkatu 1 ja ympäröiviä rakennuksia karkeasti mallinnettuna



Kuvio 1.2 Varjostusanalyysi

Rakennesuunnittelussa käytettyjä kuormia on avattu ”Rakenteiden suunnittelun ja toteutuksen perusteet”- dokumentissa mm. seuraavasti:

Lumikuormat

- Lunta ei oleteta poistettavaksi talven aikana. Paikalliset kinostumiset otetaan huomioon mitoittamalla kinostumisalueet korotetulle lumikuormalle.
- Lumikuorman ominaisarvo maassa, s_k (50 vuotta) $2,75 \text{ kN/m}^2$
- Lumikuorma katolla yleensä, s (50 vuotta) $2,20 \text{ kN/m}^2$

Tuulikuormat

- Maastoluokka 2
- Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo $q_{p0}(25\text{m})$ (50 vuotta) $0,82 \text{ kN/m}^2$

Hyötykuormat

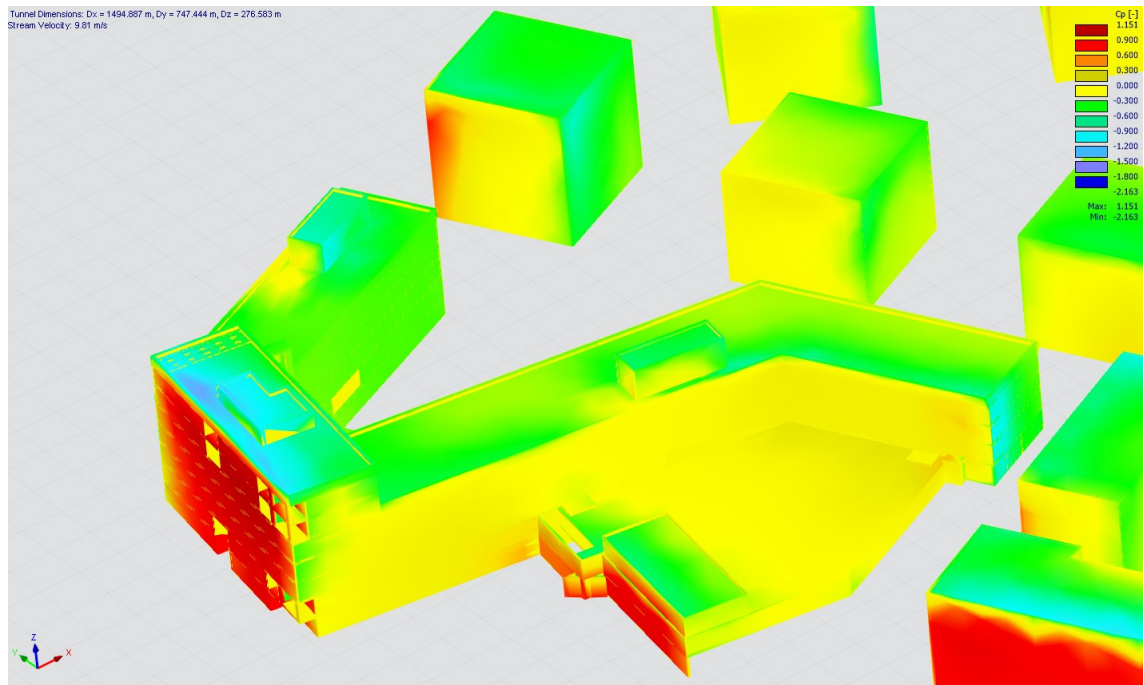
- IV-konehuone $5,0 \text{ kN/m}^2$, pistekuorma $4,0 \text{ kN}$.
- Vesikatto $0,4 \text{ kN/m}^2$, pistekuorma $1,0 \text{ kN}$.

Ympäristöministeriön asetus (4/16) määrittelee pistekuorman pinta-alana käytettävän $50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$, kun $Q_k \leq 2,0 \text{ kN}$, muutoin $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$. Tässä tapauksessa on ilmeisesti määritelty aurinkopaneelin aiheuttavan alle $1,0 \text{ kN}$ pistekuorman, sillä erillisiä pistekuormia ei ole merkitty. Liitteen 3 yksilappeisen katoksen analogialla maksimikuormaksi $\sim 2 \text{ m}^2$ kokoiselle paneelille tulisi

$$c_p * q_p(22 \text{ m}) * A$$

$$1,2 * 0,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 2 \text{ m}^2 = 1,92 \text{ kN}$$

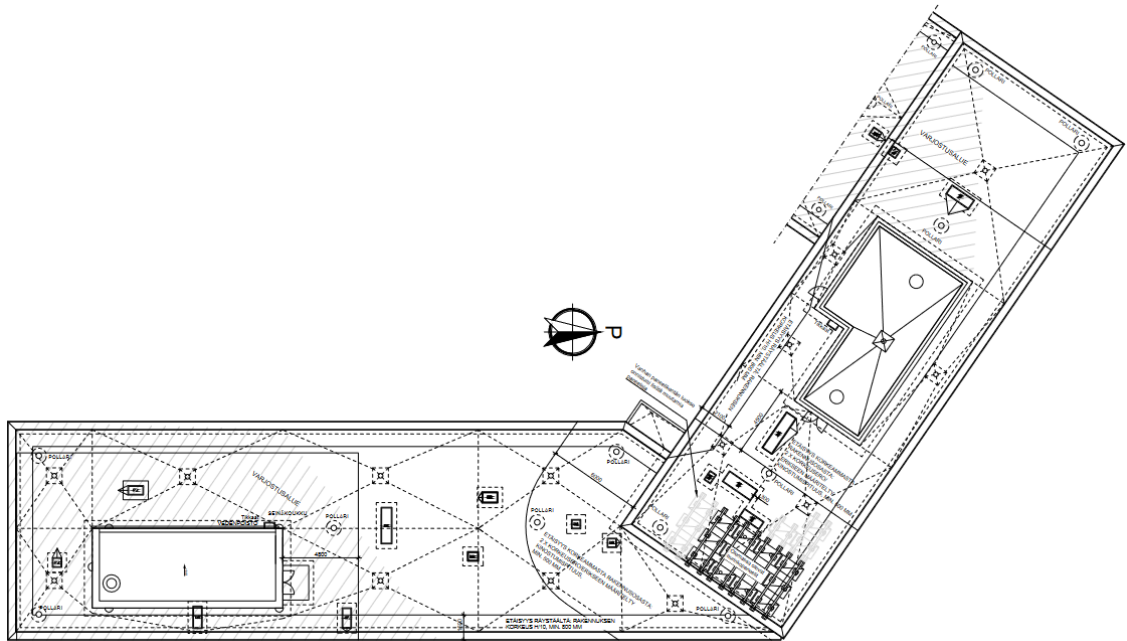
Rakennukselle suoritettiin myös tuulivoimien analyysi RWIND-ohjelmalla, johon tuotiin rakennuksen ja rakennetun lähiympäristön yksinkertaistettu 3D-malli (kuvio 1.3).



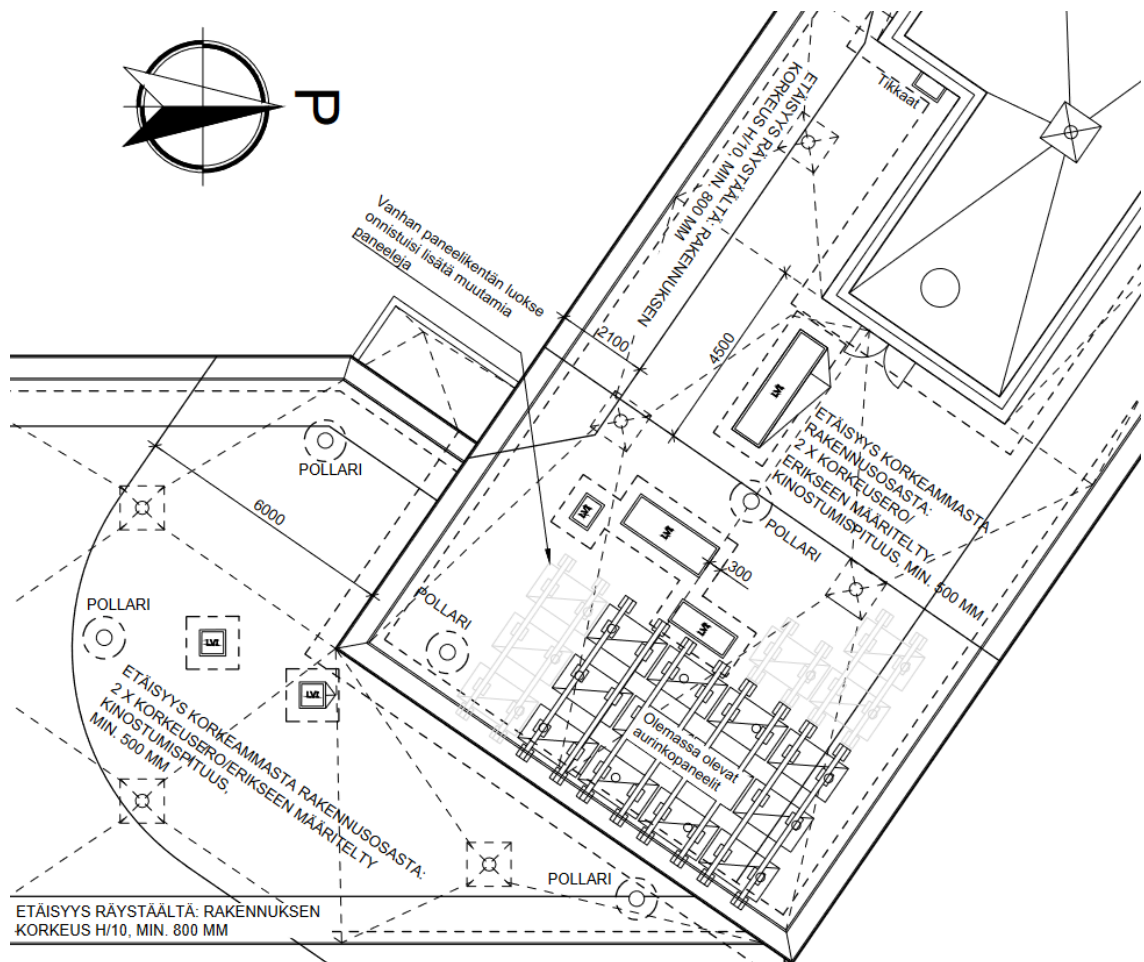
Kuvio 1.3 RWIND laskentatulokset, tuulikuorman painekertoimet c_p

RWIND-tuloksista voidaan päätellä, että kattopinnoille ei muodostu lainkaan tai muodostuu vähäisesti alueita, joissa tuulikuorma olisi positiivinen (pintaa kohti suuntautuva). Rakennuksen kattomuoto on hankala Eurokoodin ohjein laskettavaksi, sillä standardissa painekertoimet $c_{p,1}$ ja $c_{p,10}$ on annettu vain hyvin yksinkertaisille rakennusten muodoille, ja niiden soveltaminen Maisemamaaluksekadun kaltaisessa tapauksessa on hyvin tulkinnanvaraista. Kuitenkin katon tuulikuormat on selkeästi mitoitettu yläkanttiin, joten olemassaolevan paneelientän ei pitäisi aiheuttaa kantavien rakenteiden ylikuormitusta.

Jos jo olemassaolevaa aurinkosähköntuottokapaisteettia haluttaisiin kasvattaa, tulevat opinnäytetyössä koostetut ohjeelliset minimietäisyydet rajoittavaksi tekijäksi. Nykyinen voimala on kokonaisuudessaan yhden invertterin takana, joka on mallia Fronius Symo 4.5-3-M. Valmistaja ilmoittaa kyseisen invertterin aurinkosähkögeneraattorin maksimitehoksi 9 kWp, joten kattoalalle sopivat paneelit pystyttäisiin vielä yhdistämään olemassa olevaan invertteriin. Kuvioissa 1.4 ja 1.5 on olemassaolevien paneelien yhteyteen sommiteltu uusia paneeleja.

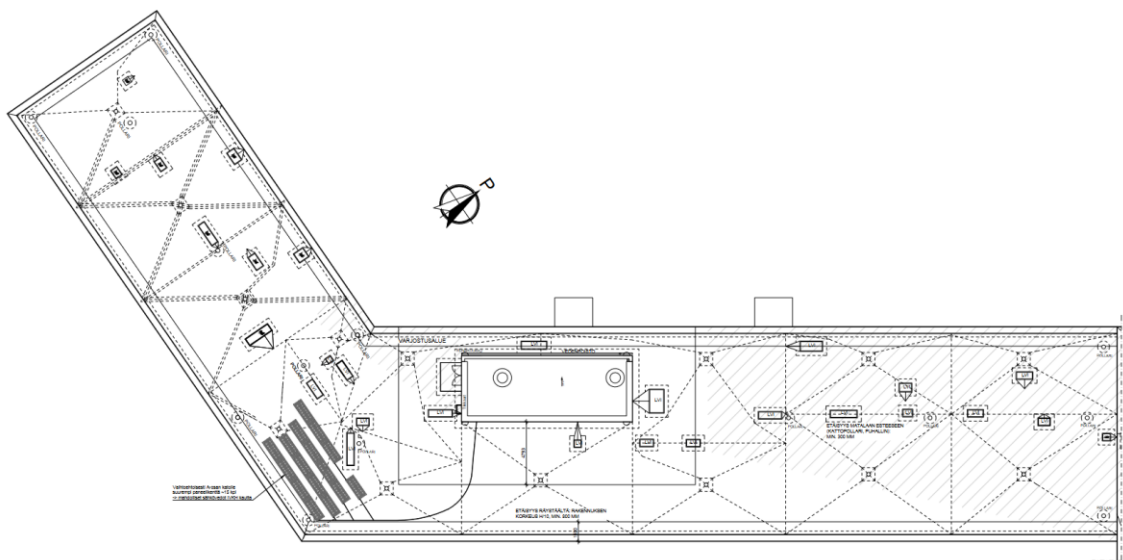


Kuvio 1.4 Maisemamaalauksenkatu 1 D- ja E-rappujen yksinkertaistettu yhdistetty vesikattokuva, uudet paneelit vaaleanharmaita

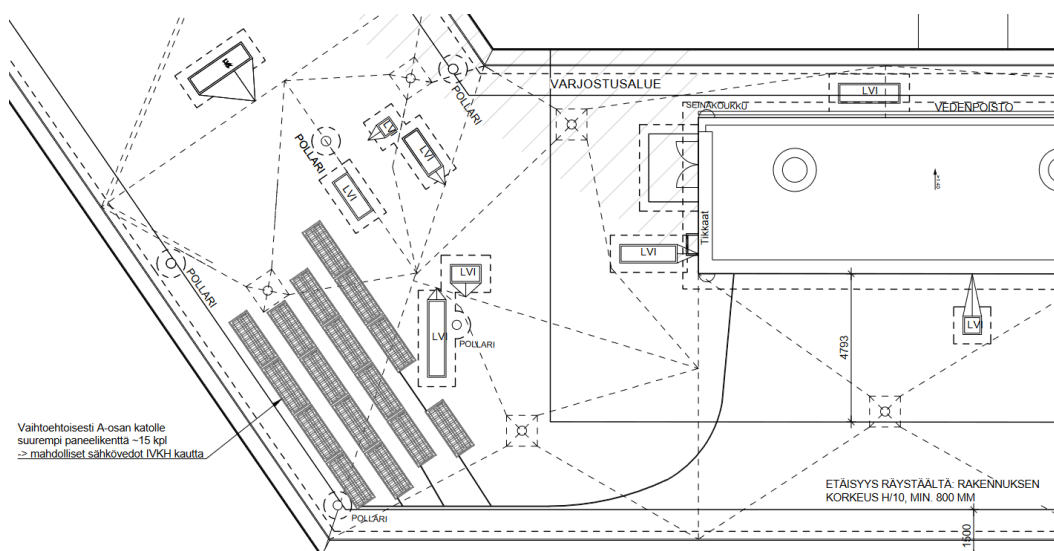


Kuvio 1.5 Olemassa oleva paneelikenttä, minimietäisyydet ympäröiviin rakennusosiin

Etenkin D-rapun IV-konehuoneen aiheuttama kinostusalue. Tämä yhdessä katon IV-laitteiden ja kapean kattoalan kanssa rajoittaa paneelikentän kokoa huomattavasti. Esimerkiksi rakennuksen korkeuden kymmenesosan etäisyys räystäällä ei täyty nykyisenkään asennuksen tapauksessa. Vaikka noudatettaisiin nykyisenlaisia varoetäisyyksiä, mahtuisi nykyisen voimalan yhteyteen vain n. 6 kpl paneeleja. Tämä arvio ei myöskään ota huomioon sitä, että nykyiset asennukset on toteutettu aurinkopilariasennuksina, ja uudet asennukset olisi huomattavasti järkevämpää toteuttaa vesikatton rakennetta rikkomatta. Kuvioissa 1.6 ja 1.7 on esitetty vaihtoehtoinen, uuden erillisen paneelikentän suunnitelma- luonnos.



Kuvio 4.6 Maisemamaalauksenkatu 1 A-C-rappujen yksinkertaistettu yhdistetty vesikattokuva, uusi paneelikenttä luonnosteltu A-rapun katonle



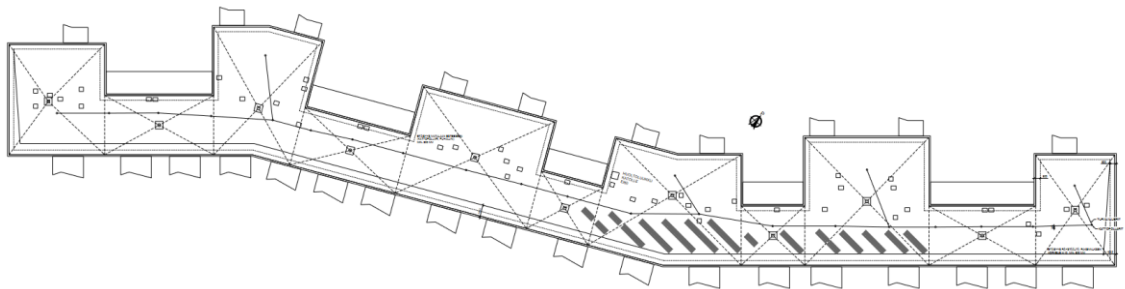
Kuvio 4.7 Uuden voimalan paikka vesikatolla, luonnos

A-osan vesikatolla paneelit olisi helppo asentaa suunnattuna etelään, ja yhtenäistä kattopintaa olisi huomattavasti paremmin käytössä. Kattopinnalle saisi ainakin n. 15 paneelin kokoisen voimalakentän. Pysyttäessä B-rapun IV-konehuoneen eteläpuolella myöskään tuotantoa merkittävästi vähentäviä varjostuksia ei synny. Tasakattoasennuksessa tulee kuitenkin huomioida etäisyys IV-laitteistoihin, paneelien rivien väliset etäisyydet sekä laitteistojen huollettavuus. Ilman laajempaa selvitystyötä voitaisiin arvioida sähkövetojen olevan suhteellisen yksinkertaista viedä B-rapun IV-konehuoneen kautta.

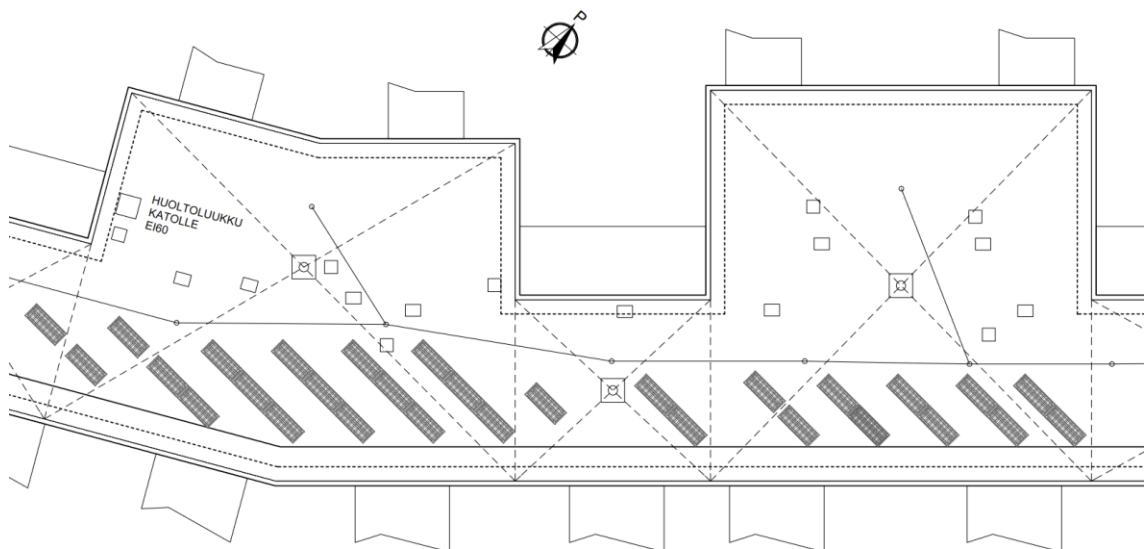
Vesikatto on varsin uudessa kiinteistössä vielä erinomaisessa kunnossa, joten ei ole toivottavaa tehdä reikiä vesikatteeseen. Tällöin paras asennustapa olisi joko lisäkermipaikoilla ja erillisillä asennusosilla kiinnitys vesikatteeseen, tai vaihtoehtoisesti vastapainoilla varmistaminen (liite 4, DET 003). Luvun 5.2.1 kohdassa "Vastapainon määräytyminen" esitetyllä laskentatavalla saadaan 35° vaaka-asenteisen 1,1 m x 1,8 m paneelin tarvitsemaksi painon määräksi 185 kg. Paneelin ja kannakkeiden paino on n. 35 kg. Näin ollen paneelin 4 kulmaan tarvittaisiin n. 40 kg painot. 40 kg vastapainolaatoista (esimerkiksi betonilaattatassut) syntyisi näin ollen 0.4 kN pistekuormat, selkeästi alle 1 kN pistekuorman.

PAKRINTIE 4

Toisin kuin Maisemamaalauksenkatu 1:ssä, Pakrintie 4:n tapauksessa käytettävissä ei ollut rakennesuunnitteludokumentaatiota, joten rakennetekniseen kantavuuteen ei voida ottaa kantaa. Käytössä olevien julkaisujen ja arkkitehdin pääpiirustusten pohjalta pystyttiin kuitenkin suunnittelemaan aurinkopaneelienten sijoittelua. Pitkänomaisen rakennuksen kattopinta on laaja ja yhtenäinen, ja paneelit on helppo suunnitella yhtenäiseksi kentäksi. Myös rakennuskorkeuksen kymmenyksen varoetäisyys räystäsreunaan on helppo täyttää. Kentän kokoa tasakatolla kasvattaa paneelirivien suuri väli, kun halutaan välttää paneelirivien aiheuttamia varjostuksia. Paneelienten paikkaa on luonnosteltu kuvioissa 1.8 ja 1.9.



Kuvio 1.8 Pakrintie 4 yksinkertaistettu vesikattokuva, uudet paneelit vaaleanharmaita



Kuvio 1.9 Voimalan paikka vesikatolla, luonnos

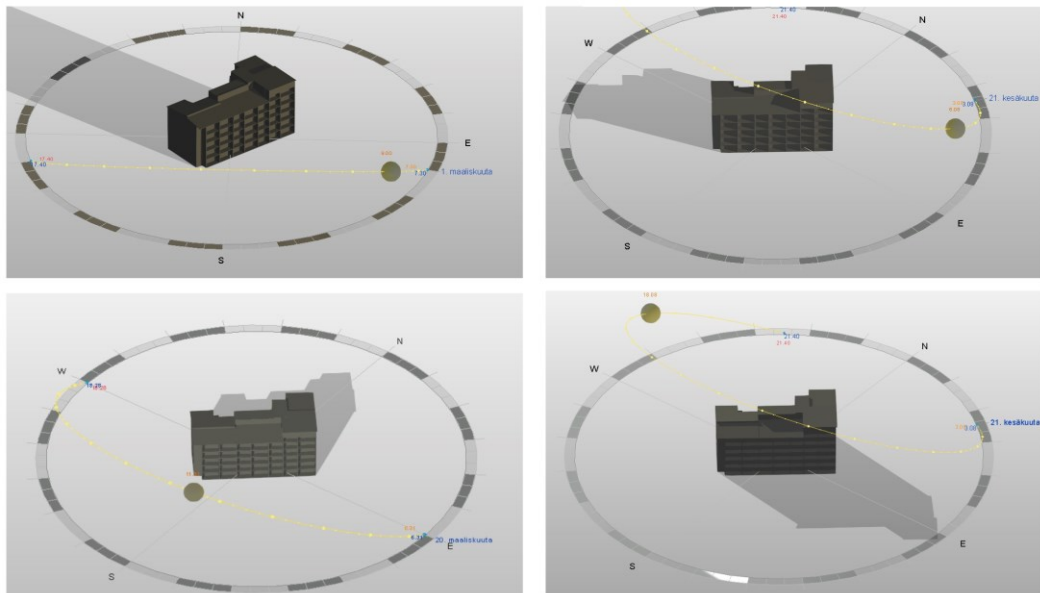
Pakrintiellä ei ole IV-konehuonetta, johon voimalankaapelointi olisi helppo viedä. Käytössä ei ollut sähkösuunnitelmia, joten kaapelointia on vaikea suunnitella.

la. Huollettavuuden takia kenttä suunniteltiin lähelle katon huoltoluukkuja. Kuitenkin katolla on avointa pinta-alaa runsaasti, eikä lähellä ole kattotason korkeudelle varjostuksia aiheuttavia esteitä. Matalassa rakennuksessa myös katolle asennettavien paneelien tuulikuorma pysyy pienempänä. Luvun 5.2.1 kohdassa "Vastapainon määräytyminen" esitetyllä laskentatavalla saadaan 35° vaaka-asenteisen 1,1 m x 1,8 m paneelin tarvitsemaksi vastapainon määräksi 145 kg. Paneelin ja kannakkeiden paino on n. 35 kg. Näin ollen paneelin 4 kulmaan tarvittaisiin n. 20 kg lisäpainot.

Pakrintien tapauksessa toinen, vaihtoehtoinen asennustapa olisi käyttää kaakkoon suuntautuvaa julkisivua, esimerkiksi asuntojen parvekkeita asennusalueena. Paneelielementtejä voisi käyttää esimerkiksi korvaamaan parvekekaiteiden osia, vaikka parvekkeita ei haluttaisi lähteä lasittamaan kokonaisuudessaan (kuvio 4.10). Tämä vaihtoehto toimisi hyvin yhteen kohteen huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän ja lattialämmityksen kanssa. Kuitenkin turvakytkimien ja kaapelointien toteutus tulisi tutkia tarkemmin. Lisäksi tätä toteutusta rajaa n. 30 m julkisivusta kaakkoon oleva puusto, jonka varjostusvaikutus etenkin alimman kerroksen parvekekaiteisiin tulisi selvittää tarkemmin.



Kuvio 1.10 Aurinkopaneeleja visualisoitu Pakrintie 4:n ARK- havainnekuvaan päälle



Kuvio 1.12 Varjostusanalyysi

Kattolappeelle mahtuu isompikin paneelikenttä, 27 kpl paneeleita. Paneelien kaapelointiin ei otettu luonnospiirustuksessa kantaa, mutta kaapelointi ja invertterin sijoitus onnistuisi mahdollisesti IV-konehuoneeseen. Kuormitusten kannalta vastapainoilla asennus ei tule 1:7 kallistetulla katolla kyseeseen. Vesikaton rakenne on esitetty kuviossa 1.13. Katolle voisi hyödyntää kumibitumikermipäikällä asennusta, osin varmistaen kattopollariratkaisulla (luku 6.2.1, kuvio 36; liite 4 DET 002 ja DET 007). Tärkeintä on varmistua, ettei yläpohjan villatilaan pääse kosteutta.

Paksuus mm	Materiaalit	Palotekn. luokat
23	VEDENERISTYS kumibitumikermi, käyttöluokka VE80	Broof
>200	RAAKAPINTTILAUDOITUS 23x95 TUULETETTU TILA Kattopalkit k600-900, rakennepiirustusten mukaan	
500	LÄMMENERISTYS -Kevytpuhallusvilla $\lambda_d < 0,041 \text{ W / mK}$	A1
265	HÖYRYNSULKUKERMI -Kumibitumikermi TL2	
	ONTELOLAATTA PINTAKASITTELY / -MATERIAALI	

Kuvio 1.13 Yläpohjan rakenne luonnostellun paneelikentän kohdalla

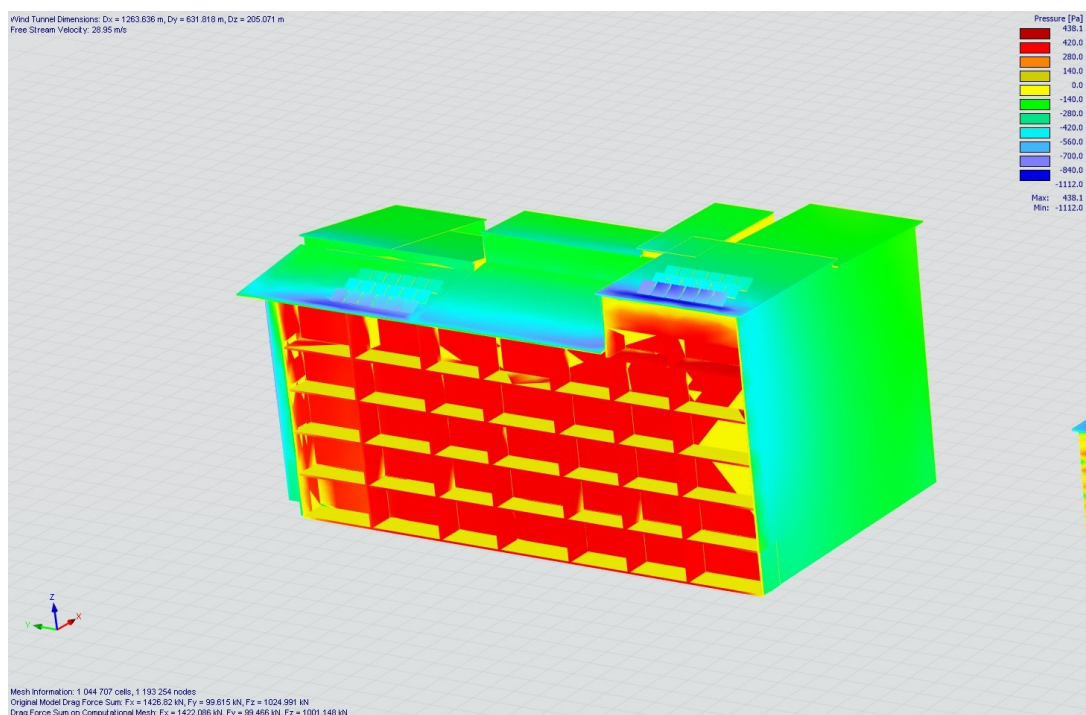
Rakennesuunnittelussa käytettyjä kuormia on avattu ”Rakennejärjestelmän kuvaus, A-Kruunu Kirkkonummen Tarutie”- dokumentissa mm. seuraavasti:

Tuulen nopeuspaineen ominaisarvo: $q_{p0}(h) = q_p(h) = 0,63 \text{ kN/m}^2$ (tuulen nopeuden perusarvo $v_b = 21 \text{ m/s}^2$, rakennuksen tuulelle altis korkeus (h) = 20 m, maastoluokka 3, käyttöikä 100 vuotta korjauskerroin 1,05)

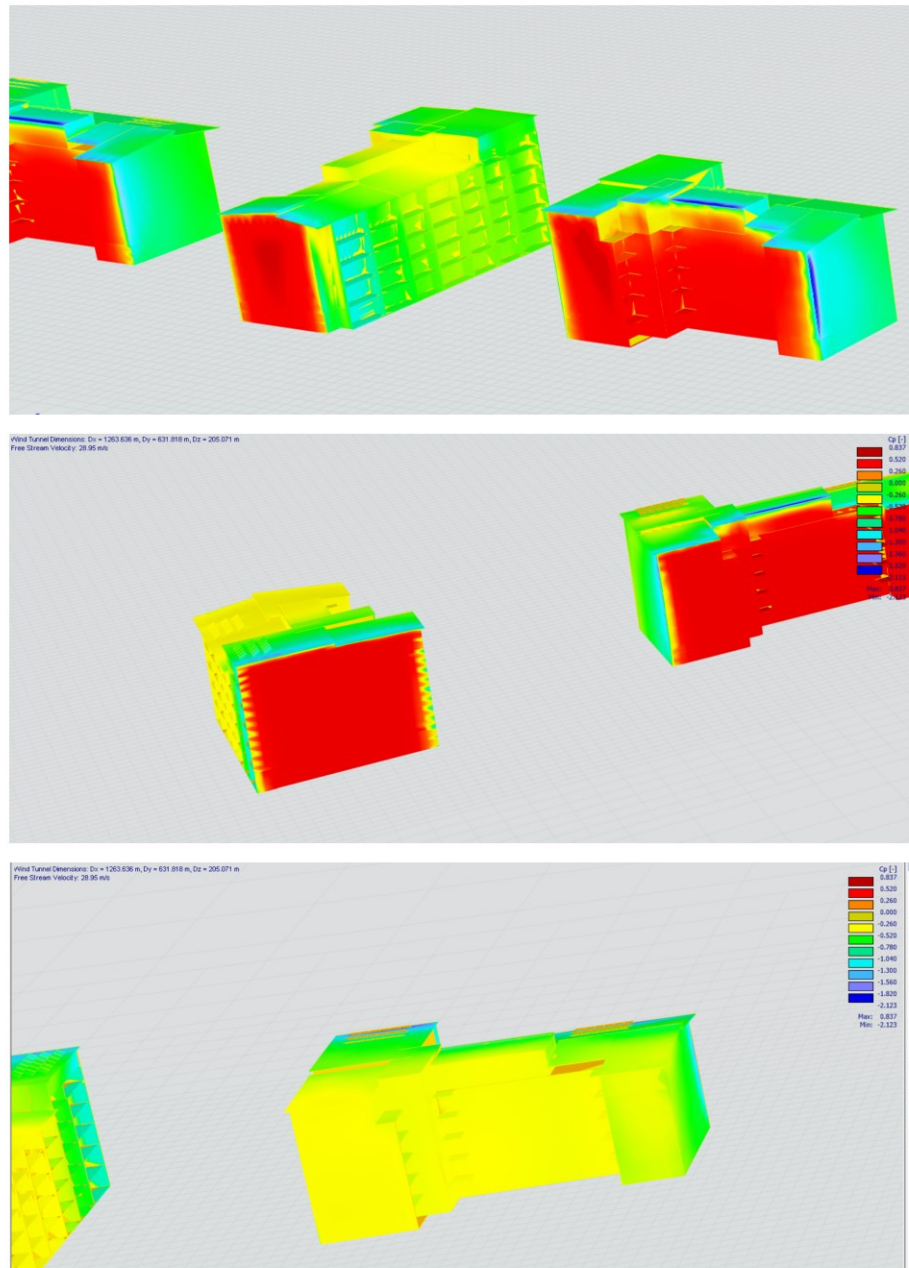
Yläpohja (YP1):

- Lumikuorman ominaisarvo maanpinnalla: $s_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Lumikuorman ominaisarvo katolla: $s = 2,2 \text{ kN/m}^2$ (tuulensuojaisuuskerroin $C_e = 1,0$, muotokerroin $m_i = 0,8$, käyttöikä 100 vuotta korjauskerroin 1,08). Lumen kinostuminen katolle IV-konehuoneen viereen määritellään SFS-EN 1991-1-3 NA:n mukaan.
- Pintarakenteet: $g_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Rakennukselle suoritettiin myös tuulivoimien analyysi RWIND-ohjelmalla, johon tuotiin rakennuksen yksinkertaistettu 3D-malli (kuvio 1.14 ja 1.15).



Kuvio 1.14 RWIND laskentatulokset, tuulen aiheuttamat kuormat [Pa]. Katolla paneelielementtejä laskentaa varten



Kuvio 1.15 RWIND laskentatulokset, tuulikuorman painekertoimet c_p

Tuulikuormien simuloinnin tulokset ovat hyvin samansuuntaiset kuin Maisema-
maalauksenkadun tilanteessa. Kattopinta ei ole niin suuri, että käsin laskien
saatavia alaspäin suuntautuvia kuormia syntyisi. Katon tuulikuormat on
selkeästi mitoitettu SFS-standardin ohjein varmalle puolelle. Vesikaton katto-
palkkien kuormitusaste ei tule ilmi käytössä olevasta suunnitteludokumentaati-
osta, mutta luonnostellun paneelientän alla on 900 mm jaolla puuristikot, joiden
suunnitteluperustekuormat ovat seuraavat:

KUORMAT:

g_k (pysyvä kuorma) = 0,6 kN/m²

q_k (lumikuorma) = 2,2 kN/m²

Kinoslumikuormat kts. tasopiirustus

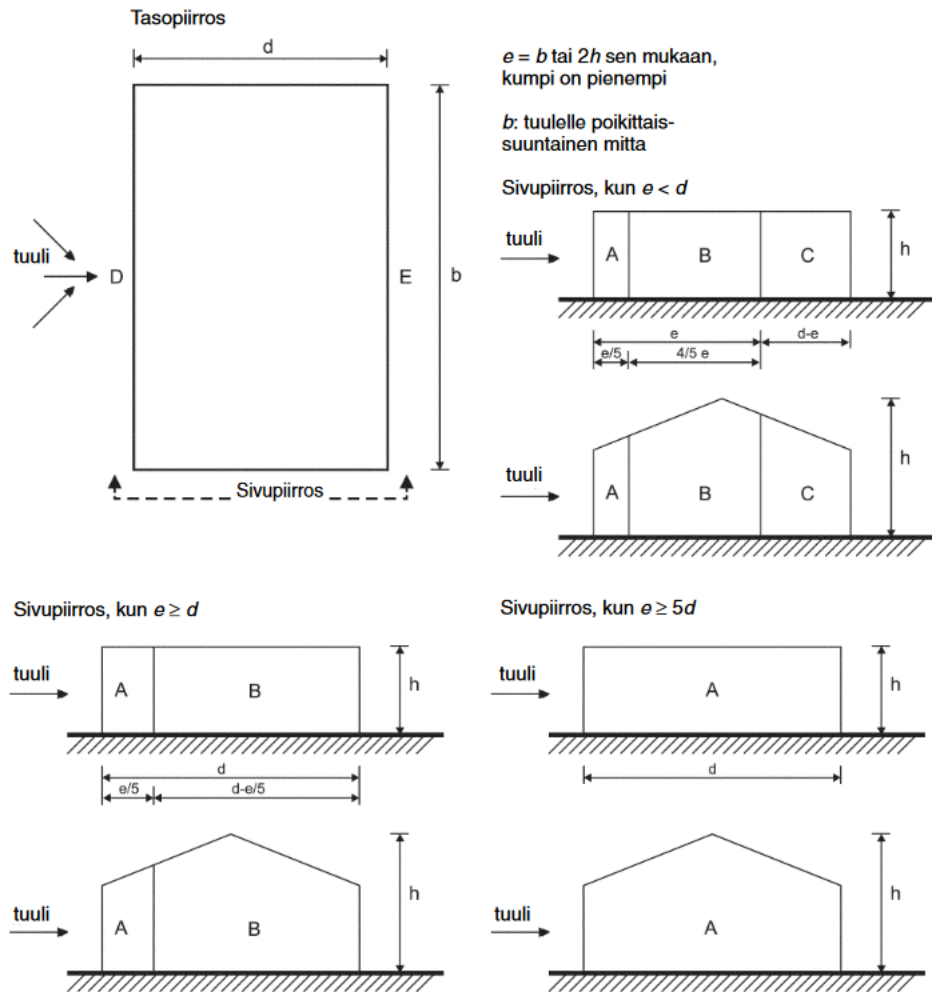
q_k (tuuli) = 0,63 kN/m²

Jos käytettäisiin suunnitteluun esimerkiksi Helen Oy: 25 kg/m² (0,245 kN/m²) suositusta aurinkopaneelikenttien mitoitukselle, esimerkiksi kattoristikoiden suunnittelussa käytetty pysyvän kuorman arvo ylity. Myöskään tuulikuormat tai lumikuorma eivät kasva merkittävästi, kun asennukset toteutetaan kattolapteen suuntaisesti tai pienessä kulmassa kattolappeeseen nähden. Kulmaan asentaessa rivien väliä olisi hyvä kasvattaa luonnostellusta 10 cm raosta jonkin verran, ja harkita telineiden takaosan tukkimista tuulensuojalevyllä tuulikuormavaikutuksen minimoimiseksi.

Liite 2. Tuulikuormakaaviot

Ulkopuolisen paineen painekertoimet

Pystyseinät

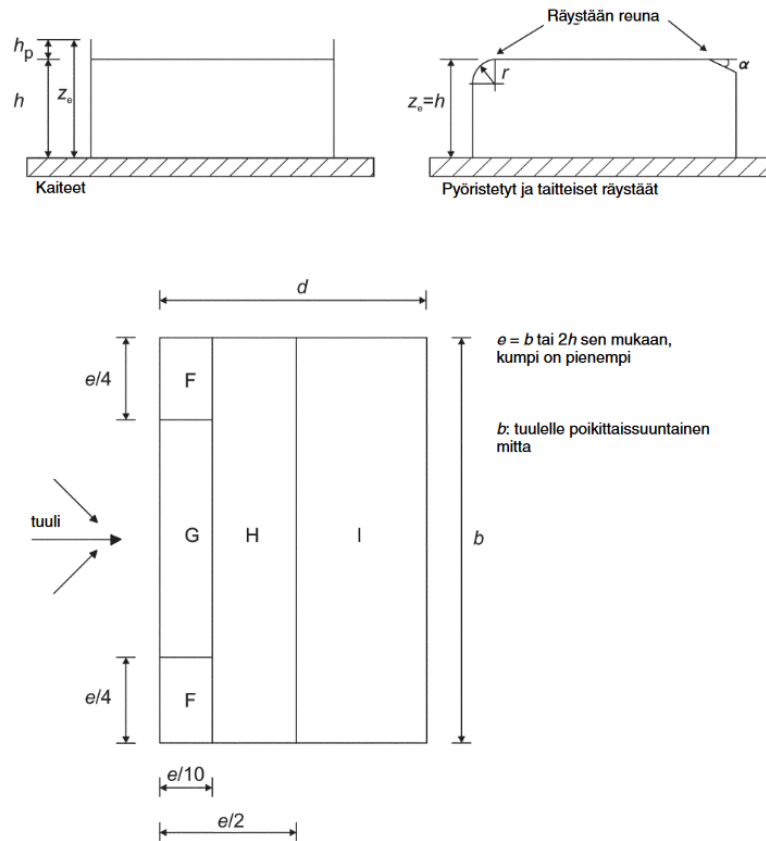


Kuvio 2.1 Pystyseiniä koskeva vyöhykekaavio

Taulukko 2.1 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot pohjaltaan suorakaiteen muotoisten rakennusten pystyseinille

Vyöhyke	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.8	1.0	-0.7	
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.8	1.0	-0.5	
≤ 0.25	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.7	1.0	-0.3	

Tasakatot

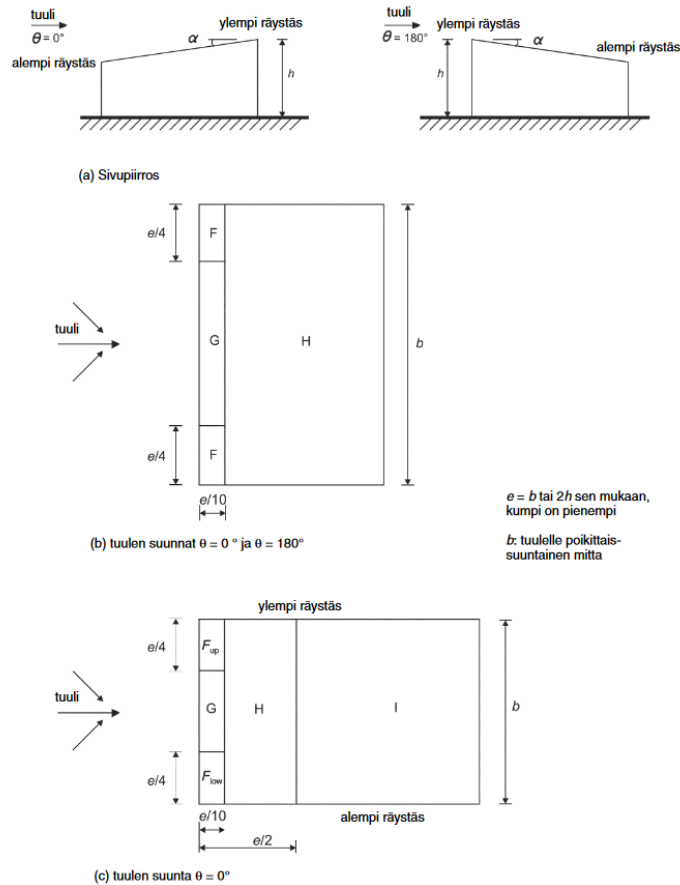


Kuvio 2.2 Tasakattoja koskeva vyöhykekaavio

Taulukko 2.2 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot tasakatoille

Katto tyyppi		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Teräväreunaiset räystäät		-1.8	-2.5	-1.2	-2.0	-0.7	-1.2	0.2	-0.2
Kaiteilla varustetut räystäät	$h_p/h=0.025$	-1.6	-2.2	-1.1	-1.8	-0.7	-1.2	0.2	-0.2
	$h_p/h=0.05$	-1.4	-2	-0.9	-1.6	-0.7	-1.2	0.2	-0.2
	$h_p/h=0.01$	-1.2	-1.8	-0.8	-1.4	-0.7	-1.2	0.2	-0.2
Pyöristetyt räystäät	$r/h=0.05$	-1.0	-1.5	-1.2	-1.8	-0.4		0.2	-0.2
	$r/h=0.1$	-0.7	-1.2	-0.8	-1.4	-0.3		0.2	-0.2
	$r/h=0.2$	-0.5	-0.8	-0.5	-0.8	-0.3		0.2	-0.2
Taitteiset räystäät	$\alpha=30^\circ$	-1.0	-1.5	-1.0	-1.5	-0.3		0.2	-0.2
	$\alpha=45^\circ$	-1.2	-1.8	-1.3	-1.9	-0.4		0.2	-0.2
	$\alpha=60^\circ$	-1.3	-1.9	-1.3	-1.9	-0.5		0.2	-0.2

Pulpettikatot



Kuvio 2.3 Pulpettikattoja koskeva vyöhykekaavio

Taulukko 2.3 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot pulpettikatoille

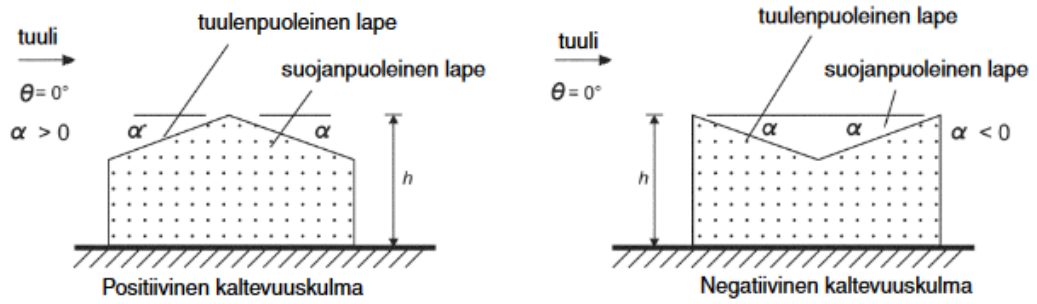
Kaltevuus- kulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta=0^\circ$						Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta=180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1.7	-2.5	-1.2	-2.0	-0.6	-1.2	-2.3	-2.5	-1.3	-2.0	-0.8	-1.2
	0.0		0.0		0.0							
15°	-0.9	-2.0	-0.8	-1.5	-0.3		-2.5	-2.8	-1.3	-2.0	-0.9	-1.2
	0.2		0.2		0.2							
30°	0.5	-1.5	-0.5	-1.5	0.2		-1.1	-2.3	-0.8	-1.5	-0.8	
	0.7		0.7		0.4							
45°	0.0		0.0		0.0		-0.6	-1.3	-0.5		-0.7	
	0.7		0.7		0.6							
60°	0.7		0.7		0.7		-0.5	-1.0	-0.5		-0.5	
75°	0.8		0.8		0.8		-0.5	-1.0	-0.5		-0.5	

Arvolla $\theta = 0^\circ$ (taulukko) paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä, kun kaltevuuskulma on välillä $\alpha = +5^\circ \dots +45^\circ$, joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot on esitetty. Tällaisten kattojen osalta tarkastellaan kahta tapausta: toista, jossa kaikki arvot ovat positiivisia ja toista, jossa kaikki arvot ovat negatiivisia. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

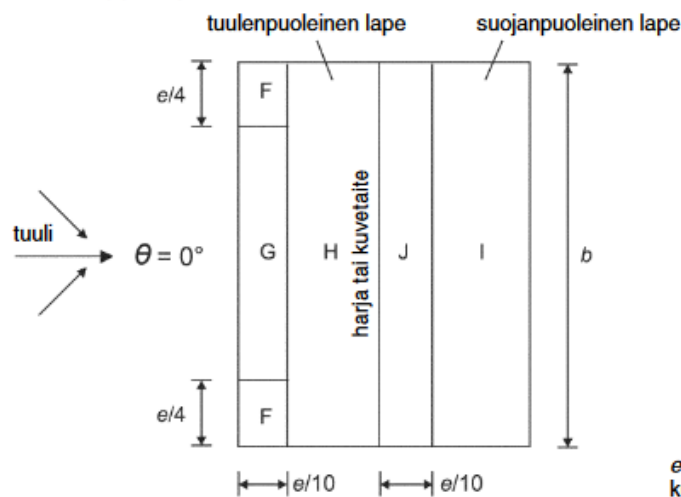
Taulukko 2.4 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot pulpettikatoille

Kaltevuus- kulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-2.1	-2.6	-2.1	-2.4	-1.8	-2.0	-0.6	-1.2	-0.5	
15°	-2.4	-2.9	-1.6	-2.4	-1.9	-2.5	-0.8	-1.2	-0.7	-1.2
30°	-2.1	-2.9	-1.3	-2.0	-1.5	-2.0	-1.0	-1.3	-0.8	-1.2
45°	-1.5	-2.4	-1.3	-2.0	-1.4	-2.0	-1.0	-1.3	-0.9	-1.2
60°	-1.2	-2.0	-1.2	-2.0	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.7	-1.2
75°	-1.2	-2.0	-1.2	-2.0	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.5	

Harjakatot ja kuvetaitteiset katot

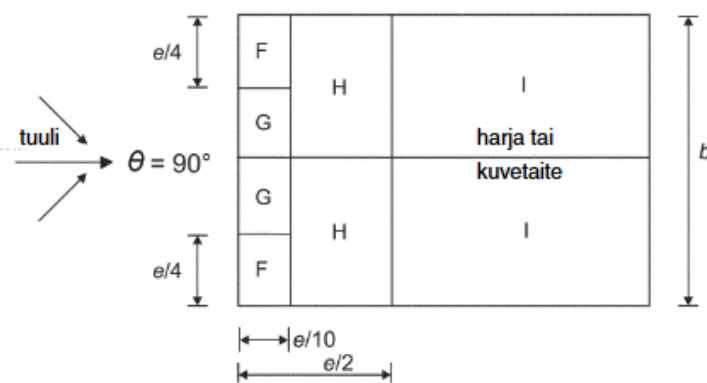


(a) Sivupiirros



$e = b$ tai $2h$ sen mukaan,
 kumpi on pienempi

b : tuulelle poikittaissuuntainen
 mitta

(b) tuulen suunta $\theta = 0^\circ$ (c) tuulen suunta $\theta = 90^\circ$

Kuvio 2.4 Harjakattoja koskeva vyöhykekaavio

Taulukko 2.5 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot harjakatoille ja kuvetaiteisille katoille

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0.6		-0.6		-0.8		-0.7		-1.0	-1.5
-30°	-1.1	-2.0	-0.8	-1.5	-0.8		-0.6		-0.8	-1.4
-15°	-2.5	-2.8	-1.3	-2.0	-0.9	-1.2	-0.5		-0.7	-1.2
-5°	-2.3	-2.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.2	-0.5		0.2	
							0.2		-0.6	
5°	-1.7	-2.5	-1.2	-2.0	-0.6	-1.2	-0.6		0.2	
	0.0		0.0		0.0				-0.6	
15°	-0.9	-2.0	-0.8	-1.5	-0.3		-0.4		-1.0	-1.5
	-0.2		0.2		0.2		0.0		0.0	0.0
30°	-0.5	-1.5	0.5	-1.5	-0.2		-0.4		-0.5	
	0.7		0.7		0.4		0.0		0.0	
45°	0.0		0.0		0.0		-0.2		-0.3	
	0.7		0.7		0.6		0.0		0.0	
60°	0.7		0.7		0.7		-0.2		-0.3	
75°	0.8		0.8		0.8		-0.2		-0.3	

Arvolla $\theta = 0^\circ$ paine muuttuu nopeasti positiivisten ja negatiivisten arvojen välillä tuulenpuoleisella lappeella kaltevuuskulman ollessa välillä $\alpha = -5^\circ \dots +45^\circ$, joten sekä positiiviset että negatiiviset arvot on esitetty. Tällaisten kattojen osalta tarkastellaan neljää tapausta, joissa kaikkien alueiden F, G ja H suurimmat tai pienimmät arvot yhdistellään alueiden I ja J suurimpien tai pienimpien arvojen kanssa. Samalla lappeella ei saa käyttää sekaisin positiivisia ja negatiivisia arvoja.

Samanmerkkisten kaltevuuskulman arvojen välillä voidaan käyttää lineaarista interpolaatiota samanmerkkisten kertoimien arvojen välillä. Kaltevuuskulman arvojen $\alpha = +5^\circ$ ja $\alpha = -5^\circ$ välillä ei pidä interpoloida, vaan on käytettävä tasakatoille tarkoitettuja arvoja. Arvot 0,0 on merkitty interpolaatiota varten.

Taulukko 2.6 Ulkopuolisen paineen kertoimien suositusarvot harjakatoille ja kuvetaiteisille katoille

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1.4	-2.0	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.9	-1.2
-30°	-1.5	-2.1	-1.2	-2.0	-1.0	-1.3	-0.9	-1.2
-15°	-1.9	-2.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.2	-0.8	-1.2
-5°	-1.8	-2.5	-1.2	-2.0	-0.7	-1.2	-0.6	-1.2
5°	-1.6	-2.2	-1.3	-2.0	-0.7	-1.2	-0.6	
15°	-1.3	-2.0	-1.3	-2.0	-0.6	-1.2	-0.5	
30°	-1.1	-1.5	-1.4	-2.0	-0.8	-1.2	-0.5	
45°	-1.1	-1.5	-1.4	-2.0	-0.9	-1.2	-0.5	
60°	-1.1	-1.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.0	-0.5	
75°	-1.1	-1.5	-1.2	-2.0	-0.8	-1.0	-0.5	

Sahakatot

Kunkin sahakaton lappeen painekertoimet saadaan tuulen suunnan ollessa 0° , 90° tai 180° kunkin yksittäisen lappeen painekertoimen perusteella. Paineen muuntokertoimet saadaan kullekin jänteelle tuulen suunnan ollessa 0° tai 180° :

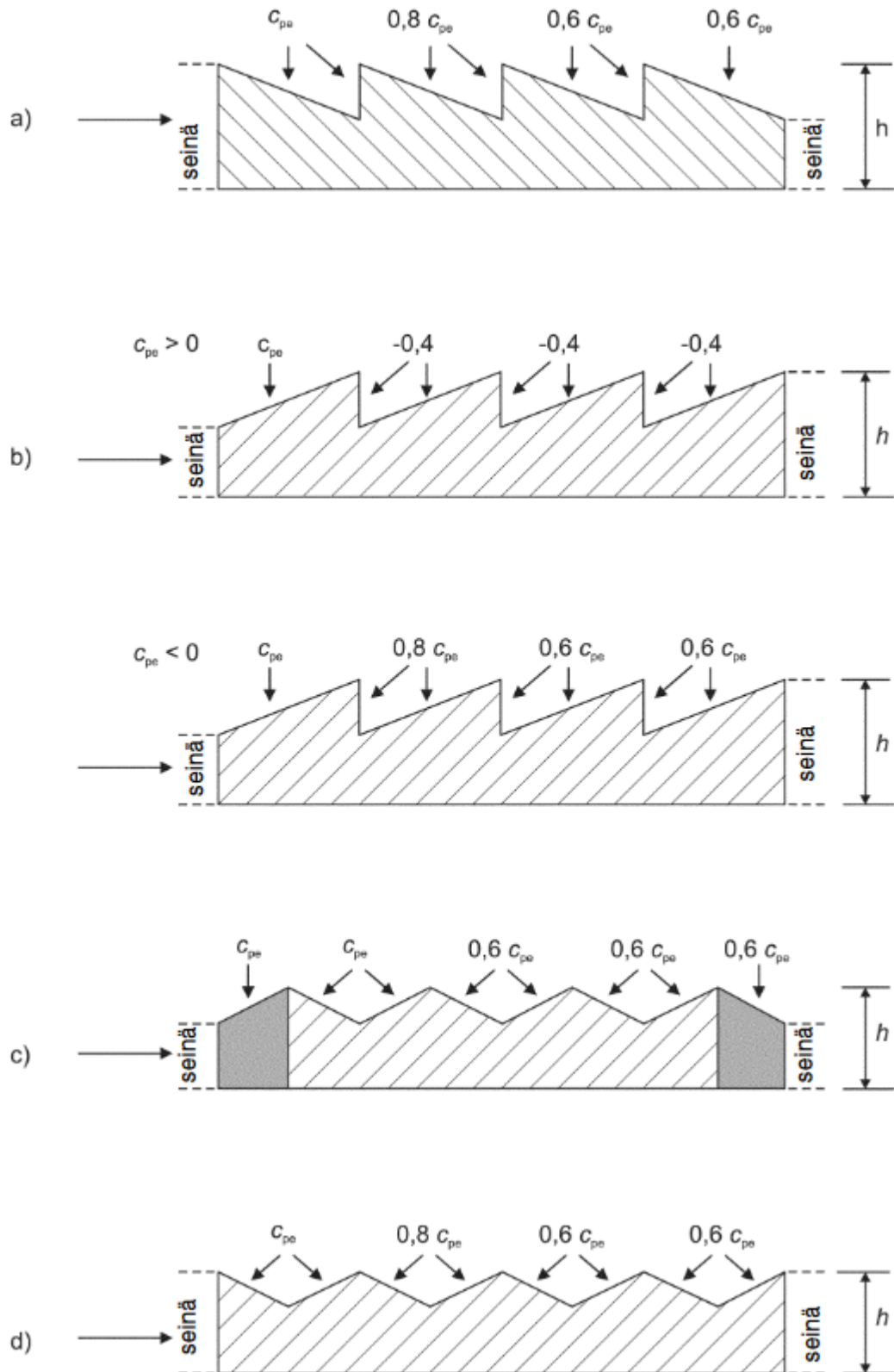
- pulpettikaton tyyppisten lappeiden tapauksessa kohdasta, muunnettuna sijaintinsa perusteella kuvan mukaisesti
- harjakaton tyyppisten lapeparien tapauksessa reunimmaisen lappeen painekertoimen arvo on pulpettikaton painekertoimen arvo, muiden lappeiden painekertoimen arvo c_{pe} on kuvetaiteisen harjakaton painekertoimen arvo c_{pe} . Kohta

Vyöhykkeitä F, G ja J käytetään vain tuulenpuoleisella lappeella. Vyöhykkeitä H ja I käytetään sahakaton jokaisella lappeella. Nopeuspainekertoimen z_e arvona käytetään kuvan mukaista korkeutta h . Sahakatoilla, joissa ei muodostu vaakasuuntaista kuormaresultanttia katon pintaa vastaan kohtisuorasta tuulikuormasta, käytetään minimikarheuskerrointa 0,05 (riippumatta rakenteen pinnan karheudesta). Täten jokainen sahakatto suunnitellaan seuraavalle vaakasuuntaiselle kuormaresultantin minimiarvolle:

$$0.05 * q_{p,ze} * A_{shed}$$

jossa

A_{Shed} on sahakaton vaakasuuntainen projektiopinta-ala



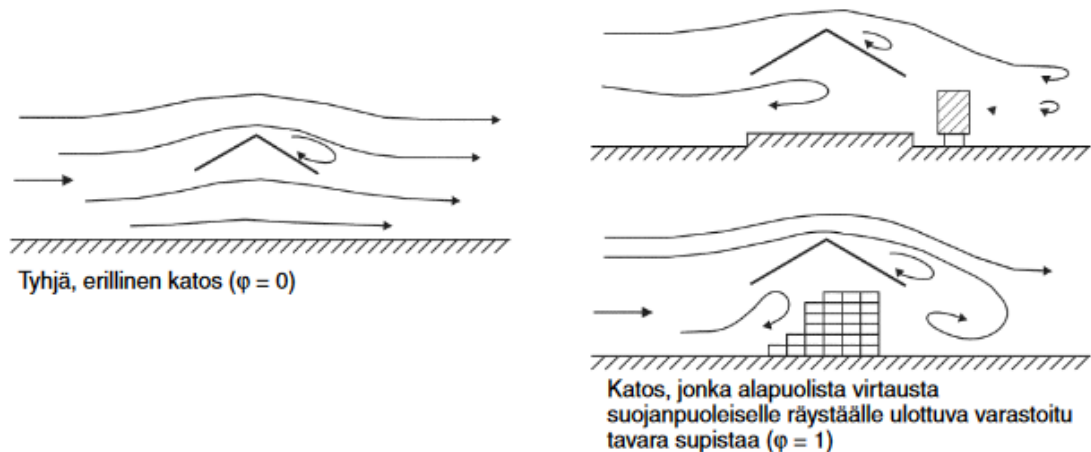
Kuvio 2.5 Sahakattoja koskeva vyöhykekaavio

Tapauksessa b otetaan huomioon kaksi alatausta reunimmaisen lappeen painekertoimen c_{pe} etumerkin mukaan ja tapauksessa c reunimmaisen lappeen

ulkoisen painekertoimen c_{pe} arvo on pulpettikaton painekertoimen c_{pe} arvo, kaikkien muiden painekertoimien c_{pe} arvo on kuvetaitteisen harjakaton painekertoimen c_{pe} arvo.

Katokset

Katokseksi määritellään sellaisen rakenteen katto, jolla ei ole pysyviä seiniä. Täten aurinkopaneeleja voidaan verrata pulpettikattoisiin katoksiin.

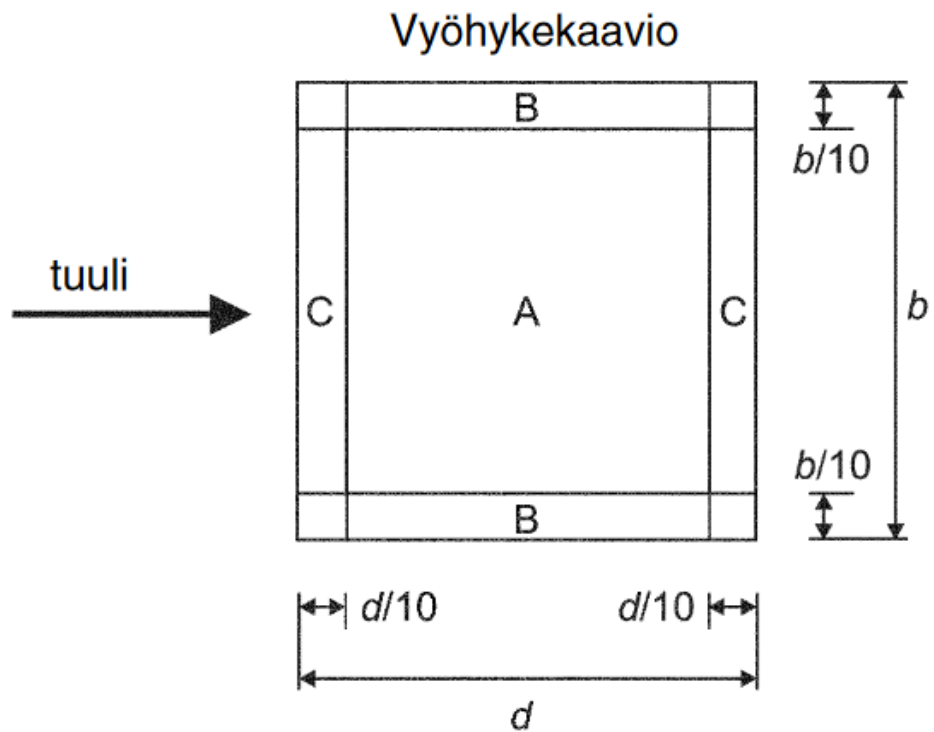


Kuvio 2.6 Ilmanvirtaus katoksen kohdalla

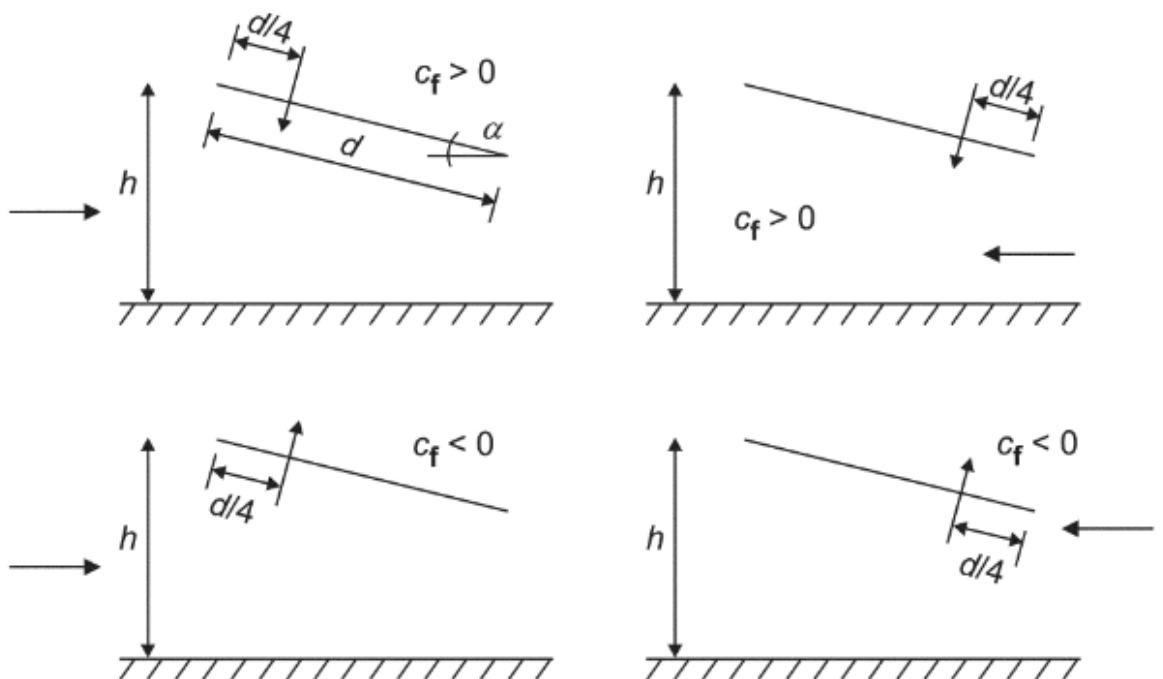
Kuvassa on havainnollistettu ilmavirtauksen tukkeutumista katoksen alla. Tämä riippuu umpinaisuussuhteesta ϕ , joka on katoksen alla olevien, sinne todellisuudessa kasattavissa olevien esteiden poikkileikkausala jaettuna katoksen alaisella poikkileikkauksella. Tällainen este voisi olla esimerkiksi aurinkopaneelien telineen takareunan rakenteet. Täten kumpikin pinta-ala määritetään kohtisuoraan tuulen suuntaa vastaan. Arvo $\phi = 0$ edustaa tyhjää katosta, ja $\phi = 1$ edustaa katosta, joka on täysin tukittu suojanpuoleiselle räystäälle.

Kokonaisvoimakertoimissa c_f ja nettopaineen kertoimissa $c_{p,net}$, jotka esitetään taulukoissa 2.7 arvoille $\phi = 0$ ja $\phi = 1$, on otettu huomioon sekä katoksen yläettä alapinnalle vaikuttavan tuulen yhteisvaikutus kaikilla tuulen suunnilla. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.

Kokonaisvoimakerroin edustaa kuormaresultanttia. Nettopaineen kerroin edustaa suurinta paikallista painetta eri tuulen suuntien vallitessa. Sitä käytetään katteen osia ja kiinnityksiä mitoitettaessa.



Kuvio 2.7 Yksilapaisen suoran katoksen vyöhykekaavio



Kuvio 2.8 Suorien katosten tuulikuormaresultantin paikka

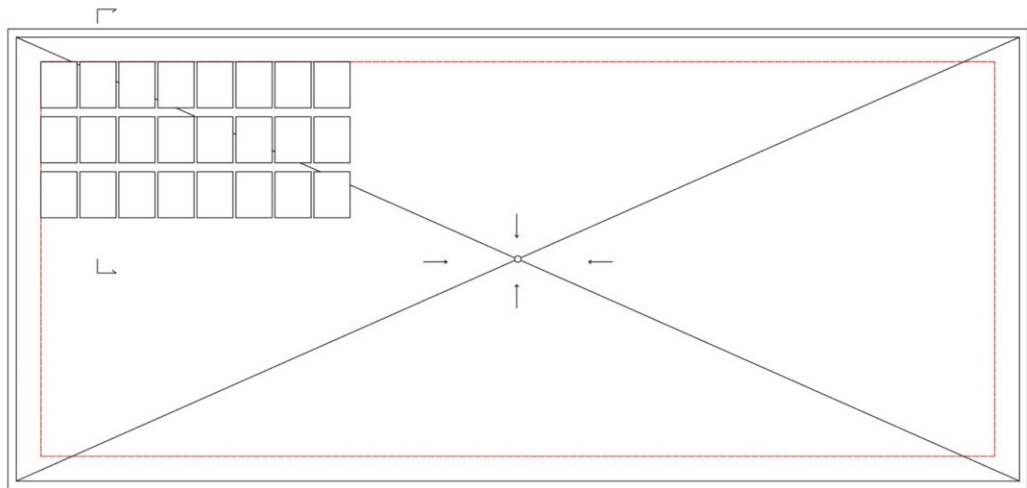
Taulukko 2.7 Nettopaineen kertoimien $c_{p,net}$ ja voimakertoimien c_f arvot suoralle katokselle

Kaltevuus- kulma α	Umpinaisuus- suhde ϕ	Kokonais- voimakerroin c_f	A	B	C
0°	Maksimi $\forall \phi$	0.2	0.5	1.8	1.1
	Minimi $\phi=0$	-0.5	-0.6	-1.3	-1.4
	Minimi $\phi=1$	-1.3	-1.5	-1.8	-2.2
5°	Maksimi $\forall \phi$	0.4	0.8	2.1	1.3
	Minimi $\phi=0$	-0.7	-1.1	-1.7	-1.8
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.6	-2.2	-2.5
10°	Maksimi $\forall \phi$	0.5	1.2	2.4	1.6
	Minimi $\phi=0$	-0.9	-1.5	-2.0	-2.1
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.6	-2.6	-2.7
15°	Maksimi $\forall \phi$	0.7	1.4	2.7	1.8
	Minimi $\phi=0$	-1.1	-1.8	-2.4	-2.5
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.6	-2.9	-3.0
20°	Maksimi $\forall \phi$	0.8	1.7	2.9	2.1
	Minimi $\phi=0$	-1.3	-2.2	-2.8	-2.9
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.6	-2.9	-3.0
25°	Maksimi $\forall \phi$	1.0	2.0	3.1	2.3
	Minimi $\phi=0$	-1.6	-2.6	-3.2	-3.2
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.5	-2.5	-2.8
30°	Maksimi $\forall \phi$	1.2	2.2	3.2	2.4
	Minimi $\phi=0$	-1.8	-3.0	-3.8	-3.6
	Minimi $\phi=1$	-1.4	-1.5	-2.2	-2.7

Liite 3. Laskentaesimerkki

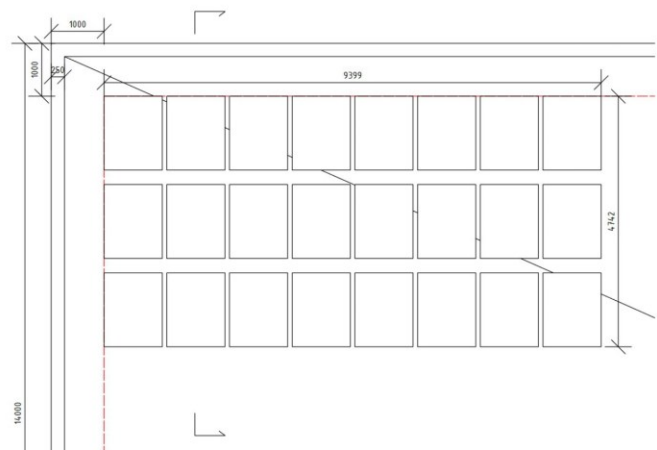
1 (9)

Tasakaton aurinkopaneelikentän laskennallinen tarkastelu

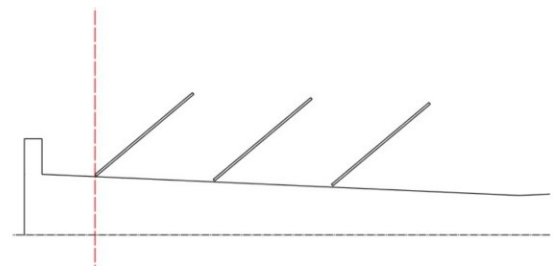


Kuva 2.1) Esimerkkikohde, vesikatto

Tarkastellaan teoreettista tasakattoista rakennusta, jonka katolla on kulmaan asennettu aurinkopaneelikenttä. (kuvat 2.1-2.3)



Kuva 2.2) Esimerkkikohde, vesikaton paneelikenttä



Kuva 2.3) Esimerkkikohde, pystyleikkaus

$h := 30 \text{ m}$	Rakennuksen korkeus
$b := 30 \text{ m}$	Tuulen vastainen pituus
$d := 14 \text{ m}$	Tuulen suuntainen pituus
$\alpha := 1.4 \text{ deg}$	Kattokulma

Paneelien kulma 45°

Tuulennopeuden perusarvo

$$c_{dir} := 1$$

Suuntakerroin, suositusarvo 1

$$c_{season} := 1$$

Vuodenaikakerroin, suositusarvo 1

$$v_{b,0} := 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tuulennopeus, kansallisen liitteen mukaan
21 m/s

$$v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 21 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo, maastoluokka IV

$$z := 1 \text{ m}, 2 \text{ m} \dots 30 \text{ m}$$

Tarkasteltava korkeus

$$z_0 := 1 \text{ m}$$

Rosoisuusmitta

$$z_{0,2} := 0.05 \text{ m}$$

Vertailuarvo rosoisuudelle

$$c_0(z) := 1$$

Pinnanmuotokerroin, suositusarvo 1 jos ei mäkiä

$$k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,2}} \right)^{0.07} = 0.23$$

Maastokerroin

$$c_r(z) := k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo korkeudella (z)

$$v_m(z) := c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo korkeudella (z)

$$v_m(h) = 16.74 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tuulennopeuden modifioitu perusarvo korkeudella (h)

Puuskannopeuspaine

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ilman tiheys

$$q_b := 0.5 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Nopeuspaineen, perusarvo

$$k_I := 1$$

Pyörteisyyserroin, suositusarvo 1

$$I_v(z) := \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

Tuulennopeuden intensiteetti

$$I_v(10 \text{ m}) = 0.43$$

$$q_p(z) := (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$$

Puuskanopeuspaine, korkeudella (z)

$$q_p(h) = 0.54 \frac{kN}{m^2}$$

Puuskanopeuspaine, korkeudella (h)

$$c_e(z) := \frac{q_p(z)}{q_b}$$

Altistuskerroin, korkeudella (z)

$$c_e(h) = 1.94$$

Altistuskerroin, korkeudella (h)

Pintoihin vaikuttava tuulenpaine (korkeus)

$$z_e := \begin{cases} \text{if } h \leq b \\ h \\ \text{if } h > b \\ \text{“kaksi vyöhykettä”} \end{cases} = 30 \text{ m}$$

Ulkopuolisen paineen kertoimet ja tulokset vyöhykkeittäin

HUOM. 1 Rakennetyksityskohdan painekertoimen $c_{pe,1}$ arvot on tarkoitettu pienten osien ja kiinnitysten mitoittamiseen, kun osan ala on enintään 1 m^2 . Tällaisia voivat olla verhouk- ja katelevyt. Rakennekokonaisuuden painekertoimen $c_{pe,10}$ arvoja voidaan käyttää rakennusten kantavan rungon suunnitteluun. Tämän laskentaesimerkin osalta on käytetty $c_{pe,1}$ -arvoja.

Tasakatto, kun paneeleja ei huomioida

$$h_p := 0.5 \text{ m} \quad \text{Räystääskorkeus}$$

$$r := 0 \text{ m} \quad \text{Räystääs pyörästys}$$

$$\frac{h_p}{h} = 0.02 \quad \frac{r}{h} = 0$$

$$e := \min(b, 2h) = 30 \text{ m}$$

Painekertoimet pinnoilla (ks. aluediagrammi)

$$c_{pe,F} := -1.8$$

$$c_{pe,G} := -1.4$$

$$c_{pe,H} := -1.2$$

$$c_{pe,I} := 0.2$$

$$w_{e,F} := q_p(z_e) \cdot c_{pe,F} = -0.96 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e,G} := q_p(z_e) \cdot c_{pe,G} = -0.75 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e,H} := q_p(z_e) \cdot c_{pe,H} = -0.64 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e,I} := q_p(z_e) \cdot c_{pe,I} = 0.11 \frac{kN}{m^2}$$

$$z_i := z_e$$

Sisäpuolisen paineen nopeuspainekorkeutena z_i käytetään ulkopuolisen paineen nopeuspainekorkeuden arvoa z_e

$$c_{pi.1} := 0.2$$

Aukkosuhdetta μ ei arvioitu,

=> käytetään sisäpuolisen paineen kertoimen c_{pi} arvona vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoista +0,2 and -0,3.

$$c_{pi.2} := -0.3$$

$$w_{F.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.1}) = -1.07 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{F.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.2}) = -0.8 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.1}) = -0.86 \frac{kN}{m^2}$$

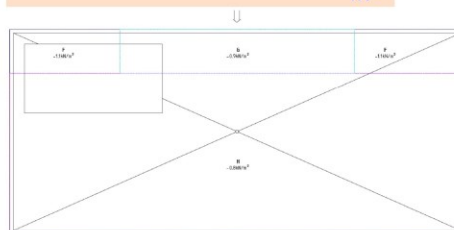
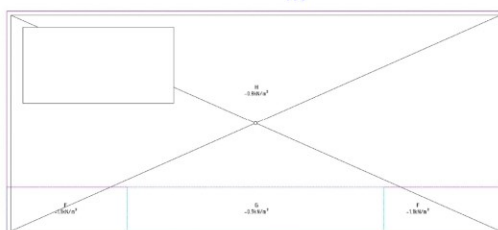
$$w_{G.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.2}) = -0.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.1}) = -0.75 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.2}) = -0.48 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{I.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.I} - c_{pi.1}) = 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{I.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.I} - c_{pi.2}) = 0.27 \frac{kN}{m^2}$$



Kuva 2.4) Esimerkkikohde, tuulikuorman kuormitusalueet, tuulen suunnat 0° ja 180°

Tämän jälkeen voidaan ajatella aurinkopaneelikenttää tasakattolla sahalaitaisena katon osana. Tämä on perusteltua etenkin jos paneelien takaosat on tukittu tuuliesteillä

Sahakattovertailu

Kunkin sahakaton lappeen painekertoimet saadaan tuulen suunnan ollessa 0°, 90° tai 180° kunkin yksittäisen lappeen painekertoimen perusteella. (kuva 2.5)

Vyöhykkeitä F, G ja J käytetään vain tuulenpuoleisella lappeella. Vyöhykkeitä H ja I käytetään sahakaton jokaisella lappeella.

Sahakatoilla, joissa ei muodostu vaakasuuntaista kuormaresulanttia katon pintaa vastaan kohtisuorasta tuulikuormasta, käytetään minimikarheuskorjinta 0,05 (riippumatta rakenteen pinnan karheudesta). Täten jokainen sahakatto suunnitellaan seuraavalle vaakasuuntaiselle kuormaresulantin minimiarvolle

$$A_{shed} := 45 \text{ m}^2$$

Sahakaton vaakasuuntainen projektiopinta-ala/aurinkopaneelirivin projektiopinta-ala

$$0.05 \cdot q_p(z_e) \cdot A_{shed} = 1.2 \text{ kN}$$

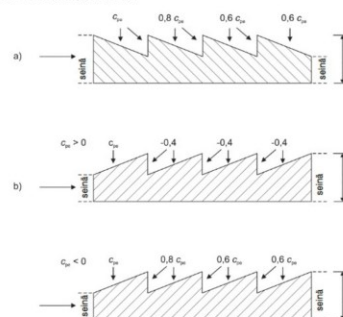
$$\alpha_{sk} := 45 \text{ deg}$$

Tuulen suunta 0°

$$c_{pe.F} := -0.4$$

$$c_{pe.G} := -0.4$$

$$c_{pe.H} := -0.4$$



Kuva 2.5) Sahakaton voimakertoimien muunto pulpettikaton kertoimista

$$w_{e.F.b2} := q_p(z_e) \cdot (-0.4) c_{pe.F} = 0.09 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.G.b2} := q_p(z_e) \cdot (-0.4) c_{pe.G} = 0.09 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{e.H.b2} := q_p(z_e) \cdot (-0.4) = -0.21 \frac{kN}{m^2}$$

$$z_j := z_e$$

Sisäpuolisen paineen nopeuspaine korkeutena z_i käytetään ulkopuolisen paineen nopeuspaine korkeuden arvoa z_e

Tapauksessa c reunimmaisen lappeen ulkoinen painekerroin c_{pe} pulpettikaton arvo, muissa tapauksissa kuvetaiteisen katon arvo

$$c_{pi.1} := 0.2$$

$$c_{pi.2} := -0.3$$

Aukkosuhdetta μ ei arvioitu, => käytetään sisäpuolisen paineen kertoimen c_{pi} arvona vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoista +0,2 and -0,3.

$$w_{F.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.1}) = -0.32 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{F.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.2}) = -0.05 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.1}) = -0.32 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.2}) = -0.05 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.1}) = -0.32 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.2}) = -0.05 \frac{kN}{m^2}$$

Tuulen suunta 180°

Painekertoimet pinnoilla

$$c_{pe.F} := -1.35$$

Ensimmäinen paneelirivi

$$c_{pe.G} := -0.5$$

$$c_{pe.H} := -0.7$$

$$z_j := z_e$$

Sisäpuolisen paineen nopeuspaine korkeutena z_i käytetään ulkopuolisen paineen nopeuspaine korkeuden arvoa z_e

$$c_{pi.1} := 0.2$$

$$c_{pi.2} := -0.3$$

Aukkosuhdetta μ ei arvioitu, => käytetään sisäpuolisen paineen kertoimen c_{pi} arvona vaarallisemman vaikutuksen tuottavaa arvoista +0,2 and -0,3.

$$w_{F.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.1}) = -0.83 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{F.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.2}) = -0.56 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.1}) = -0.37 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.2}) = -0.11 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.1}) = -0.48 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.2}) = -0.21 \frac{kN}{m^2}$$

$$c_{pe.F} := -1.35 \cdot 0.8$$

Toinen paneelirivi

$$c_{pe.G} := -0.5 \cdot 0.8$$

$$c_{pe.H} := -0.7 \cdot 0.8$$

$$w_{F.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.1}) = -0.69 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{F.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.2}) = -0.42 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.1}) = -0.32 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.2}) = -0.05 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.1}) = -0.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.2}) = -0.14 \frac{kN}{m^2}$$

$$c_{pe.F} := -1.35 \cdot 0.6$$

Kolmas paneelirivi

$$c_{pe.G} := -0.5 \cdot 0.6$$

$$c_{pe.H} := -0.7 \cdot 0.6$$

$$w_{F.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.1}) = -0.54 \frac{kN}{m^2}$$

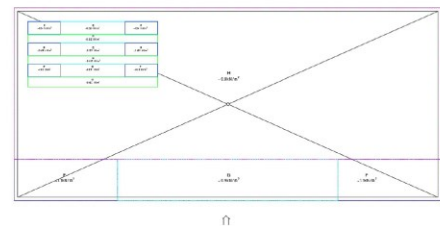
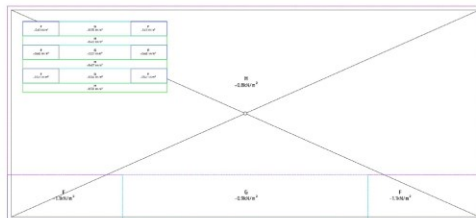
$$w_{F.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.F} - c_{pi.2}) = -0.27 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.1}) = -0.27 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{G.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.G} - c_{pi.2}) = 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.1} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.1}) = -0.33 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{H.2} := q_p(z_e) \cdot (c_{pe.H} - c_{pi.2}) = -0.06 \frac{kN}{m^2}$$



Kuva 2.6) Paneelikenttä sahakattokertoimilla

Taulukko 1.1) Kattopinnan kuormat eri tapauksissa

Tasakatto, koko katto			
A [m ²]	Aluetunnus	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]
45 Fz2		-1,07	-48,15
45 G		-0,86	-38,7
330 H		-0,75	-347,5
	yht.		-334,35

Tuulen suunta 0°				Tuulen suunta 180°			
A [m ²]	Aluetunnus	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]	A [m ²]	Aluetunnus	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]
13 F		-1,07	-13,91	44,57006 H		-0,75	-33,4275435
5,798 G		-0,86	-4,98208				
25,77206 H		-0,75	-19,5290435				
	yht.		-38,225235				

Sahakattokenttä				Sahakattokenttä			
A [m ²]	Aluetunnus	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]	A [m ²]	Aluetunnus	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]
18,72405 Fz6		-0,321	-6,03418812	6,241349 Fz2		-0,541	-3,376509655
18,72006 Gz3		-0,321	-6,00914	6,240021 Gz1		-0,268	-1,672325566
20,91336 Hz3		-0,321	-6,71188413	8,0019 Hz1		-0,332	-2,636630916
	yht.		-18,75274472	6,241349 Fz2		-0,888	-4,27523287
				4,412361 Gz1		-0,321	-1,416367881
				8,0019 Hz1		-0,407	-3,256773443
				6,241349 Fz2		-0,83	-5,180319433
				6,240021 Gz1		-0,376	-2,340097788
				9,596964 Hz1		-0,482	-4,625736428
					yht.		-28,80005458

Kun käsitellään aurinkopaneelikenttää laskennassa sahakattona, 45° kulmassa olevat paneelit saavat tuulen suunnan ollessa sekä 0° että 180° aikaan pienemmän tuulikuorman kuin vastaava alue suoraa kattopintaa.

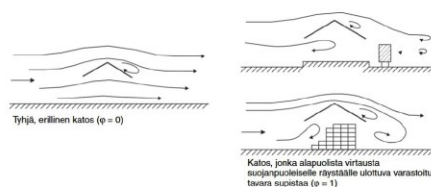
Lisäksi sahakaton käyttö vertailussa on muutoinkin ongelmallista, sillä edellä olevassa laskennassa on huomioitu sisäisen paineen kerroin, vaikka paneelien ollessa asennustelineillä ei niihin kohdistu sisäpuolista painetta, eikä Eurokoodi ohjeista paneelien kaltaisten katelevyjen turbulenssien laskentaa lainkaan.

Yksilappeinen katos

Lisäksi aurinkopaneelien tuulikuorman nettopainekerroinlaskentaan voidaan hakea vertailua avoimien yksilappeisten katosten mitoittamisesta. Kuitenkaan Eurokoodin laskentaohjeista ei löydy nettopainekertoimia kuin 30° oleviin katoksiin. Näiden nettopainekertoimet on esitetty taulukossa 1.2.

Taulukko 1.2) Katoksien kokonaisvoimakertoimet

Suora katos	Umpinaisuus suhde ϕ	Kokonaisvoimakerroin c_s	Kokonaisvoima		
			A	B	C
0°	Maksimi ϕ		0,2	0,5	1,8
	Minimi $\phi=0$		-0,5	-0,6	-1,3
	Minimi $\phi=1$		-1,3	-1,5	-1,8
5°	Maksimi ϕ		0,4	0,8	2,1
	Minimi $\phi=0$		-0,7	-1,1	-1,7
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,6	-2,2
10°	Maksimi ϕ		0,5	1,2	2,4
	Minimi $\phi=0$		-0,9	-1,5	-2,0
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,6	-2,6
15°	Maksimi ϕ		0,7	1,4	2,7
	Minimi $\phi=0$		-1,1	-1,8	-2,4
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,6	-2,9
20°	Maksimi ϕ		0,8	1,7	2,9
	Minimi $\phi=0$		-1,3	-2,2	-2,8
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,6	-2,9
25°	Maksimi ϕ		1,0	2,0	3,1
	Minimi $\phi=0$		-1,6	-2,6	-3,2
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,5	-2,5
30°	Maksimi ϕ		1,2	2,2	3,2
	Minimi $\phi=0$		-1,8	-3,0	-3,8
	Minimi $\phi=1$		-1,4	-1,5	-2,2



Kuva 2.7) Katoksen umpinaisuuskerroin havainnollistettuna

Katosten tapauksessa täytyy ottaa kantaa katoksen umpinaisuussuhteeseen ϕ . (kuva 2.7) Aurinkopaneelien tapauksessa voidaan tuulensuojalevyjen käytöstä riippuen todeta välin olevan $0 < \phi < 1$, sillä täyttää tukkoa ei saada aikaan. Tämä vaikuttaa paneelisiin kohdistuvaan minimivoimaan (imu).

Esimerkiksi 30° olevalle katokselle (paneelille) saataisiin kokonaisvoimakertoimen maksimiksi 1,2, ja minimiksi -1,4 ... -1,8 väliltä. Näin voimiksi saataisiin:

$$w_{cf,max} := q_p(z_e) \cdot (1,2) = 0,64 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_{cf,min} := q_p(z_e) \cdot (-1,8) = -0,96 \frac{kN}{m^2}$$

Taulukko 1.3) Katostapauksessa paneelikentän kuormat

Katos			
A [m ²]	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]	
63,03158	0,64	40,34021	

Tasakatto, paneelit laskennallisesti katoksia, min			
A [m ²]	Kuorma [kN/m ²]	Kuormitus [kN]	
63,03158	-0,96	-60,5103	

Paneeleja verrattaessa katoksiin, saadaan taulukon 1.3 mukainen kuormitus paneelikentän alalle. Tämä on merkittävästi suurempi kuin vastaavan alan tasakatolla. Esimerkiksi 1,4 m x 1,1 m aurinkopaneelin kuorma jakautuisi seuraasti:

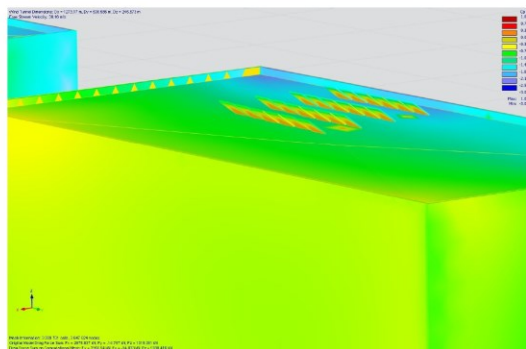
$$F_{max} := 1,4 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m} \cdot w_{cf,max} = 989,43 \text{ N}$$

$$F_{min} := 1,4 \text{ m} \cdot 1,1 \text{ m} \cdot w_{cf,min} = -1484,15 \text{ N}$$

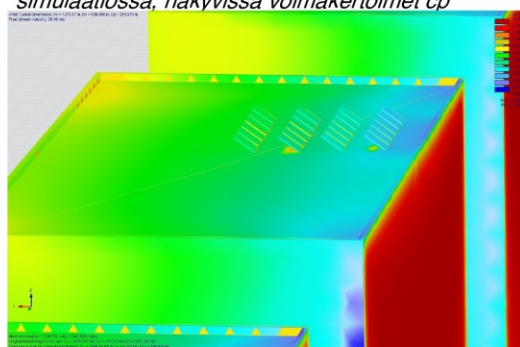
$$\frac{\left(\frac{F_{max}}{g}\right)}{4} = 25,22 \text{ kg}$$

$$\frac{\left(\frac{F_{min}}{g}\right)}{4} = -37,84 \text{ kg}$$

Näin ollen esimerkiksi kulumista kannatellulle aurinkopaneelille syntyisi jokaiselle neljästä kannakeesta minimitilanteessa 38 kg ylöspäin suuntautuva voima ja maksimitilanteessa 25 kg alaspäin suuntautuva voima. (yksinkertaistus, ei huomioi Eurokoodin kuormaresultantin sijaintiohjetta)



Kuva 2.8) Esimerkkirakennus RWIND-simulaatiossa, näkyvissä voimakertoimet c_p



Kuva 2.9) Esimerkkirakennus RWIND-simulaatiossa, näkyvissä voimakertoimet c_p

Simulaatiosta saatu pahimman tapauksen arvo on samaa suuruusluokkaa kuin katosanalogialla haettu kuorma. Tämän esimerkin osalta voidaan todeta katto-osan kuorman minimin (maksimi-imun) kasvaneen pahimmassa tapauksessa lähes 60%.

Kun tarkastellaan aurinkopaneelikentän tuulivaikutuksia CFD- simulaatiota hyödyntävällä RWIND- ohjelmalla, saadaan kuvien 2.8 ja 2.9 mukaisia tuloksia.

(Tuulen suunta X-akselin suunnassa, vrt. 0°)
 Paneelin yläpintojen painekertoimet ovat Likiptäen samat kuin ympäröivän kattopinnan, välillä $(-1.9) - (-0.70)$. Paneelin alapintojen painekertoimet ovat välillä $(-0.69) - (0.36)$.

Esimerkiksi reunimmaisen paneeliriviston yläpinnan ja alapinnan painekertoimien erotukseksi muodostuu $-1.17 \dots -0.9$. Käytetään laskentaesimerkinä pahinta tapausta varmuuden kasvattamiseksi, ja käytetään siis kokonaisvoimakertoimena -1.2 .

$$w_{cf.min.sim} := q_p(z_e) \cdot (-1.2) = -0.64 \frac{kN}{m^2}$$

$$F_{min.sim} := 1.4 \text{ m} \cdot 1.1 \text{ m} \cdot -w_{cf.min} = 1484.15 \text{ N}$$

$$\left(\frac{F_{min.sim}}{g} \right) = 37.84 \text{ kg}$$

Lumikuorma tasakatolla, kun paneelikentää ei huomioida

$$w_I := q_p(z_e) \cdot c_{pe,I} + q_p(z_i) \cdot c_{pi,1} = 0.21 \frac{kN}{m^2}$$

$$s_k := 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

Maanpinnan lumikuorman ominaisarvo

$$\mu_1 := 0.8$$

Symmetrinen harjakatto => $1 \times \mu$

Lumikuorma katolla

$$q_k := \mu_1 \cdot s_k = 2 \frac{kN}{m^2}$$

Lumikuorma sahakatolla

Tämän jälkeen voidaan ajatella aurinkopaneelikentää tasakatolla sahalaitaisena katon osana. Tämä on perusteltua etenkin jos paneelien takaosat on tukittu tuuliesteillä

$$\alpha_1 := 90 \text{ deg}$$

$$\alpha_2 := 45 \text{ deg}$$

$$\alpha_- := \frac{(\alpha_1 + \alpha_2)}{2} = 67.5 \text{ deg}$$

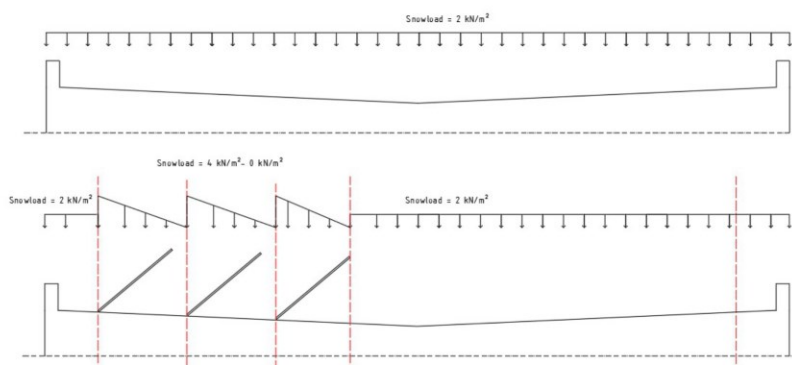
Taulukko 1.4) Lumikuorman muotokertoimet μ_1 , μ_2 , μ_3

Katon kaltevuuskulma α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1(\alpha)$	$\mu_1(0^\circ) \geq 0,8$	$\mu_1(0^\circ) \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_2(\alpha)$	0,8	$0,8 \frac{(60^\circ - \alpha)}{30^\circ}$	0,0
$\mu_3(\alpha)$	$0,8 + 0,8 \alpha/30^\circ$	1,6	--

$$\mu_{2,1} := 0,0 \quad \mu_{2,2} := 0,8 \cdot \frac{(60 \text{ deg} - \alpha_2)}{30 \text{ deg}} = 0,4 \quad \mu_3 := 1,6$$

$$\mu_{2,1} \cdot s_k = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \mu_{2,2} \cdot s_k = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \mu_3 \cdot s_k = 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

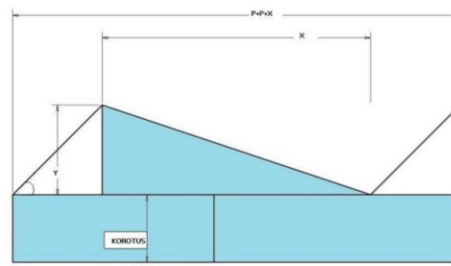
Vastaa noin 2 m lumikinosta jokaisen aurinkopaneelirivistön välissä



Kuva 2.10) Esimerkkirakennuksen lumikuormat, tasakattotapaus ja tasakatto-sahakattotapaus

Kun verrataan paneelikenttää laskennassa sahakattoon, huomataan ettei katon kokonaislumikuorma kasva tasakaton tapauksesta. Kuitenkin lumikuorman jakautuma muuttuu, kun paneelirivistöjä verrataan sahakaton hampaisiin. Tätä on havainnointi myös empiirisesti kohdekäyntien yhteydessä, joissa lumen kertymä paneelirivien väliin on havainnointi.

Laskentaesimerkissä paneelit ovat alareunastaan käytännössä kiinni kattopinnassa, mutta jos paneelit olisi korotettu irti kattopinnasta, olisi kohtuullista olettaa, että paneelikentän alle voisi päästä kertymään korotuksen verran lunta paneelirivien välisen lumikuorman lisäksi. Esimerkiksi tasakaton laskettu 2 kN/m^2 -kuorma vastaisi noin 1 m paksuista lumikerrosta kauttaaltaan koko kattopinnan alueella- tämän lisäksi <1 m korotettujen paneelikenttien väliin voisi kerääntyä paneelien kulmasta riippuva lumikuorma (kuva 2.11). Myös Sorsa on käsitellyt lumikuormien kerääntymistä vuoden 2016 opinnäytetyössään "Aurinkojärjestelmien asennus ja vaikutus rakenteisiin".

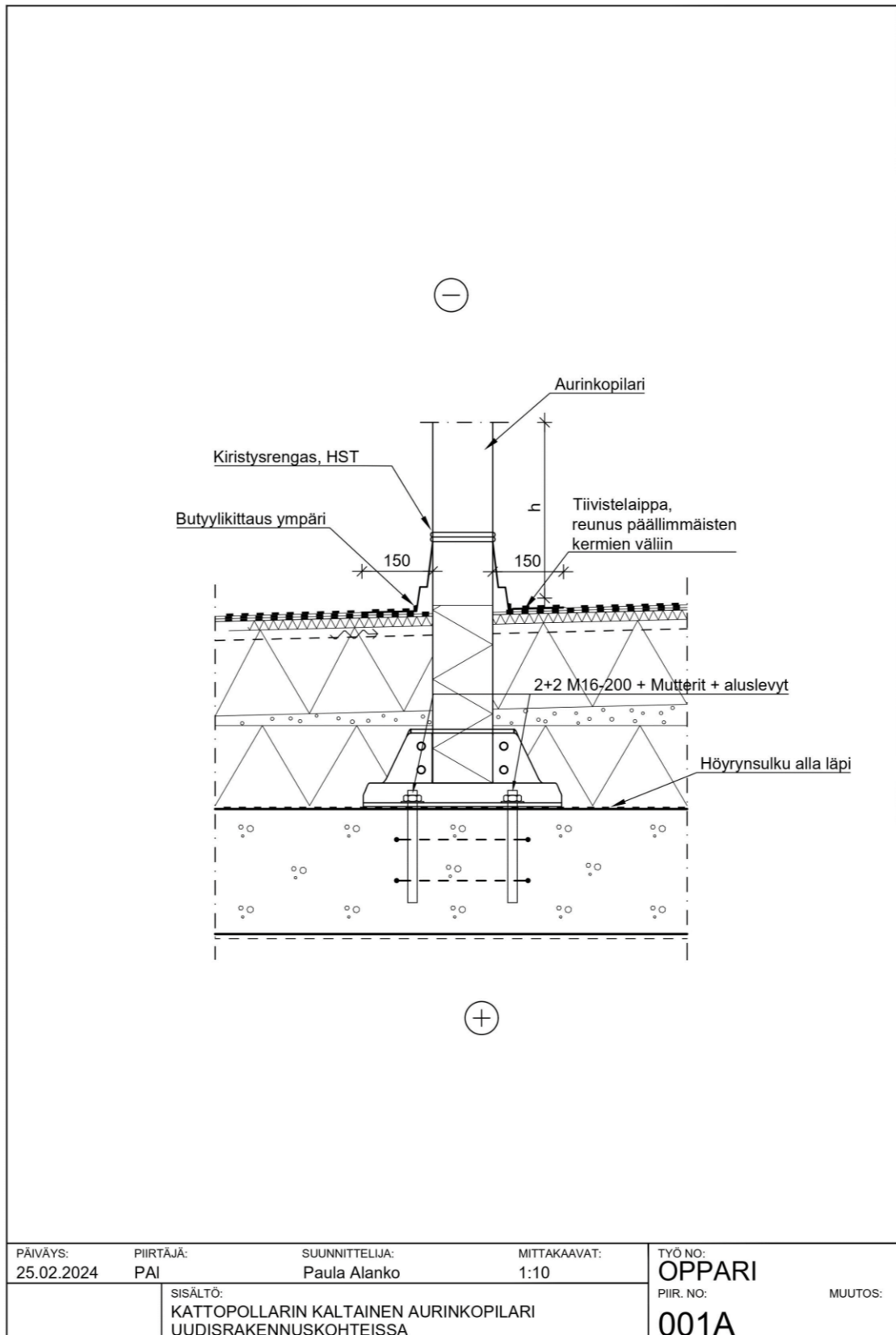


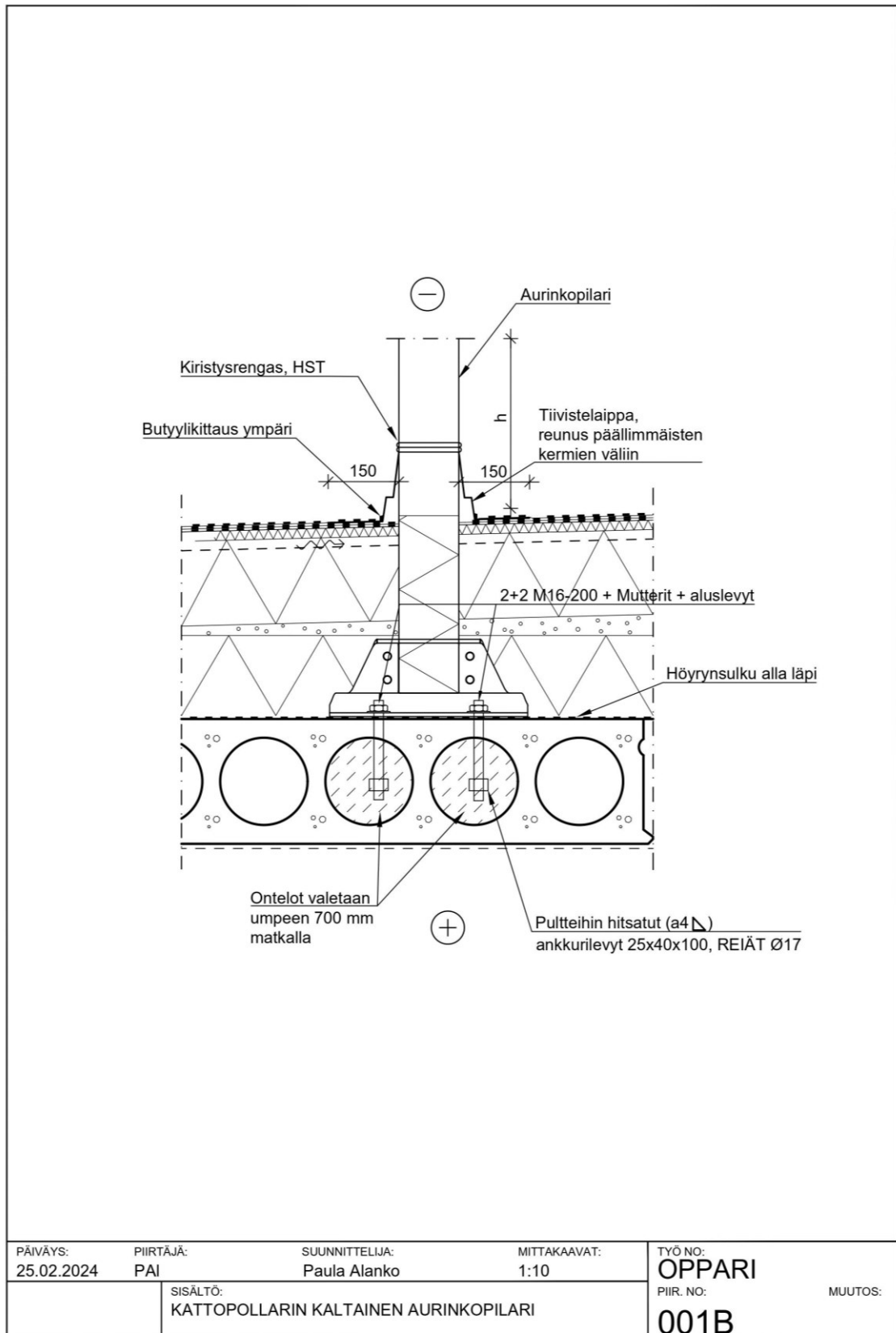
Kuva 2.11) Lumen profiili katolla kun paneelit on korotettu irti kattopinnasta. Tässä paneelien alla oleva alue on peruslumikuorma ja paneelien välissä oleva kolmiomaisesti kasaantunut lumikuorma (Sorsa 2016)

Liite 4. Detaljpiirustukset

Tunn	Lukum	Muutos					Piirt	Päiväys
Kaupunginosa / Kylä		Kortteli / Tila	Tontti / Rno		Viranomaisten merkintöjä			
Rakennuksen numero (RATUT) / Rakennusten numerot / Rakennustunnus / Rakennustunnukset								
Rakennustoimenpide				Piirustuslaji		Juokseva no		
				RAKENNEPIIRUSTUS				
Vastaava rakennesuunnittelija (nimi, tutkinto, allekirjoitus)								
Rakennuskohteen nimi ja osoite				Piirustuksen sisältö		Mittakaava		
				AURINKOPANEELIEN/-KERÄINTEN KIINITYS JULKISIVUIHIN		1:10, 1:5		
AFRY Buildings Finland Oy Linnoitustie 5 02600 Espoo T: +358 20 769 8698				Suunnitteluala		Työnumero	Rak. osa	
				RAK				
Päiväys		Suunnittelija		Piirustuksen numero		Tiedosto	Muutos	
10.04.2024		Paula Alanko						
Piirtäjä		Tarkastaja						
PAI				Aurinkopaneeliasennukset.dwg				

C:\Users\odk751\OneDrive - AFRY\2024 Aurinkovoimala-asennukset\Periaatekuvat\Aurinkopaneeliasennukset.dwg





PÄIVÄYS:
25.02.2024

PIIRTÄJÄ:
PAI

SUUNNITTELIJA:
Paula Alanko

MITTAKAAVAT:
1:10

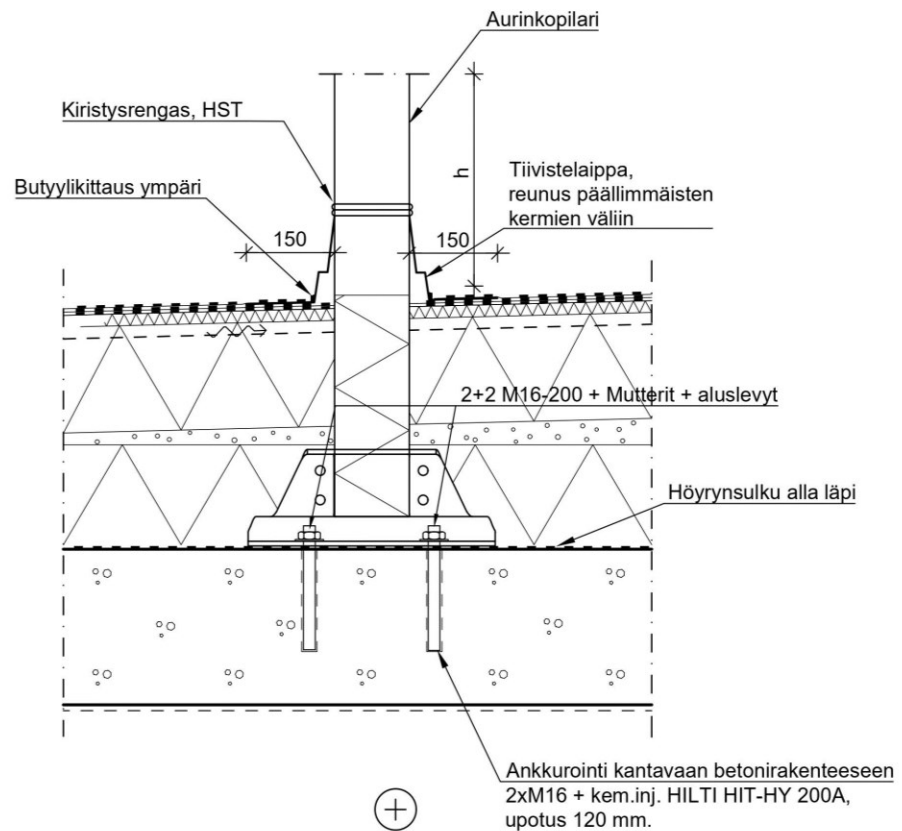
TYÖ NO:
OPPARI

PIIR. NO:

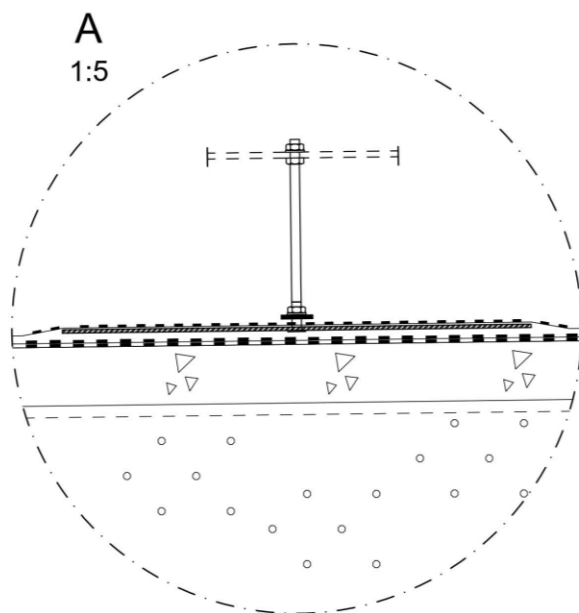
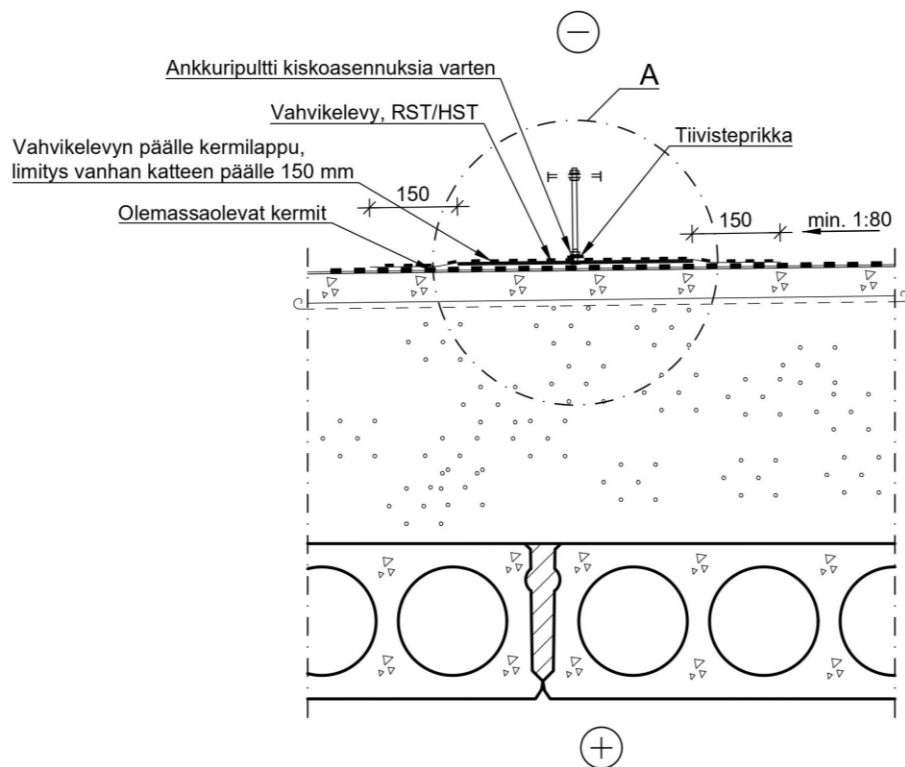
MUUTOS:

SISÄLTÖ:
KATTOPOLLARIN KALTAINEN AURINKOPILARI

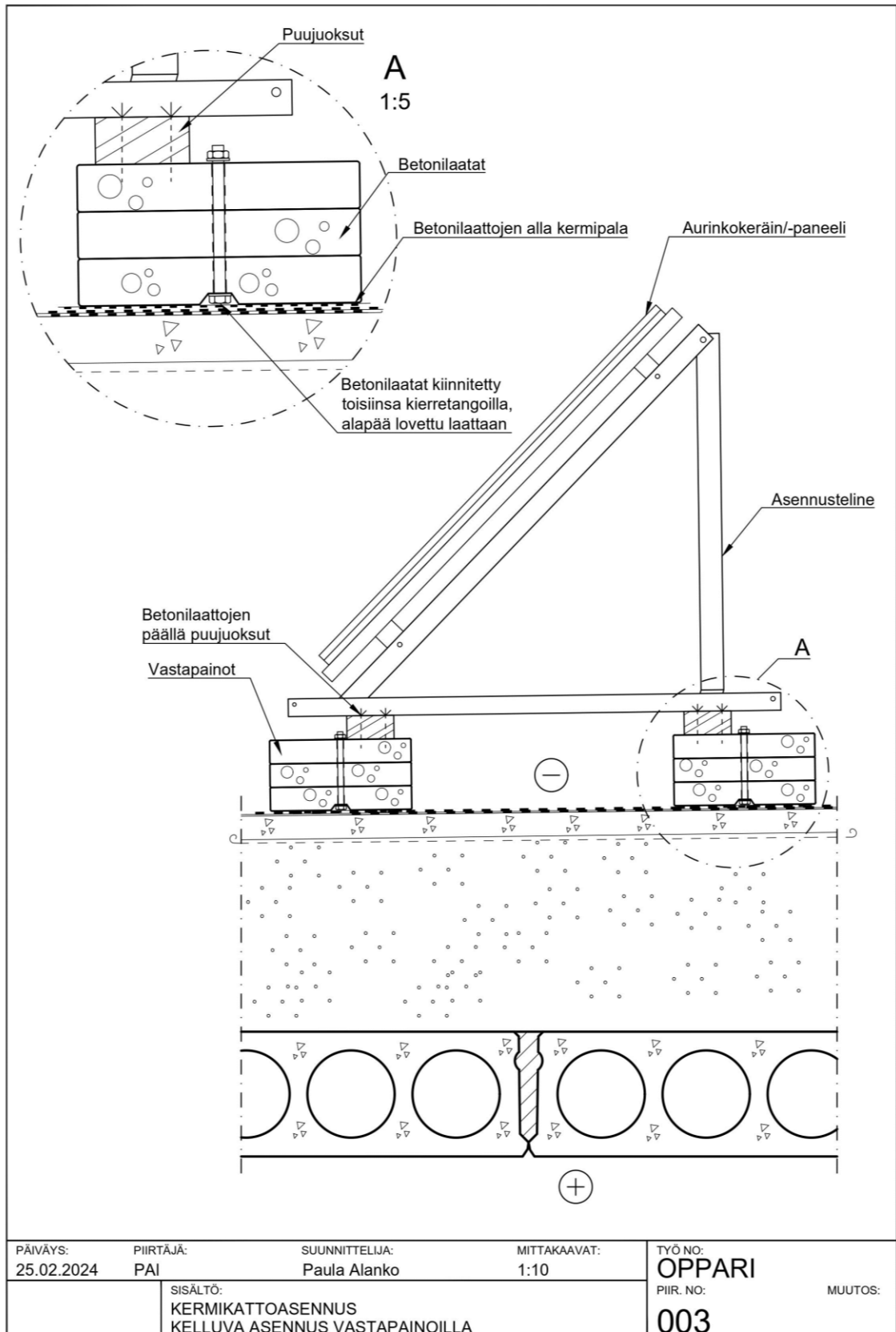
001B

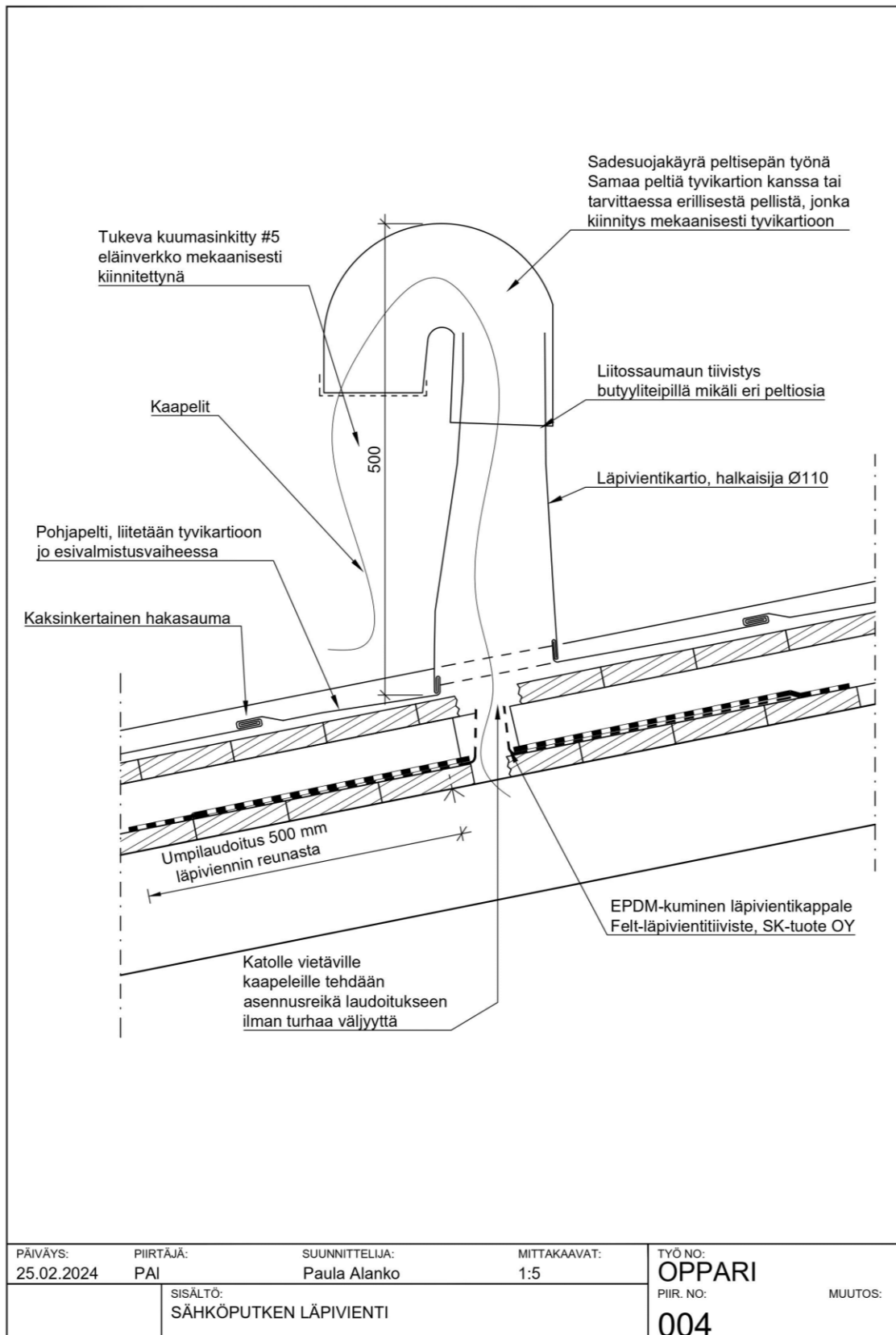


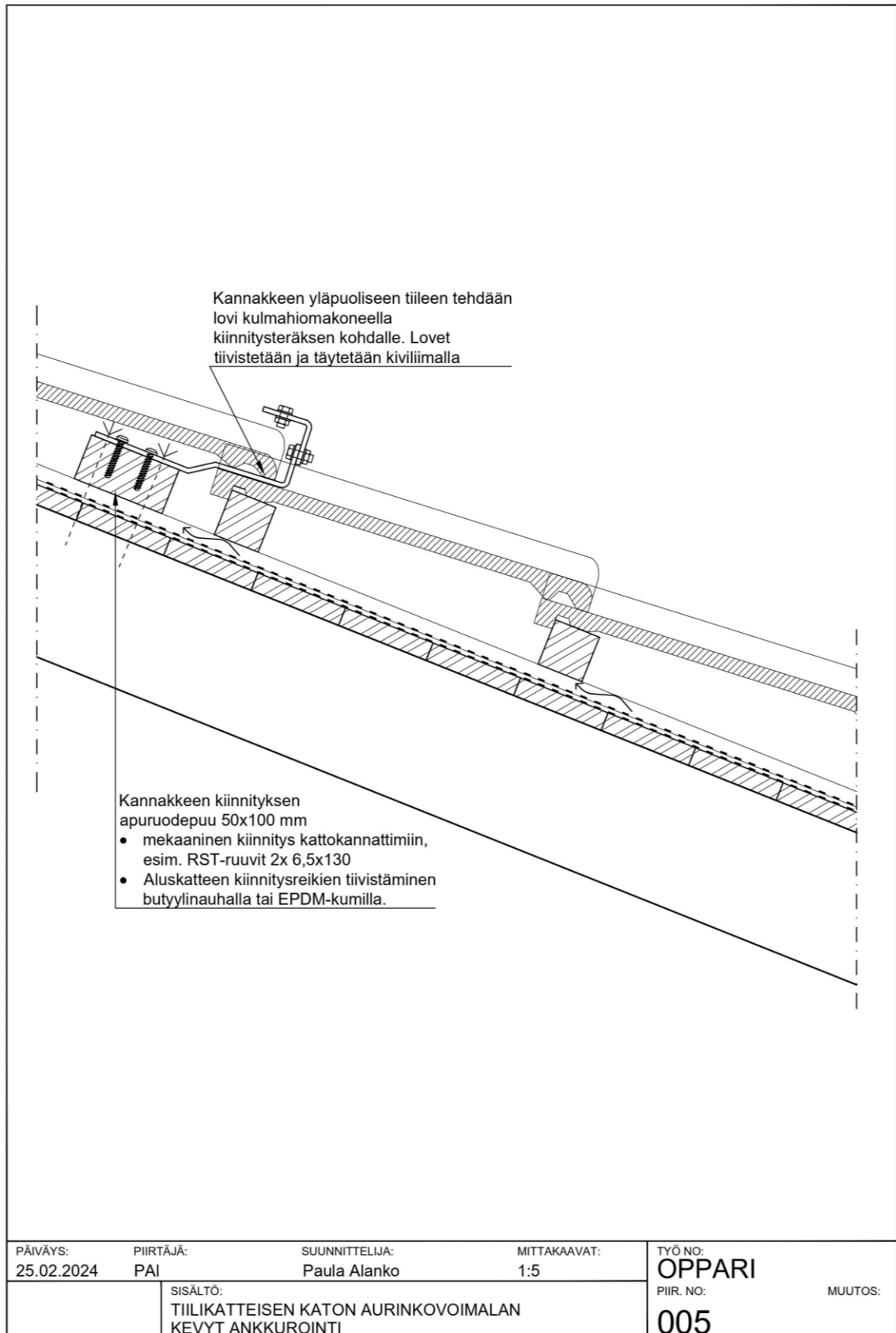
PÄIVÄYS: 25.02.2024	PIIRTÄJÄ: PAI	SUUNNITTELIJA: Paula Alanko	MITTAKAAVAT: 1:10	TYÖ NO: OPPARI	MUUTOS:
SISÄLTÖ: KATTOPOLLARIN KALTAINEN AURINKOPILARI				PIIR. NO: 001C	

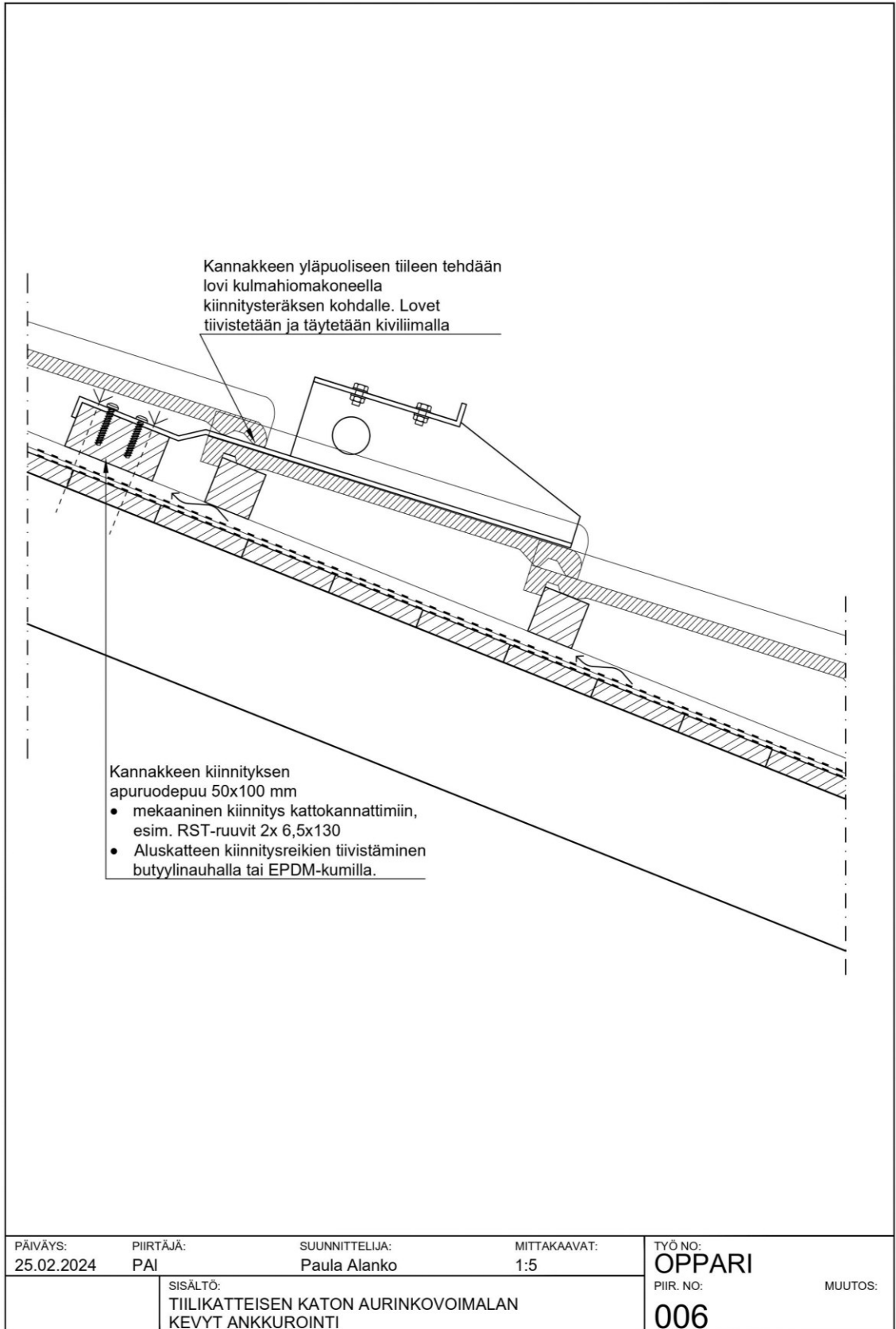


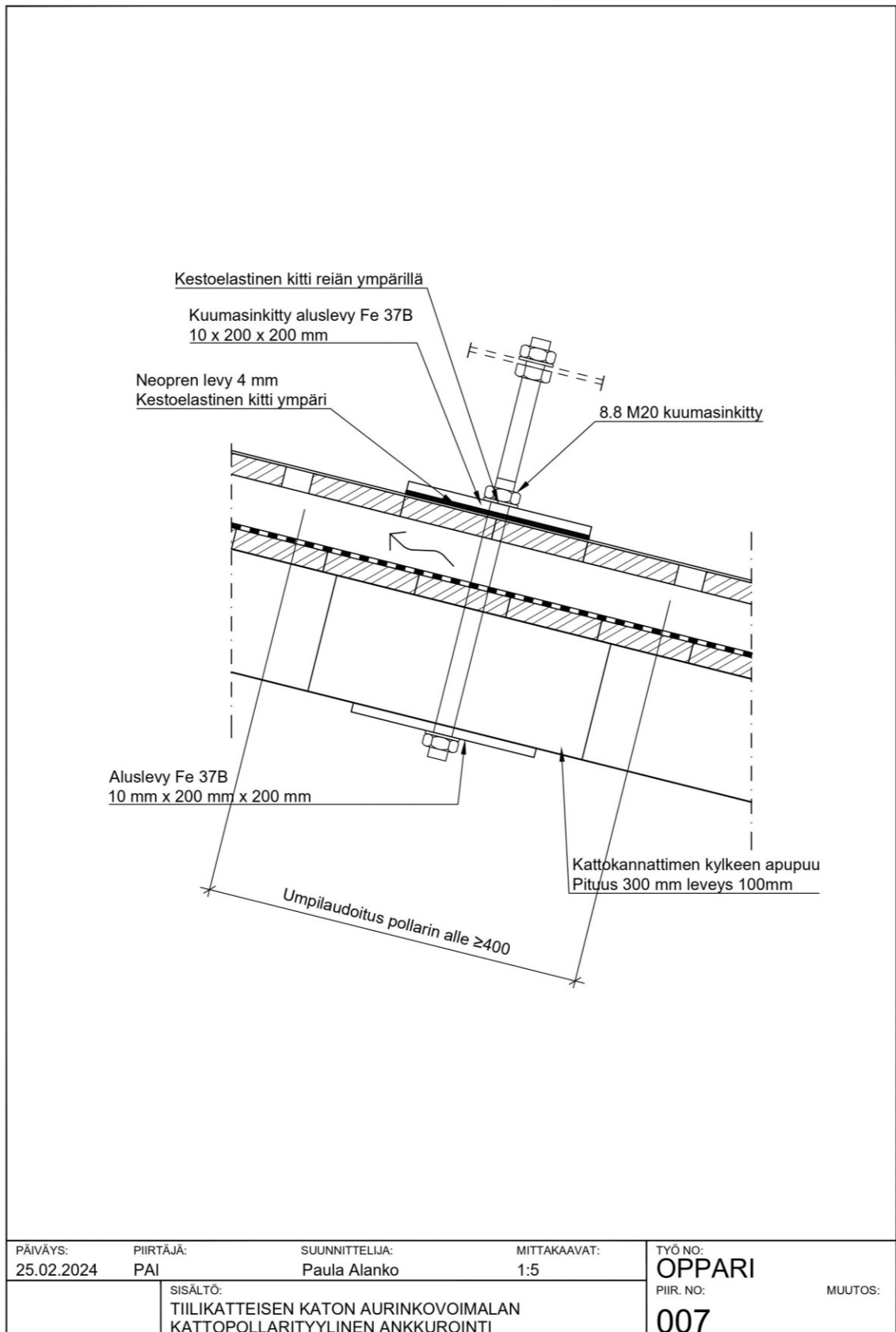
PÄIVÄYS: 25.02.2024	PIIRTÄJÄ: PAI	SUUNNITTELIJA: Paula Alanko	MITTAKAAVAT: 1:10	TYÖ NO: OPPARI	MUUTOS:
SISÄLTÖ: KERMIKATTOASENNUS VAHVIKELEVYLLÄ			002		











PÄIVÄYS:
25.02.2024

PIIRTÄJÄ:
PAI

SUUNNITTELIJA:
Paula Alanko

MITTAKAAVAT:
1:5

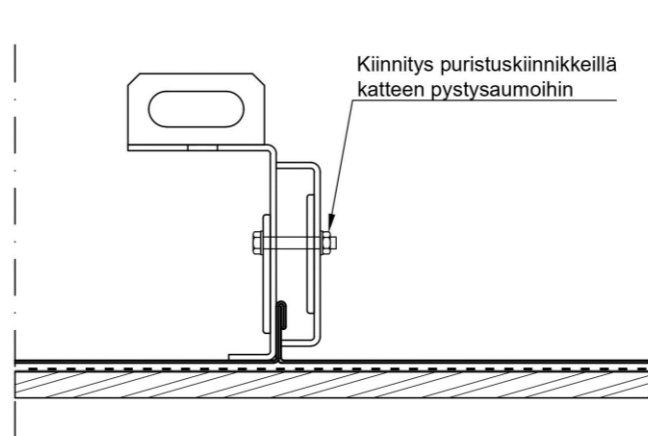
TYÖ NO:
OPPARI

PIIR. NO:

MUUTOS:

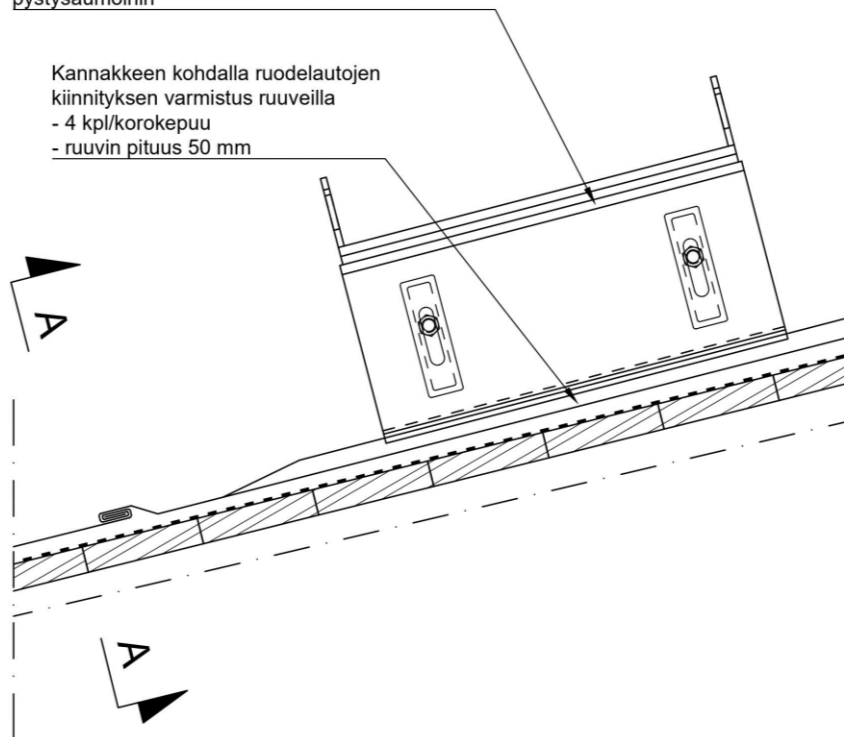
SISÄLTÖ:
TIILIKATTEISEN KATON AURINKOVOIMALAN
KATTOPOLLARITYYLINEN ANKKUROINTI

007



Aurinkopaneelin kannake, sijainnit vesikattokuvassa
- kiinnitys puristuskiinnikkeillä katteen
pystysaumoihin

Kannakkeen kohdalla ruodelautojen
kiinnityksen varmistus ruuveilla
- 4 kpl/korokepuu
- ruuvien pituus 50 mm



PÄIVÄYS:
25.02.2024

PIIRTÄJÄ:
PAI

SUUNNITTELIJA:
Paula Alanko

MITTAKAAVAT:
1:5

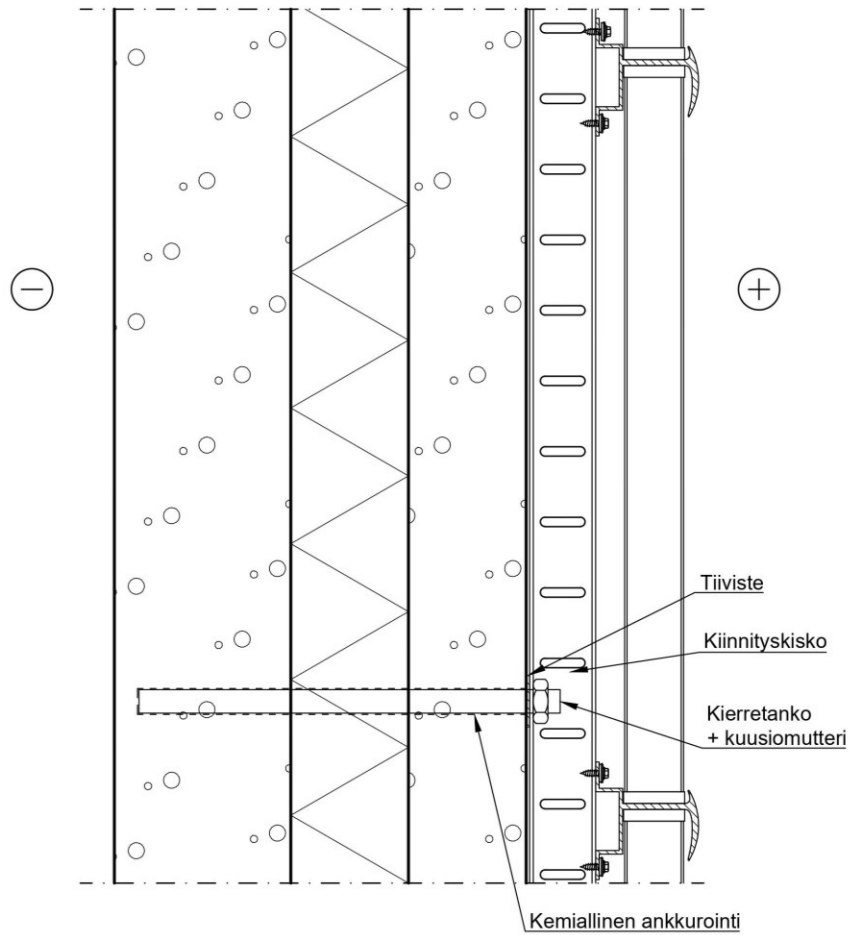
TYÖ NO:
OPPARI

PIIR. NO:

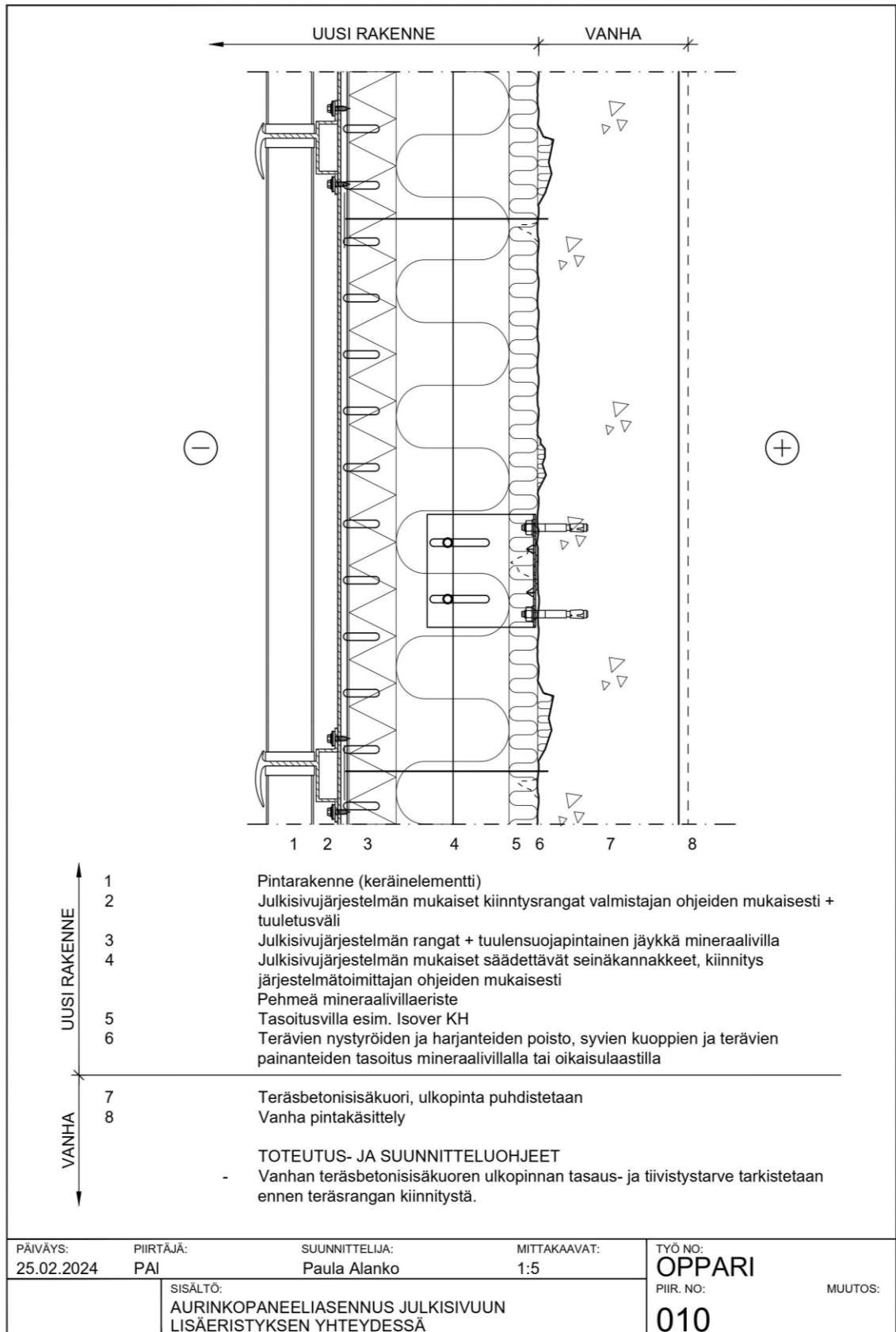
MUUTOS:

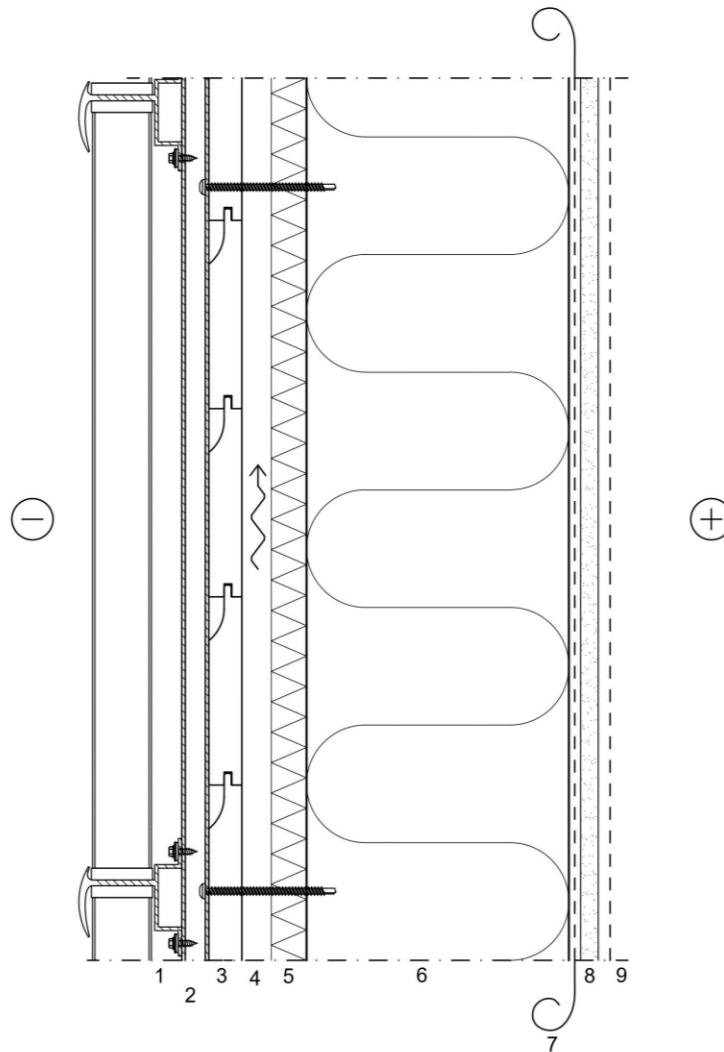
SISÄLTÖ:
ANKKUROINTI PELTIKATTEeseen
PURISTUSKIINNIKEELLÄ

008



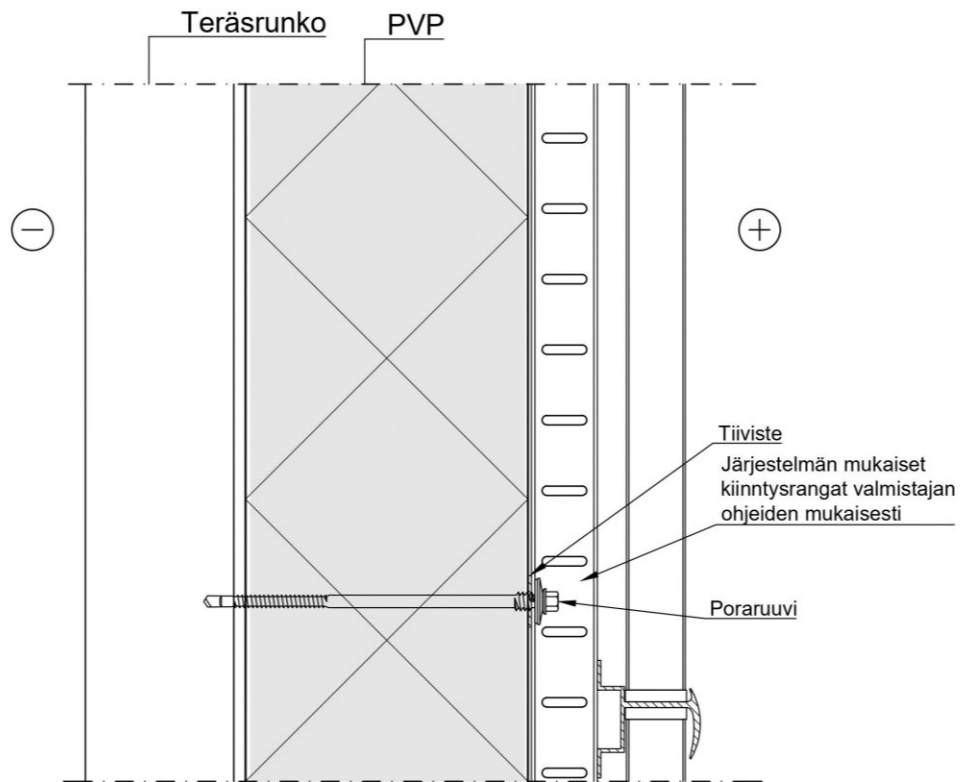
PÄIVÄYS: 25.02.2024	PIIRTÄJÄ: PAI	SUUNNITTELIJA: Paula Alanko	MITTAKAAVAT: 1:5	TYÖ NO: OPPARI	MUUTOS:
SISÄLTÖ: AURINKOPANEELIASENNUS JULKISIVUUN BETONISANDWICH- ULKOSEINÄ				PIIR. NO: 009	





- 1 Pintarakenne (keräinelementti)
 2 Julkisivujärjestelmän mukaiset kiinnitysranget valmistajan ohjeiden mukaisesti + tuuletusväli, kiinnitys järjestelmätoimittajan ohjeiden mukaisesti
- 3 Puuverhous
 4 Tuuletusväli, kiinnityslaudat 25 mm k600
 5 Tuulensuojaeeriste, mineraalivilla esim. Paroc Cortex
 6 Kantava puurunko + lämmöneriste, mineraalivilla esim. Paroc eXtra
 7 Ilman- ja höyrynsulku, saumojen limitys ja teippaus
 8 Rakennuslevy, kartonkipintainen kipsilevy esim. Knauf Palonsuojakipsilevy KPS 15
 9 Pintakäsittely tai -materiaali rak.selostuksen mukaan

PÄIVÄYS: 21.8.2023	PIIRTÄJÄ: PAI	SUUNNITTELIJA: Paula Alanko	MITTAKAAVAT: 1:5	TYÖ NO: OPPARI	
SISÄLTÖ: AURINKOPANEELIASENNUS JULKISIVUUN PUURANKASEINÄ, PUUVERHOUS				PIIR. NO: 011	MUUTOS:



PÄIVÄYS: 25.02.2024	PIIRTÄJÄ: PAI	SUUNNITTELIJA: Paula Alanko	MITTAKAAVAT: 1:5	TYÖ NO: OPPARI	MUUTOS:
SISÄLTÖ: AURINKOPANEELIASENNUS JULKISIVUUN PVP-ELEMENTTISEINÄ			PIIR. NO: 012		

