

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024

Joni Rantanen & Matias Sjöberg

Aurinkopaneelit loiville ja jyrkille katoille

– Ohjeistus suunnittelun tueksi



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2024 | 105 sivua, 28 liitesivua

Joni Rantanen & Matias Sjöberg

Aurinkopaneelit loiville ja jyrkille katoille

– Ohjeistus suunnittelun tueksi

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa ohjeistukset aurinkopaneelien suunnittelun tueksi. Työssä käsiteltiin erikseen loivat ja jyrkät katot, koska niiden välillä on suunnitteluun ja asennukseen liittyviä poikkeuksia ja yksityiskohtia, jotka tulee huomioida. Työn toimeksiantajana toimi Kattoliitto ry.

Opinnäytetyössä käytettiin tutkimusmenetelmänä kirjallisuuskatsausta, joka on mahdollistanut laajan ja monipuolisen tiedon keräämisen aurinkopaneelien suunnittelusta, asennuksesta ja teknisistä ominaisuuksista. Lähteiden valinta ja analyysi on tehty huolellisesti, sillä aihealueen lähteet ovat paikoin ristiriitaisia ja niiden saatavuus on vaihtelevaa.

Opinnäytetyö tarjoaa kattavan yleiskatsauksen aurinkopaneelien suunnittelun keskeisiin kohtiin ja kattojen kuormituksiin. Opinnäytetyön tuloksista voidaan todeta, että aurinkopaneelien asennus sekä loiville että jyrkille katoille on teknisesti toteutettavissa ja erilaiset kattotyypit sekä kuormitusten määrittäminen asettavat omat haasteensa suunnittelulle ja asennuksille. Työ edistää suunnittelijoiden ymmärrystä aurinkovoimaloiden moninaisista haasteista. Opinnäytetyön pohjalta luodut ohjeistukset aurinkopaneelien suunnittelun tueksi luovat hyvät lähtökohdat laadukkaaseen suunnittelun varmistamiseksi. Hyvin suunniteltu aurinkopaneelijärjestelmä on kestävä ja ympäristöystävällinen ratkaisu energiantarpeisiin.

Asiasanat:

aurinkopaneeli, tuulikuorma, lumikuorma, rakentaminen

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

2024 | 105 pages, 28 pages in appendices

Joni Rantanen & Matias Sjöberg

Solar panels for gently sloping and steep roofs

– Guidance for design support

The purpose of the thesis is to produce guidelines to support the design of solar panels. The work discusses gently sloping and steep roofs separately, as there are design and installation exceptions and details between them that need to be considered. The thesis is commissioned by Kattoliitto ry.

The research method used in the thesis was a literature review, which has enabled the collection of extensive and diverse information on the design, installation, and technical characteristics of solar panels. The selection and analysis of sources was carried out carefully, as the sources in the subject area are sometimes contradictory and their availability varies.

The thesis provides a comprehensive overview of the key points of solar panel design and roof loads. From the results of the thesis, it can be stated that the installation of solar panels on both gently sloping and steep roofs is technically feasible, and different types of roofs and determination of loads pose their own challenges for design and installation. The work promotes the designers' understanding of the multiple challenges of solar power stations. The guideline created based on the thesis to support the design of solar panels provides a good starting point for ensuring high-quality design. A well-designed solar panel system is a sustainable and environmentally friendly solution for energy needs.

Keywords:

solar panel, wind load, snow load, construction

Sisältö

1 Johdanto	8
2 Aurinkopaneelit	9
2.1 Yleistä aurinkopaneeleista	9
2.1.1 Aurinkokennotyypit	10
2.1.2 Aurinkopaneelityypit	15
2.2 Suunnittelussa ja asennuksissa ratkaistavia asioita	17
3 Kattorakenteet ja kuormitustekijät	22
3.1 Tuulikuormat	22
3.2 Lumikuormat	35
3.3 Loivat katot	39
3.3.1 Tuulikuormat loiville katoille ja aurinkopaneeleille	40
3.3.2 Lumikuormat loiville katoille ja aurinkopaneeleille	44
3.3.3 Aurinkopaneelien omat painot	50
3.4 Jyrkät katot	50
3.4.1 Tuulikuormat jyrkille katoille ja aurinkopaneeleille	52
3.4.2 Lumikuormat jyrkille katoille ja aurinkopaneeleille	58
3.4.3 Aurinkopaneelien omat painot	61
4 Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu	62
4.1 Esivalmistelu	62
4.1.1 Kattotarkastukset	62
4.1.2 Katon rakenteelliset muutokset	65
4.1.3 Rakennetekniset luvat ja määräykset	66
4.2 Asennuksen suunnittelu	68
4.2.1 Sijainnin valinta	68
4.2.2 Sijoittelu loivilla katoilla	73
4.2.3 Sijoittelu jyrkillä katoilla	76
4.2.4 Kiinnitysjärjestelmät loiville katoille	78
4.2.5 Kiinnitysjärjestelmät jyrkille katoille	81

4.3 Turvallisuusnäkökohdat	85
4.3.1 Paloturvallisuus	86
4.3.2 Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa	88
4.4 Katon huolto ja seuranta	90
4.5 Aurinkopaneelien huolto ja seuranta	91
5 Yhteenveto	94
Lähteet	96

Liitteet

Liite 1. Aurinkopaneelien suunnitteluvaiheen ohjeistus – Loiville katoille

Liite 2. Aurinkopaneelien suunnitteluvaiheen ohjeistus – Jyrkille katoille

Kuvat

Kuva 1. Yksikiteinen aurinkopaneeli	12
Kuva 2. Monikiteinen aurinkopaneeli	13
Kuva 3. Ohutkalvoaurinkokenno	13
Kuva 4. Suositeltu määrittystapa ulkopuolisen paineen kertoimen c_{pe} arvolle	25
Kuva 5. Altistuskerroin $c_e(z)$ kuvaajat, kun $c_o(z) = 1,0$ ja $k_l = 1,0$	26
Kuva 6. Nopeuspainekorkeus z_e	27
Kuva 7. Toispuoleisille maastonkohoumille nopeuspaineen suurennuskerroin γ_D	30
Kuva 8. Kaksipuoleiselle maastolle nopeuspaineen suurennuskerroin γ_D	31
Kuva 9. Kitkakuorman vaikutusala A_{fr}	33
Kuva 10. Pintoihin kohdistuvat paineet	34
Kuva 11. Lumen ominaisarvot maan pinnalla (kN/m^2)	38
Kuva 12. Vyöhykekaavio tasakatoille	41
Kuva 13. Tuulikuorman aiheuttama paine ja vaikutusalue loivalle katolle	43

Kuva 14. Lumikuormien muotokertoimet korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevilla katoilla	46
Kuva 15. Lumikuorman muotokertoimet ulkonemien ja esteiden kohdalla	47
Kuva 16. Lumen kinostuminen paneelikentässä	48
Kuva 17. Kinostuneen lumen kuormitustapaus paneelikentässä	49
Kuva 18. Pulpettikattojen vyöhykekaavio	53
Kuva 19. Harjakattojen vyöhykekaavio	55
Kuva 20. Sahakattojen vyöhykekaavio	57
Kuva 21. Harjakaton muotokertoimet	59
Kuva 22. Pulpettikaton muotokerroin	59
Kuva 23. Sahakaton muotokertoimet	60
Kuva 24. Suuntauskulman vaikutus tuottoon	71
Kuva 25. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015	72
Kuva 26. Esimerkki aurinkopaneelialueen rajauksesta	75
Kuva 27. Aurinkopaneelikentän rivijako loivilla katoilla kulmaan asennettuna	76
Kuva 28. Aurinkopaneelien sijoittelu jyrkillä katoilla	78
Kuva 29. Kiinnitys pitkältä sivulta neljästä pisteestä eli nelipistekiinnitys	81
Kuva 30. Aurinkopaneelien mekaanisen mitoituksen havainnekuva	82
Kuva 31. Nelipistekiinnitys aurinkopaneelien pitkiltä sivuilta	85

Taulukot

Taulukko 1. Erialaisten kennotyyppien ominaisuuksia vuonna 2023	11
Taulukko 2. Maastoluokat sekä maastoparametrit	25
Taulukko 3. Modifioimaton puuskanopeuspaine $qp0(z)$	29
Taulukko 4. Kitkakertoimet seinille, kattopinnoille sekä kaiteille	33
Taulukko 5. Tuulensuojakertoimen C_e suositeltavat arvot eri maastotyyppien perusteella	37
Taulukko 6. Tuulensuojakertoimen korotuskertoimet katon lyhyemmän sivun ollessa vähintään 50 m	37
Taulukko 7. Lumikuorman muotokertoimet	38
Taulukko 8. Tasakaton painekertoimien suositusarvot	41

Taulukko 9. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatoille, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$ tai $\theta = 180^\circ$	54
Taulukko 10. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatoille, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$	54
Taulukko 11. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatoille, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$	56
Taulukko 12. Ulkopuolisen paineen kertoimet harjakatoille, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$	56

1 Johdanto

Nykypäivänä uusiutuvat energianlähteet ovat merkittävä osa energiantuotantoa, joiden avulla voidaan pienentää hiilidioksidipäästöjä sekä kasvihuonekaasujen määrää. Aurinkoenergia on kestävä ja ympäristöystävällinen yksi uusiutuvan energian muoto, jota aurinkopaneelien avulla hyödynnetään vuosi vuodelta enemmän. (Motiva 2024c.) Aurinkopaneelien asentaminen katoille edellyttää kuitenkin huolellista ja ammattitaitoista suunnittelua varmistaakseen optimaalisen energiantuoton.

Tämä opinnäytetyö käsittelee aurinkopaneelien suunnittelua loiville ja jyrkille katoille. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa ohjeistukset katoille asennettavien aurinkopaneelien suunnittelun tueksi. Työn toimeksiantajana toimii Kattoliitto ry, joka on kiinnostunut edistämään aurinkoenergian hyödyntämistä rakennuksissa. Kattoliitto ry on vuosikymmenien ajan tehnyt töitä parempien kattojen puolesta ja luonut yhdessä jäsenistönsä kanssa näkemyksen toimivan katon aikaansaamiseksi. Koska aurinkovoimalat katoilla lisääntyvät kovalla vauhdilla, Kattoliiton tavoitteena on saada suunnittelijat ymmärtämään hankkeiden moninaiset haasteet.

Opinnäytetyössä on hyödynnetty aiempia tutkimuksia ja tietoa, jotka käsittelevät aurinkopaneelien suunnittelua, asennusta ja teknisiä ominaisuuksia. Aihe on erittäin ajankohtainen, koska nykyään erilaisia aurinkopaneeleja sekä aurinkosähköjärjestelmiä asennetaan vuositasolla entistä enemmän. Tutkimuksista ja lähteistä on kuitenkin selvinnyt, että vaikka aiheesta löytyy tietoa, on se osin ristiriitaista ja sen saatavuus on vaihtelevaa.

Opinnäytetyön rakenne etenee niin, että luvussa kaksi käsitellään aurinkopaneelien teknisiä ominaisuuksia. Kolmannessa luvussa tarkastellaan loivien ja jyrkkien kattojen määrittävät tekijät ja kattoihin kohdistuvien kuormitusten laskentaa. Luvussa käsitellään myös aurinkopaneelien vaikutusta kuormitukseen. Neljännessä luvussa käsitellään aurinkopaneelien asennuksen suunnittelun keskeisimmät kohdat, jotka tulee ottaa huomioon. Viimeisessä luvussa esitetään opinnäytetyön yhteenveto, josta tulevat ilmi työn tulokset. Työn lopussa on liitteenä loiville ja jyrkille katoille luodut ohjeistukset.

2 Aurinkopaneelit

Tässä luvussa käsitellään aurinkopaneelien toimintaa, rakennetta ja ominaisuuksia. Näiden lisäksi käsitellään aurinkopaneelien yhteydessä olevia käsitteitä, joilla paneelien eroja voidaan verrata keskenään sekä suunnittelussa ja asennuksissa ratkaistavia asioita.

2.1 Yleistä aurinkopaneeleista

Aurinkopaneelit ovat laitteita, jotka tuottavat aurinkosähköä auringon säteilyenergiaa hyödyntämällä. Aurinkopaneelit toimivat aurinkosähköjärjestelmän pääkomponentteina. Aurinkosähköjärjestelmä on kokonaisuus, jonka pääkomponentteihin sisältyy aurinkopaneelit, aurinkopaneelien kiinnitystelineet ja invertteri. Aurinkopaneelit ovat aurinkokennoista muodostuva kokonaisuus. Aurinkokennot voidaan kytkeä sarjaan kytkennällä tai rinnan kytkennällä. Auringonsäteilyn osuessa aurinkokennoihin elektronit liikkuvat aurinkokennon läpi ja muodostavat sähkövirran. (Motiva 2024a.)

Aurinkopaneelien ominaisuudet vaihtelevat materiaalin, muodon ja tehon suhteen, ja niitä on saatavilla eri tyypeissä. Yksi- ja monikidepaneelit ovat yleisimpiä käytettävistä aurinkopaneelityypeistä kiinteistökäytössä ja näillä on omat sovellusalueet. (Aurinkomaailma 2023.)

Aurinkopaneeleilla voidaan tuottaa sähköä suoraan sähköverkkoon omaan käyttöön ja toissijaisesti myytäväksi sähköverkkoon. Sähköä voidaan tuottaa myös irrallaan sähköverkosta, jolloin järjestelmään tarvitaan akut, jotka varastoivat ja säätelevät energiaa. (Käpylehto 2016, 43.)

Rakennuksen katto on yleensä paras paikka sijoittaa aurinkopaneelit (Motiva 2024a). Katolle asennetut paneelit eivät altistu niin helposti erilaisille varjostuksille kuin muualle asennetut paneelit ja näin ollen tuottaa paremmin sähköä (Perälä 2017, 90–91). Aurinkopaneelit voidaan myös asentaa

rakennuksen seinään tai maahan (Motiva 2024a). Katolle asennetuista paneeleista saadaan suurin mahdollinen taloudellinen vuosituotto, kun paneelien kallistuskulma on 45–50° ja ne ovat suunnattuina etelään päin. Käytännön kohteissa paneelien asennus tapahtuu helpoimman asennusratkaisun mukaan. Esimerkiksi harjakatolla paneelit asennetaan yleensä katon lappeen suuntaisiksi. (Käpylehto 2016, 120; Kortetmäki ym. 2023, 51.) Loivilla katoilla voidaan paneelit kohdistaa helposti etelään päin hyödyntämällä asennustelineitä (Perälä 2017, 90–91).

Suosio aurinkopaneelien asennukselle kasvaa jatkuvasti Suomessa. Vuoteen 2021 verrattuna aurinkosähkön pientuottajien määrä kasvoi yli 60 % vuonna 2022. Kysyntä on jatkunut vahvana myös vuonna 2023. Suomessa aurinkosähkön tuotto on erinomaisella tasolla aurinkosähkötekniikan nopean kehityksen ansiosta. Paneelien nopeasta kehityksestä huolimatta ei niiden perusrakenne ole muuttunut merkittävästi. Yksityishenkilöitä kuin myös eri organisaatioita kiinnostaa tällä hetkellä laajasti aurinkosähkön hyödyntäminen energianlähteenä. (Oomi 2023; Svarc 2023; Tuomi 2023.)

2.1.1 Aurinkokennotyypit

Aurinkopaneelit koostuvat aurinkokennoista. Aurinkokennot keräävät auringosta tulevasta säteilyenergiasta sähköenergiaa. (Perälä 2017, 30.)

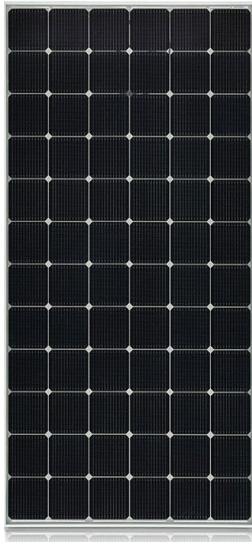
Aurinkosähköteknologiat voidaan jakaa ensimmäisen, toisen ja kolmannen sukupolven aurinkokennoihin (Motiva 2024a). Kennotyypeillä on erilaisia ominaisuuksia, joiden takia erilaiset kennot soveltuvat erilaisiin ratkaisuihin. Ominaisuuksia kuvataan taulukossa 1. (Kortetmäki ym. 2023, 40.)

Taulukko 1. Erilaisten kennotyyppien ominaisuuksia vuonna 2023 (Kortetmäki ym. 2023, 41).

Ominaisuudet	Kiteinen pii			Ohutkalvo		3. sukupolvi
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Kennon hyötysuhde, 2023 (%)	23,3 %	26,8 %	14 %	23,6 %	22,3 %	26 % (Perovskite)
Paneelin hyötysuhde, 2023 (%)	20,4 %	24,7 %	9,8 %	20,3 %	19,5 %	17,9 % (Perovskite)
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,4...-0,5	-0,3...-0,5	-0,1...-0,3	-0,25...-0,35	-0,25...-0,35	...
Mekaaninen rakenne	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	yli 30	0,5-3
Hinta	€€	€€€-	€€€	€€€	€€€	€

Ensimmäisen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat yksi- ja monikiteiset piikennot. Yksi- ja monikiteisten piikennojen teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdeiden pn-liitoksen luomaan sähkökenttään. Pn-liitoksessa liitetään p-tyyppinen ja n-tyyppinen puolijohde yhteen fyysikaalisesti, jolloin virta pääsee kulkeutumaan liitoksessa yhteen suuntaan. P-tyypin ja n-tyypin puolijohdeiden varaukset muodostavat sähkökentän pn-liitoksen liitoskohtaan. (Motiva 2024a.)

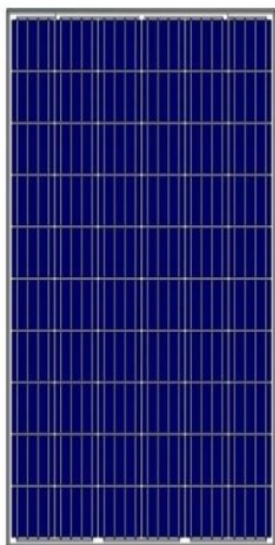
Yksikidepaneeli koostuu pyöreistä yksikiteisistä piikiekoista, joiden kulmista leikataan palat pois, jotta aktiivista pinta-alaa saadaan suuremmaksi (kuva 1). Yksikidepaneelissa hyötysuhde on korkeampi kuin monikidepaneelissa, koska sen puolijohdeiden kiderakenne on yhtenäinen. (Käpylehto 2016, 57.)



Kuva 1. Yksikiteinen aurinkopaneeli (Lane 2023).

Monikidepaneeli koostuu useasta pienemmästä kiteestä (kuva 2).

Monikidepaneelin rakenne on muilta osin samanlainen kuin yksikiteisen paneelin. Monikidepaneelin heikompi hyötysuhde johtuu kidevirheestä. Kidevirheet aiheuttavat rekombinaatiota ja sen seurauksena menetetään enemmän sähkövirtaa. Rekombinaatio eli varausten liike muodostuu, kun samanmerkkiset varaukset hylkivät toisiaan ja erimerkkiset varaukset vetävät toisiaan puoleensa. Monikidepaneelin heikompa hyötysuhdetta voidaan paikata yksikidepaneeliin nähden paneelien määrällä, koska ne ovat hieman edullisemmän hintaisia. (Tieteen termipankki 2014; Perälä 2017, 44.)



Kuva 2. Monikiteinen aurinkopaneeli (Lane 2023).

Toisen sukupolven aurinkokennoihin kuuluvat ohutkalvoaurinkokennot (kuva 3). Ensimmäisen sukupolven aurinkokennojen tavoin toisen sukupolven aurinkokennojen teknologia perustuu valosähköiseen ilmiöön ja puolijohdeiden pn-liitoksen luomaan sähkökenttään. (Motiva 2024a.)



Kuva 3. Ohutkalvoaurinkokenno (Lane 2023).

Ohutkalvokennot valmistetaan amorfisesta tai mikrokiteisestä piistä, CIGS-yhdisteistä ja CdTe-yhdisteistä. Kolme yleisintä ohutkalvotekniikkaa ovat CIGS, CdTe ja amorfinen pii. (Kortetmäki ym. 2023, 42.) Amorfista piitä käytetään aurinkokennoihin ja ohutkalvotransistoreihin nestekidenäytöissä (Ralos 2023). Kiteisten piipaneelien valmistamiseen verrattuna amorfisesta piistä valmistettuun ohutkalvopaneeliin käytetään huomattavasti vähemmän piitä (Kortetmäki ym. 2023, 42). Amorfinen piisolu lukeutuu yhdeksi ympäristöystävällisimmäksi vaihtoehdoksi eri aurinkosähkötekniikoista, mutta sillä on heikko hyötysuhde muihin tekniikoihin verrattuna (Ralos 2023).

Kupari-indium-gallium-seleniidi-aurinkokennot (CIGS, Cu(In,Ga)S tai CIS) ovat ohutkalvoisia aurinkokennoja, joita käytetään muuttamaan auringonvalo sähköenergiaksi (Ralos 2023). Kennon kerrokset pystytään toteuttamaan niin ohuina, että sitä voidaan hyödyntää taivutettavissa aurinkopaneeleissa (Kortetmäki ym. 2023, 42).

Kadmiumtelluridi- eli CdTe-kennoja käytetään yleisimmin aurinkoenergiasovelluksissa (Kortetmäki ym. 2023, 42). CdTe-kennot on suunniteltu absorboimaan ja muuttamaan auringonvalo sähköenergiaksi. CdTe-kennot ovat edullisempia kuin perinteiset piikennot. CdTe-kennoilla on pienin hiilijalanjälki ja takaisinmaksuaika mutta niissä käytetty kadmium on ympäristöongelma, jota yritetään vähentää pakollisella kierrätyksellä kennojen käyttöänsä päätyttyä. (Ralos 2023.)

Ohutkalvokennot sopivat lämpimämpiin olosuhteisiin ja niillä saadaan kerättyä auringon hajasäteilyä hieman tehokkaammin verrattaen yksi- ja monikidekennoihin (Motiva 2024a). Ohutkalvot ovat myös kevyitä ja joustavia, minkä ansiosta niiden työstettävyys paranee (Ralos 2023).

Vuonna 2023 kolmannen sukupolven aurinkokennomateriaaleina tunnistetaan Perovskiittipohjaiset kennot, väriaineherkistetyt kennot (DSSC/DSC), orgaaniset kennot (OPV), kupari-sinkki-tina-sulfidi-kennot (CZTS/CZTSe/CZTSSe) sekä kanttipistepohjaiset kennot (QDSC) (Kortetmäki ym. 2023, 43). Kolmannen sukupolven aurinkokennot ovat vielä kehitysasteella. Kolmannen sukupolven

aurinkokennojen teknologia perustuu kemiallisiin reaktioihin. (Powera 2022.) Kolmannen sukupolven aurinkokennoilla pyritään korkeaan muunnostehokkuuteen ja alhaisiin tuotantokustannuksiin (Shah ym. 2023).

2.1.2 Aurinkopaneelityypit

Markkinoilta saatavat uudet aurinkopaneelityypit käyttävät edelleen suurimmaksi osaksi ensimmäisen sukupolven piikennoteknologiaa. Vaikka uudet aurinkopaneelit ovat suurelta osin ensimmäisen sukupolven piikennoteknologiaa, niiden kehitys on edennyt nopeasti. Aurinkopaneelin hyötysuhteen, ympäristöystävällisyyden ja kestävyuden parantamiseksi eri valmistajat kilpailevat toistensa kanssa uusilla paneelirakenteisiin vaikuttavilla ominaisuuksilla. Aurinkopaneelivaihtoehtojen yhteydessä on usein käsitteitä, joilla kuvataan eri paneelien ominaisuuksia ja näiden avulla voidaan verrata niiden välisiä eroja. (Kortetmäki ym. 2023, 45.)

Käsite anti-PID tarkoittaa, että paneeleihin on tehty rakenteellisia parannuksia tai muita toimenpiteitä, joiden ansiosta kosteissa olosuhteissa vuotovirta ei pääse kulkemaan paneelien kehysten kautta telineisiin ja maahan (Kortetmäki ym. 2023, 45).

Anti-LID tarkoittaa, että paneelien tuotantovaiheessa tehdyillä ratkaisulla on pyritty estämään LID-ongelmien eli valorappeuman synty kennon kohdatessa valoaltistuksen ensimmäisten päivien aikana. Ongelmia syntyy rekombinaatioaktiivisten boorihappovirheiden muodostumisesta piissä sen kohdatessa valoaltistuksen, tämä voi johtaa hyötysuhteen heikkenemiseen. (Kortetmäki ym. 2023, 45.)

Bifacial-käsite tarkoittaa, että paneelien piikennon rakenteen taustalevy on läpinäkyvä, jolloin taustan kautta heijastuva säteily osuu myös kennoihin. Bifacial-paneelijärjestelmien suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös paneelin taustamateriaalin heijasteominaisuudet, jotka vaikuttavat siihen, kuinka suuri osa valonsäteistä heijastuu materiaalin pinnasta takaisin. Heijastavuuden

luotettava mittaaminen on monimutkaista erilaisten siihen vaikuttavien tekijöiden, kuten vuodenaikojen, takia. (Kortetmäki ym. 2023, 46.)

Half-cut tarkoittaa, että paneelissa olevat kennot on halkaistu ja näin ollen niiden määrä on kaksinkertaistettu. Paneelin kennot sijoitetaan kahteen rinnakkaiseen sarjakytkentään, joista toinen paneelin yläosaan ja toinen paneelin alaosaan. Kennojen halkaisulla voidaan parantaa paneelin hyötysuhdetta. (Kortetmäki ym. 2023, 46–47.)

HJT-käsite tarkoittaa, että kiteinen piikennoteknologia yhdistetään amorfisesta piistä tehtyyn ohutkalvoteknologiaan. Teknologian avulla saadaan parannettua rekombinaatiohäviöitä ja suorituskykyä perinteisiin paneeleihin verrattuna varsinkin lämpimissä ilmastoissa. (Kortetmäki ym. 2023, 47.)

Käsite lead free eli lyijytön tarkoittaa, että yleisimmin paneelien nauhapinnoitteessa ja juotospastassa käytetty lyijy on korvattu esimerkiksi ECA-liimalla (Kortetmäki ym. 2023, 47).

P-tyyppi tarkoittaa, että paneelin kennot on seostettu boorilla, jossa on yksi elektroni vähemmän kuin piissä. Suurin osa markkinoilla olevista tuotteista ovat P-tyypin kennoja. (Kortetmäki ym. 2023, 47.)

N-tyyppi tarkoittaa, että paneelien kennot on seostettu fosforilla, jossa on yksi elektroni enemmän kuin piissä. N-tyypin paneeleissa rakenne on tehty päinvastaisessa järjestyksessä kuin P-tyypin paneeleissa. N-tyypin kennosta tulee immuuni LID:lle, kun boorin sijasta käytetään fosforiseosta. Piin metalliset epäpuhtaudet eivät myöskään rasita N-tyypin kennoja niin voimakkaasti, kuin P-tyypin kennoja. P-tyypin paneeleja on kuitenkin laajemmin saatavilla ja niissä on alhaisemmat kustannukset kuin N-tyypin paneeleilla, siksi suurin osa markkinoilla olevista tuotteista ovat P-tyypin kennoja. (Kortetmäki ym. 2023, 47.)

TOPCON-käsite tarkoittaa, että aurinkokennoja rikastetaan boorilla ja sillä saadaan hyötysuhdetta parannettua. TOPCON on korvaamassa paneelituotannon nykyisestä PERC-linjasta. PERC-teknologialla on saatu

parannettua hieman paneelien hyötysuhdetta ja se on kehitetty 1980-luvulla yksi- ja monikiteisille piikennoille. (Kortetmäki ym. 2023, 47.)

Hybridipaneeli käsite tarkoittaa, että markkinoilta löytyy myös erilaisia hybridipaneeleita, joissa yhdistyy aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotanto. Hybridipaneelien ideana on, että kennoja jäähdytetään lämmönvaihtimen avulla, jolloin sähköntuotannon hyötysuhde paranee. Lämpöenergia voidaan myös ottaa talteen ja hyödyntää edelleen. Hybridipaneelien käyttö Suomessa on hyvin vähäistä. (Kortetmäki ym. 2023, 48.)

2.2 Suunnittelussa ja asennuksissa ratkaistavia asioita

Katolle sijoitettavien aurinkopaneelien suunnitteluun ja asentukseen liittyy niissä ratkaistavia asioita sekä haasteita. Merkittävimpinä haasteina voidaan mainita rakennetekniset haasteet, sääolosuhteiden haasteet, sähkötekniset haasteet ja paloturvallisuus. (Wills ym. 2014, 2.) Aurinkopaneelien suunnittelun ja asennuksien haasteita sekä ongelmia ovat puutteellinen ohjeistus sekä tiedottomuus siitä, miten järjestelmät vaikuttavat katon ja yläpohjan rakenteisiin. Katon rakenteen huomioimisen lisäksi myös katon vedenpitävyys ja kuormituksen kestävyys tulee selvittää ennen aurinkopaneelien asennusta. Aurinkopaneelien sijoittaminen ja kiinnitys katolle tulee aina suunnitella oman kattotyypin ja -materiaalin mukaan. (Kerabit 2023a.)

Aurinkopaneelien asennus voidaan teknisesti toteuttaa kaikille kattotyypeille ja asennusjärjestelmiä löytyy jokaiseen kattotyyppiin (Kerabit 2024).

Aurinkopaneelien asennusta suunniteltaessa kohteesta saatavat rakennetekniset lähtötiedot määrittelevät paneelien sallitut asennusalueet, sallitun lisäkuormituksen suuruuden sekä sade- ja sulamisvesien ohjauksen. Aurinkopaneelien huoltoon ja turvallisuuteen liittyy reunaehtoja, jotka määrittävät paneelien turvallisuutta ja huoltotarvetta koskevia asioita. (Tampereen Tilapalvelut 2023, 1.)

Aurinkopaneelien asennuksesta aiheutuvat lisäkuormat katolle tulee huomioida. Aurinkopaneelien asennus katolle aiheuttaa järjestelmästä ja sen kiinnityksestä

riippuen eri määrän lisäkuormaa kattorakenteelle. Paneelien asennus katolle lisää myös tuuli ja lumikuorman määrää. Esimerkiksi ennen 70-lukua vesikatot on suunniteltu noin 1 kN/m² lumikuormalle, joka on puolet nykyisestä mitoituslumikuormasta. (Tampereen Tilapalvelut 2023, 1.) Talvella aurinkopaneelit keräävät ympärilleen enemmän lunta ja toimivat osittain lumiesteenä, joten ne lisäävät myös lumikuorman tuomaa kuormitusta lumikinosten kasvaessa (Motiva 2024b).

Koko asennusjärjestelmän ja kattorakenteen tulee kestää lisääntyvät kuormitukset. Aurinkopaneelien asennuksesta johtuvat kuormat voidaan joutua näissä tapauksissa ohjaamaan suoraan kantaville rakenteille, mikä karsii asennusmahdollisuuksia pois. Vanhemmissa rakennuksissa ei myöskään ole todennäköisesti huomioitu mahdollisia lisäkuormia, joten rakenteita saatetaan joutua vahvistamaan ennen paneelien asennusta. Vanhemmissa rakennuksissa kuormituslaskelmat voivat olla vajavaisia tai muuten riittämättömiä, jotta voitaisiin varmistua rakenteiden kestävydestä aurinkopaneelien asennuksen jälkeen. Kuormituslaskelmia ei myöskään aina ole helposti saatavilla. (Motiva 2024b; Tampereen Tilapalvelut 2023, 1; Ympäristöministeriö 2019a, 10.)

Tuulikuorma aiheuttaa haasteita aurinkopaneelien asennukseen. Etenkin loiville katoille asennettavat aurinkopaneelit ottavat runsaasti tuulikuormaa vastaan, mikä aiheuttaa paneeleihin nostetta. Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa on tuulikuormat laskettava tarkasti, jotta paneelit pystyvät ottamaan tuulesta tulevan kuorman vastaan ongelmitta. Vaihtoehtoisesti voidaan pyrkiä sijoittamaan paneelit katolla niin, ettei tuulen aiheuttama kuorma vaikuttaisi niin voimakkaana. Tuulikuormat tulee silti aina laskea, vaikka asennuskohteessa tuulikuorman vaikutukset olisivatkin hyvän sijoittelun ansiosta pienemmät. (Murtomäki 2021.)

Asennetut paneelit ja niiden rajoittamat ripustuskuormat voivat tuoda haasteita kohteen uutta käyttömahdollisuutta suunniteltaessa. Aurinkopaneelien asennus saneerauskohteeseen pienentää katon ripustuskuormia, joita kattorakenteelle on suunniteltu. Asennettujen aurinkopaneelien alueella ei ilman

rakennesuunnittelijan hyväksyntää voidaan lisätä ripustuskuormia. (Tampereen Tilapalvelut 2023, 2.)

Aurinkopaneelien asennus katoille, joissa kuormat pitää johtaa kantavalle rakenteelle, joudutaan tekemään yleensä läpivientejä vesikattoon.

Aurinkosähköjärjestelmän osien oikeaoppinen liittäminen vesitiiviisti vedeneristyksen kanssa on katon toiminnan kannalta tärkeää. Kondenssiveden syntymisen estämiseksi tulee katon läpi tulevat teräsrakenteet lämmöneristää. (Kattoliitto ry 2022, 36.) Kiinnikkeiden ja katon välissä käytettävien tiivisteiden mahdollisten haurastumisten myötä vuotoriskit kasvavat vuosien päästä asennuksesta, mikä voi aiheuttaa ongelmia tulevaisuudessa (Motiva 2024b). Aurinkopaneelien asennuksen ja vedeneristyksen yhteistoiminta vaatii kokonaisvaltaista ymmärrystä ja hallintaa materiaaleista, suunnittelusta, asentamisesta ja huollosta (Sangobuild 2023).

Aurinkopaneelien asennuksessa tulisi pyrkiä asentamaan paneelit yhtenäisesti samaan kenttään, jotta koko järjestelmä toimisi samanlaisissa olosuhteissa. Tällöin järjestelmän käyttö ja ohjaus on helpompaa. Yhtenäinen asennus voi olla haasteellista, jos katolla on esimerkiksi paljon läpivientejä, kuten ilmanvaihdon poistoputkia ja savuhormeja. (Motiva 2024b.) Asennuksessa on myös huomioitava aurinkopaneelisiin tulevat varjostukset sekä paneelien suuntaukset. Pienikin varjostus voi vaikuttaa jo merkittävästi vuosituotantoon. Paneelien kallistuskulmaa sekä suuntauksia muuttamalla pyritään minimoimaan varjostuksien vaikutuksia. (Lehto ym. 2017, 18–19.) Varjostuksien vaikutuksia pystytään kuitenkin pienentämään käyttämällä virran optimoijia, jolloin muiden aurinkopaneelien tuotto ei vähene, vaikka osa paneeleista varjostuisi. Optimoijia käytettäessä jokaisesta paneelista tai paneeliparista tulee oma tuotantoyksikkönsä. (Solnet 2020.)

Aurinkosähköjärjestelmän, vesikaton sekä vesikaton laitteiston huolto katolla tulee olla turvallisesti toteutettu ja siksi aurinkosähköjärjestelmän laitteisto on pystyttävä sijoittamaan katolle niin, että turvallinen huolto pystytään toteuttamaan. Laitteiston sijoittaminen turvalliseen ja huoltoystävälliseen paikkaan voi olla haasteellista tilanpuutteen takia. (Tampereen Tilapalvelut

2023, 2.) Katolle asennettavien aurinkopaneelien minimietäisyydet mahdollisesti katolla sijaitseviin muihin esteisiin tulee huomioida. (Finnwind 2020a.) Ahtaille katoille asennettavien aurinkopaneelien haasteeksi voi tulla tilan puute, jolloin aurinkopaneelien sijoittaminen turvalliseen ja huoltoystävälliseen paikkaan voi koitua ongelmalliseksi.

Loiville katoille asennettavien aurinkopaneelien asennukset eivät saa estää sadevesien kulkeutumista kaivoille tai ränneille, koska sadevesien estyminen saattaa vahingoittaa kattorakennetta. Loiville katoille asennettavat aurinkopaneelit voidaan asentaa kelluvana, jolloin paneelien asennusjärjestelmä tuetaan kattoon vastapainojen avulla. Vastapainoista muodostuvien painumien estämiseksi vedeneristyksen alusrakenteen tulee olla riittävän jäykkä ja näin ollen estää painumien syntymistä, jolloin sadevesien ohjaus pysyy oikeanlaisena (Kattoliitto ry 2022, 25; Kingspan 2022).

Aurinkopaneelien tukipinnat eivät saa tukeutua vesikatteen päälle ilman vesikatetta suojaavaa materiaalikerrosta esimerkiksi EPDM-kumimattokaistaa. (Tampereen Tilapalvelut 2023, 3–4.)

Erityisesti talvella sääolosuhteiden vaihtelevuus voi aiheuttaa sen, että katolle jäävät sadevedet saattavat jäätyessään aiheuttaa suuria vahinkoja vesikatteeseen (Zipp 2013). Kaapelien suojauksissa sekä johdinreiteissä on ajateltava niiden huollettavuutta sekä talvella lumenpoistoja, jotta kaapelit eivät vahingoittuisi (Lehto ym. 2017, 108). Kaapeloinnissa tulee huomioida myös roskien kerääntyminen, joka voi aiheutua kaapelien huolimattomasta asennuksesta. Kertyneet roskat ovat myös mahdollinen tulipaloriski. Kaapelit eivät saa olla kiinni katon pinnassa vaan ne pitää olla sijoitettuna aurinkovoimalan telinerakenteisiin. (Kortetmäki ym. 2023, 119.)

Niin kuin kaikkiin sähköjärjestelmiin, myös aurinkosähköjärjestelmiin liittyy paloturvallisuusriskejä. Suunnittelussa ja asennuksessa tulee kiinnittää huomiota sähköturvallisuuteen, jotta vältytään mahdollisilta tulipaloon johtavilta virheiltä. Sähköturvallisuuden laiminlyönti suunnittelu- ja asennusvaiheessa voi johtaa tulipaloja aiheuttavien tekijöiden syntyyn. Aurinkosähköjärjestelmästä lähtöisin olevat tulipalot ovat kuitenkin harvinaisia. (Motiva 2024a.)

Aurinkopaneelien asennustyön suunnitteluun tuo haasteita korkeilla ja jyrkillä katoilla työskentely, joissa asennuksia joudutaan välillä tekemään. Korkeilla ja jyrkillä katoilla kasvavat tapaturmariskit, jotka on otettava huomioon asennuksen suunnittelussa. (Motiva 2024b.) Etenkin vanhempien pientalojen katoilla työskentelyn ongelmana voi olla katon puutteellinen varustelu, mikä vaikeuttaa aurinkopaneelien asennusta. Katoilta saattaa puuttua esimerkiksi asialliset nousutiet ja kulkusillat, joilla työskentely olisi helpompaa. Itse kattoa ei voi käyttää työtasona, jolloin varustelun ollessa puutteellista on käytettävä erilaisia nostureita. Myös nostureiden käyttö voi koitua ongelmaksi haastavien maasto-olosuhteiden takia. (RT 103076, 2019.)

3 Kattorakenteet ja kuormitustekijät

Tässä luvussa käsitellään katoille kohdistuvien kuormien laskentaa sekä loivien ja jyrkkien kattojen määrittävät tekijät. Rakenteisiin ja rakenneosiin kohdistuvien tuuli- ja lumikuormien lisäksi käsitellään aurinkopaneeliasennuksien tuomaa vaikutusta kuormien laskentaan.

Katolle asennettavien aurinkopaneelien kuormitukset tulee kokonaisuudessaan huomioida kantavuustarkastelussa. Kantavuustarkastelussa otetaan huomioon aurinkopaneelien ja niiden asennustelineiden tuomat omat painot, tuuli- ja lumikuormat eurokoodeja ja Suomen kansallisia liitteitä soveltaen. (Kortetmäki ym. 2023; Lastunen 2021; Tampereen Tilapalvelut 2023, 1.)

3.1 Tuulikuormat

Eurokoodin standardissa SFS-EN 1991-1-4 esitetään tuulikuormat rakennuksille sekä maa- ja vesirakennuskohteille. Tuulikuormat luokitellaan kiinteiksi muuttuviksi kuormiksi, ellei toisin mainita. Tuulikuormat aiheuttavat painetta rakenteiden ja rakennuksien pintoihin. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 30.)

Tuulikuorma voidaan määrittää joko voimakerroinmenetelmällä tai painekerroinmenetelmällä. Tässä opinnäytetyössä tuulikuormien laskenta on esitetty painekerroinmenetelmällä. Painekerroinmenetelmällä voidaan määrittää tuulikuorma koko rakennuksen lisäksi sen eri osille. (RIL 201-1-2017, 123.)

Rakennukseen kohdistuvan tuulikuorman määrittämisen myötä tiedetään, kuinka suuri tuulikuorma rakenteisiin vaikuttaa. Katolle asennettavat aurinkopaneelit tulee suunnitella niin, että ne kestävät niihin kohdistuvat tuulikuormat koko niiden elinkaaren ajan. Tämä ei koske pelkästään paneeleita vaan koko aurinkosähköjärjestelmää ja sen osia sekä kattoa. (Blackmore 2014.) Tämä edellyttää eurokoodin standardin SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisten liitteiden soveltamista, sillä vielä ei ole luotu standardeja aurinkopaneelisiin kohdistuvien tuulikuormien mitoituksen tueksi. (Kortetmäki

ym. 2023, 108; Roedel & Upfill-Brown 2018, 3; SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 18).

Tuulikuormaan vaikuttaa olennaisesti maastoluokka eli alue, johon rakennus rakennetaan. Maaston muodot vaikuttavat tuulen nopeuteen sekä tuulen suuntaan. Rakennuksen sijaitessa tuulenpuoleisella rinteellä useimmiten kasvattaa tuulen nopeutta, kun taas tuulenvastaisella rinteellä nopeus hidastuu. Mäen päällä tuulen nopeudet ovat suurimmillaan. Myös alueen kasvillisuus vaikuttaa tuulen nopeuteen hidastamalla sitä. Asuinalueelle istutetut puut ja pensaat suojaavat rakennusta tuulelta ympäri vuoden. Rakennuksen sijoituspaikalla ja massoittelulla pystytään merkittävästi vaikuttamaan tuulen virtausten käyttäytymiseen. (Tahkokorpi 2016, 45, 47, 49.)

Rakenteiden ja rakenneosien tuulikuormat määritellään siten, että huomioidaan ulkopuoliset ja sisäpuoliset tuulenpaineet. Tuulen vaikutukset huomioidaan siten, että tarkastellaan erikseen koko rakennukseen osuvaa kokonaisvoimaa sekä rakennuksen eri osiin kohdistuvia painerasituksia, jolloin käytetään painekertoimia. Tuulenpaineista laskettavia painekuormia käytetään, kun mitoitetaan rakennuksen rakenteen osia. Painekertoimia käyttämällä rakenneosien tuulenpaineita voidaan hyödyntää myös kokonaisvoiman laskennassa. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 42.)

Eurokoodin standardi SFS-EN 1991-1-4 määrittää kaavat rakenteen ulkopintoihin vaikuttavalle tuulen paineelle sekä sisäpintoihin vaikuttavalla tuulen paineelle. Tuulennopeuden perusarvo v_b määritetään tuulennopeuden 10 minuutin keskiarvona 10 metrin korkeudella maasta. Tuulennopeuden perusarvo määritetään eurokoodin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0}, \quad (1)$$

jossa

c_{dir} on suuntakerroin; käytetään arvoa 1,0

c_{season} on vuodenaikakerroin, jonka suositusarvo on 1,0

$v_{b,0}$ on tuulennopeuden modifioimaton perusarvo. Suomessa käytetään arvoa 21 m/s, joka pätee koko maassa meri- ja tunturialueet mukaan lukien (RIL 201-1-2017, 129).

Rakenteen ulkopintoihin vaikuttava tuulenpaine w_e (kN/m²) määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$w_e = q_p(z_e)c_{pe}, \quad (2)$$

jossa

$q_p(z_e)$ on puuskanopeuspaine

c_{pe} on ulkoisen paineen painekerroin

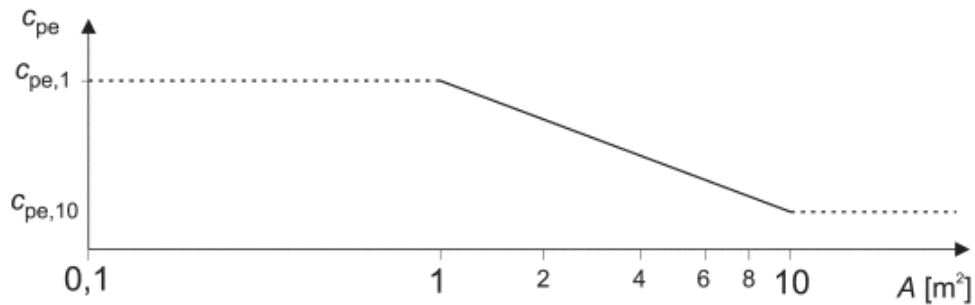
z_e on ulkoisen paineen nopeuspainekorkeus

Nopeuspainekorkeus z_e määritetään kuvasta 6, jossa nopeuspainekorkeuteen vaikuttavat rakennuksen korkeus h sekä leveys b . Rakennuksen pituudella ei ole vaikutusta nopeuspainekorkeuteen. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 60.)

Rakennuksia ja sen osiin vaikuttavat ulkopuolisen paineen kertoimet c_{pe} (kuva 4) määräytyy kuormitettavan alan koosta A , jolla tarkoitetaan rakenteen pinta-alaa, joka tuottaa määritettävässä poikkileikkauksessa vaikuttavan tuulikuorman. Ulkopuolisen paineen kertoimet ovat taulukoitu eri kattotyypeille kuormitetun alan A arvoille 1 m² ja 10 m². Ulkopuolisen paineen kertoimet ovat rakenneyksityiskohdan painekerroin $c_{pe,1}$ sekä rakennekokonaisuuden painekerroin $c_{pe,10}$. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 56.)

Rakenneyksityiskohdan painekertoimet sekä rakennekokonaisuuden painekertoimet löytyvät kattotyyppien vyöhykekaavioista luvuista 3.3.1 ja 3.4.1.

Kuvassa 4 esitetty kuvaaja perustuu SFS-EN 1991-1-4 mukaiseen logaritmiseen interpolaatioon. Rakennuksille, joiden kuormitettu pinta-ala A on välillä 1 m² ja 10 m², niin ulkopuolisen paineen kerroin $c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 56.)



Kuva 4. Suositeltu määrittystapa ulkopuolisen paineen kertoimen c_{pe} arvolle (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 56).

Puuskanopeuspaineen ominaisarvo $q_p(z)$ korkeudella z määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$q_p(z) = c_e(z)q_b, \quad (3)$$

jossa

$c_e(z)$ on altistuskerroin

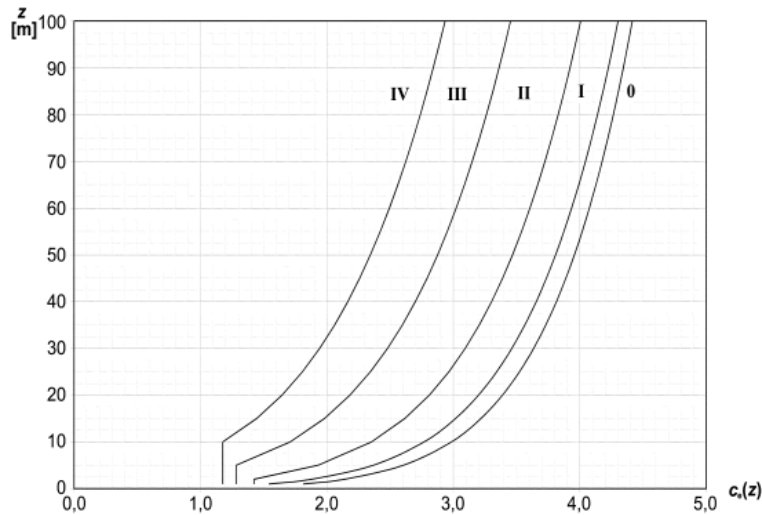
q_b on nopeuspaineen perusarvo.

Maastoluokka tulee määrittää, kun selvitetään altistuskerrointa $c_e(z)$.

Maastoluokka saadaan taulukosta 2. Altistuskerroin $c_e(z)$ saadaan maastoluokan mukaan selville kuvasta 5. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 40.)

Taulukko 2. Maastoluokat sekä maastoparametrit (muokattu lähteestä SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 36).

Maastoluokka
0 Avomeri tai merelle avoin rannikko
I Järvet tai tasanko, jolla on enintään vähäistä kasvillisuutta eikä tuuliesteitä
II Alue, jolla on matalaa heinää tai siihen verrattavaa kasvillisuutta ja erillisiä esteitä (puita, rakennuksia), joiden etäisyys toisistaan on vähintään 20 kertaa esteen korkeus
III Alueet, joilla on säännöllinen kasvipeite tai rakennuksia tai erillisiä tuuliesteitä, joiden keskinäinen etäisyys on enintään 20 kertaa esteen korkeus (kuten kylät, esikaupunkialueet, pysyvä metsä)
IV Alueet, joiden pinta-alasta vähintään 15 % on rakennusten peitossa ja niiden keskimääräinen korkeus ylittää 15 m



Kuva 5. Altistuserroin $c_e(z)$ kuvaajat, kun $c_o(z) = 1,0$ ja $k_l = 1,0$ (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 40).

Kerroin $c_o(z)$ on pinnanmuotokerroin. Pinnanmuotokertoimelle käytetään arvoa 1,0, ellei standardin SFS-EN 1991-1-4 kohdassa 4.3.3 toisin mainita. Kerroin k_l on pyörteisyyserroin, jonka suositusarvo on 1,0. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 34).

Nopeuspaineen perusarvo q_b määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

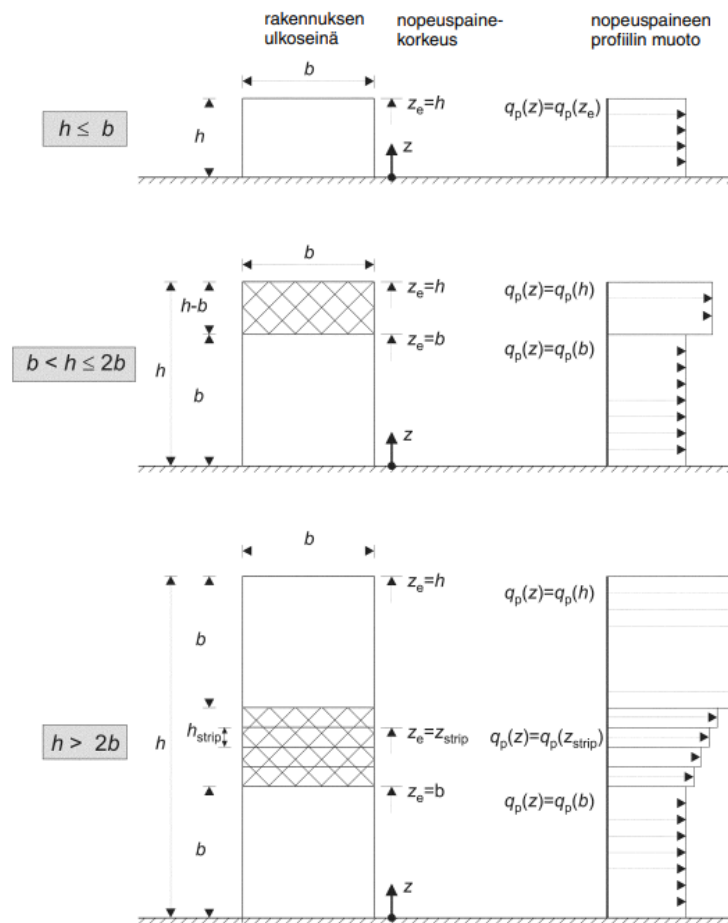
$$q_p = \frac{1}{2} \rho v_b^2, \quad (4)$$

jossa

ρ on ilman tiheyden arvo, jonka suositusarvo on $1,25 \text{ kg/m}^3$

v_b on tuulennopeuden perusarvo.

Ilman tiheys ρ riippuu alueen korkeusasemasta sekä ilmanpaineesta ja lämpötilasta, jota alueella on odotettavissa myrskyolosuhteissa (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 40).



Kuva 6. Nopeuspaine korkeus z_e (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 60).

Standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan rakenteen sisäpintoihin vaikuttava tuulenpaine w_i (kN/m²) määritetään kaavasta

$$w_i = q_p(z_i) c_{pi} \quad (5)$$

jossa

$q_p(z_i)$ on puuskanopeuspaine

c_{pi} on sisäpuolisen paineen painekerroin

z_i on sisäpuolisen paineen nopeuspaine korkeus ($=z_e$) (kuva 6).

Rakenteiden sisäpintoihin vaikuttavan tuulenpaineen laskennassa tarvittava sisäpuolisen paineen painekerroin c_{pi} , jonka arvo saadaan rakennuksen vaipan

aukkojen koosta sekä niiden jakautumasta. Yleisimmissä tapauksissa $c_{pi} = 0,75c_{pe}$, kun rakennuksen määräävällä sivulla (seinä tai katto) sijaitsevien aukkojen pinta-ala on kaksinkertainen muiden sivujen aukkojen yhteenlaskettuun pinta-alaan verraten? Jos määräävän sivun aukkojen pinta-ala on vähintään kolminkertainen muiden sivujen aukkojen yhteenlaskettuun pinta-alaan verraten, niin $c_{pi} = 0,90c_{pe}$. Sisäpuolisen paineen kertoimen määrittämiseen on myös joissain harvinaisemmissa tapauksissa muitakin määrittäysohjeita, jotka löytyvät eurokoodin standardista SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisesta liitteestä. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 86, 88.)

Rakennuksen lähellä oleva harjanne tai mäki aiheuttaa tuulen nopeuspaineeseen lisäyksen. Nopeuspaineen lisäystä ei huomioida maastoluokittelussa, jonka takia harjanteella tai mäellä olevaan rakenteeseen on tuulen nopeuspaineeseen lisättävä rakennuspaikasta tai kaltevuudesta riippuva kerroin. Lisäys on tehtävä silloin, kun maaston kaltevuus Φ ylittää arvon 0,05. (RIL 201-1-2017, 133.)

Maaston kaltevuus Φ määritetään RIL 201-1-2017 mukaan kaavasta

$$\Phi = \frac{H}{L_u}, \quad (6)$$

jossa

H on maastonmuodon tehollinen korkeus (kuvat 7 ja 8)

L_u on tuulenpuoleisen mäen pituus tuulen suunnassa (kuvat 7 ja 8).

Pinnanmuotojen vaikutuksesta modifioitunut nopeuspaine $q_p(z)$ määritetään RIL 201-1-2017 mukaan kaavasta

$$q_p(z) = \gamma_D q_{p0}(z), \quad (7)$$

jossa

$q_{p0}(z)$ on modifioimaton puuskanopeuspaine (taulukko 3)

γ_D on suurennuskerroin.

Taulukko 3. Modifioimaton puuskanopeuspaine $qp_0(z)$ (RIL 201-1-2017, 137).

z (m)	Maastoluokka				
	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	0,83	0,72	0,55	0,40
20	1,24	0,88	0,77	0,60	0,45
25	1,29	0,92	0,82	0,65	0,50
30	1,33	0,95	0,85	0,68	0,54
35	1,37	0,98	0,88	0,72	0,57
40	1,40	1,01	0,91	0,74	0,60

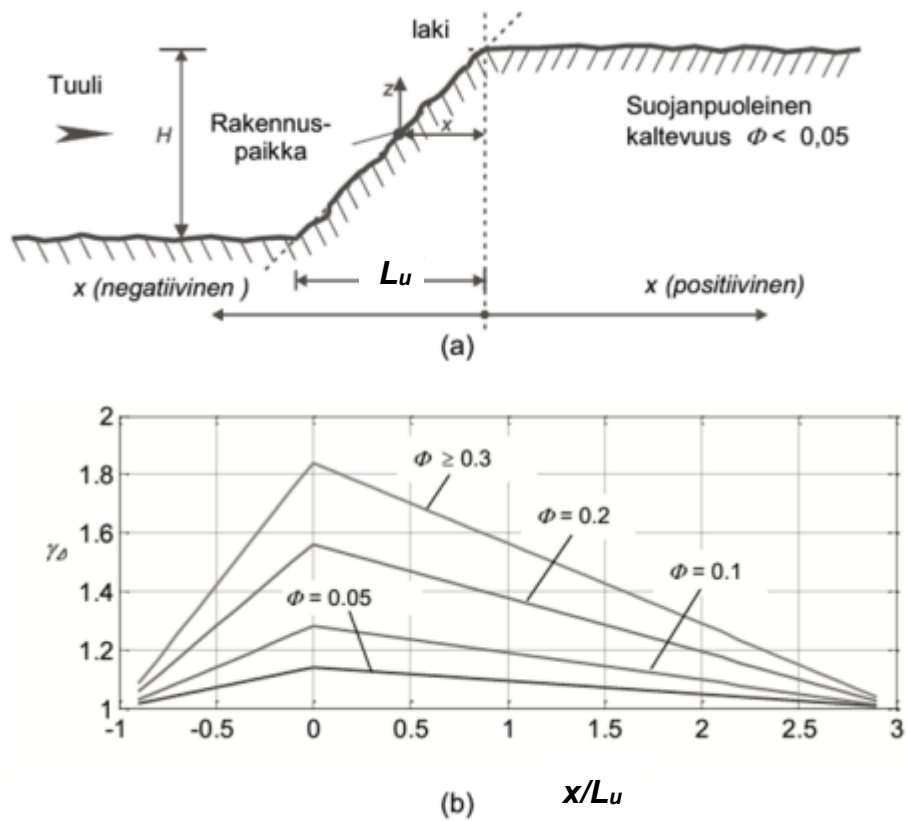
Suurennuskerroin γ_D määritetään RIL 201-1-2017 mukaan toispuoleisen maastokohdan alueella kaavasta

$$\gamma_D = 1 + 2,8 \Phi \left(1 + \frac{x}{L_u} \right), \quad \text{kun } x < 0$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 \Phi \left(1 - 0,33 \frac{x}{L_u} \right), \quad \text{kun } x \geq 0 \quad (8)$$

jossa

x rakennuspaikan vaakasuorassa mitattu matka harjasta (kuvat 7 ja 8).



Kuva 7. Toispuoleisille maastonkohoumille nopeuspaineen suurennuskerroin γ_D (RIL 201-1-2017, 134).

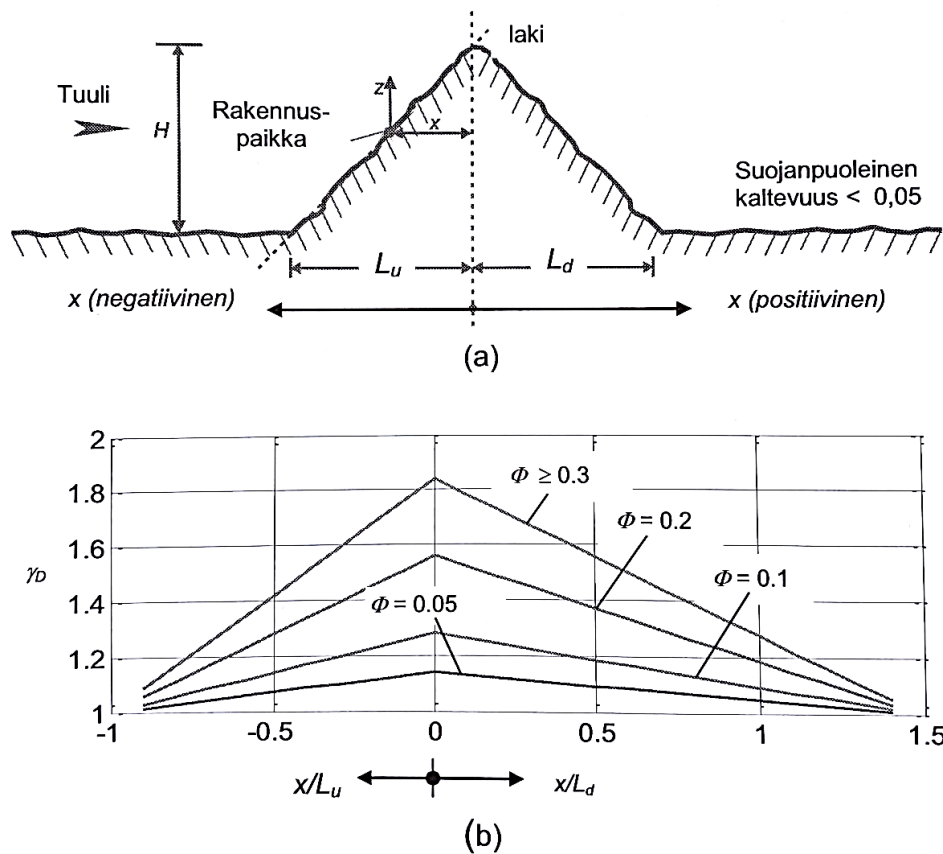
Kun alueella on kaksipuoleinen maastonkohouma niin suurennuskerroin γ_D määritetään RIL 201-1-2017 mukaan kaavasta

$$\gamma_D = 1 + 2,8 \Phi \left(1 + \frac{x}{L_u} \right), \text{ kun } x < 0$$

$$\gamma_D = 1 + 2,8 \Phi \left(1 - 0,47 \frac{x}{L_d} \right), \text{ kun } x \geq 0 \quad (9)$$

jossa

L_d on tuulenpuoleisen mäen pituus tuulen suunnassa (kuva 8)



Kuva 8. Kaksipuoleiselle maastolle nopeuspaineen suurennuskerroin γ_D (RIL 201-1-2017, 135).

Pintoihin vaikuttava ulkopuolinen kuorma $F_{w,e}$ määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$F_{w,e} = c_s c_d \sum_{\text{pinnat}} w_e A_{ref}, \quad (10)$$

jossa

$c_s c_d$ on rakennekerroin

w_e on kaavan (2) mukainen, yksittäiseen pintaan vaikuttava ulkopuolinen paine

A_{ref} yksittäisen pinnan tuulenpaineen vaikutusala, joka lasketaan pinnan leveys b kerrottuna pinnan korkeudella h tuulen suunnassa.

Rakennekertoimena $c_s c_d$ voidaan käyttää arvoa 1,0 (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 48), kun kyseessä on rakennus, jonka

- korkeus on alle 15 m
- vesikaton ja ulkoseinän rakenneosien ominaistajuus ylittää 5 Hz
- rungossa on kantavia seiniä, joiden korkeus on alle 100 m ja samalla pienempi kuin 4 kertaa rakennuksen tuulensuuntainen mitta.

Pintoihin vaikuttava sisäpuolinen kuorma $F_{w,i}$ määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$F_{w,i} = \sum_{pinnat} w_i A_{ref}, \quad (11)$$

jossa

w_i on kaavan (5) mukainen yksittäiseen pintaan vaikuttava sisäpuolinen paine.

Tuulen kitkasta syntyvän ulkopintojen suuntainen kitkakuorma F_{fr} määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta

$$F_{fr} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr}, \quad (12)$$

jossa

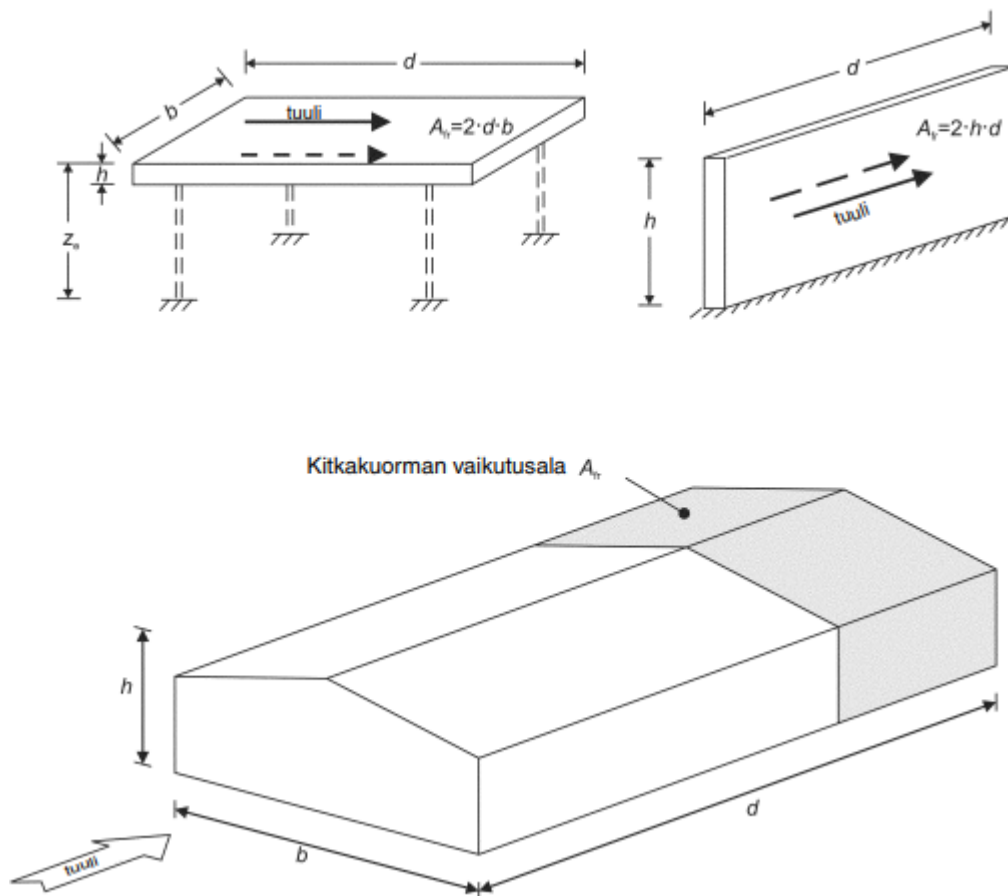
c_{fr} on kitkakerroin

A_{fr} on kitkakuorman vaikutusala.

Kitkakuormat vaikuttavat niille ulkopintojen osille, jotka ovat tuulen suuntaisia ja joiden etureuna on tuulenpuoleisesta räystäästä tai tuulenpuoleisista nurkista etäisyydellä, joka on pienempi arvoista $2 \cdot b$ ja $4 \cdot h$. Kitkakuorman vaikutusala A_{fr} ja kattopintojen kitkakerroin c_{fr} esitetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan taulukosta 4 ja kuvasta 9. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 110.)

Taulukko 4. Kitkakertoimet seinille, kattopinnoille sekä kaiteille (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 110).

Pinta	Kitkakerroin c_{fr}
Sileä (eli teräs, sileä betoni)	0,01
Karhea (eli karhea betoni, bitumihuopa)	0,02
hyvin karhea (eli aalto-, ripa- tai poimuprofilointi)	0,04



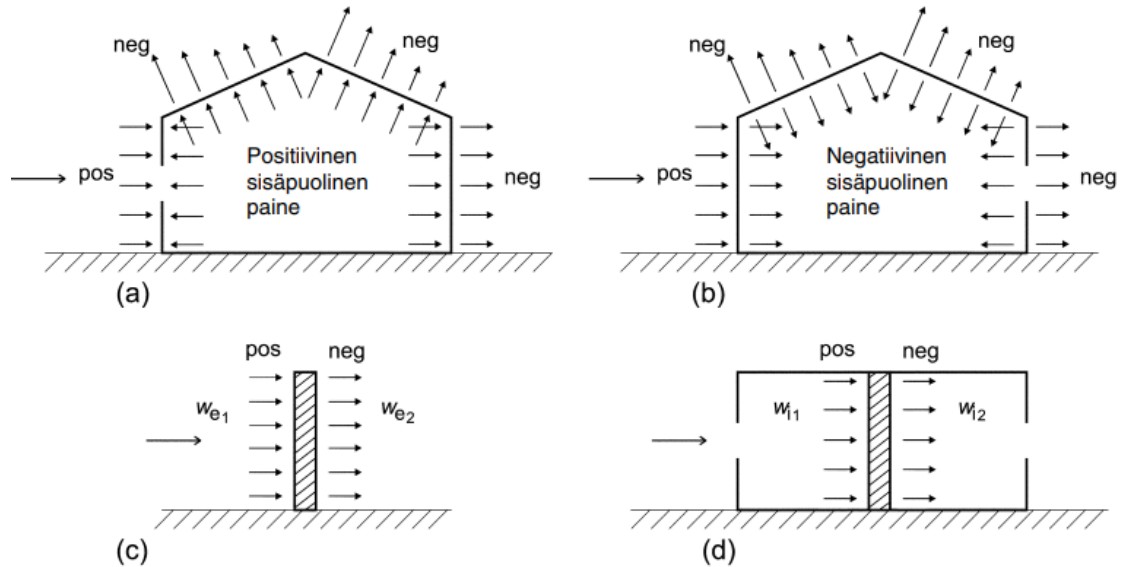
Kuva 9. Kitkakuorman vaikutusala A_{fr} (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 112).

Yksittäisille rakenneosille (seinät ja vesikatot) tuulikuorma saadaan ulkopuolisen ja sisäpuolisen kuormaresultantin vektorisummana, joka määritetään RIL 201-1-2017 mukaan kaavasta

$$F_w = F_{w,e} + F_{w,i} \quad (13)$$

jossa

voimien suunnat määritetään kuvan 10 mukaisesti, jossa pintaan kohti tulevat paineet ovat positiivisia ja pinnasta poispäin suuntautuvat paineet negatiivisia.



Kuva 10. Pintoihin kohdistuvat paineet (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 44).

Kokonaistuulivoima määritetään pintapaineiden avulla. Kitkavoimat huomioidaan tarvittaessa. Kokonaistuulivoima määritetään RIL 201-1-2017 mukaan kaavasta

$$F_w = \gamma_e F_{w,e} + F_{w,i} + F_{fr}, \quad (14)$$

jossa

γ_e on kerroin, joka ottaa huomioon sen, että rakennuksen etu- ja takapuolella esiintyvien paine- ja imuvoimien huippuarvot eivät esiinny samaan aikaan.

RIL 201-1-2017 mukaan kerroin γ_e määritetään kaavasta

$$\gamma_e = 1,0, \text{ kun } \frac{h}{d} \geq 5 \quad \gamma_e = 0,85, \text{ kun } \frac{h}{d} \leq 1 \quad (15)$$

jossa

h on rakennuksen korkeus

d on rakennuksen pituusmitta tuulen suunnassa

3.2 Lumikuormat

Kaikki kattorakenteet mitoitetaan rakentamismääräysten mukaisille lumikuormille rakentamismääräyskokoelman mukaisilla varmuuskertoimilla (Ympäristö 2024).

Katolle asennettavat aurinkopaneelit tulee suunnitella niin, että ne kestävät niihin kohdistuvat lumikuormat koko niiden elinkaaren ajan. Tämä ei koske pelkästään paneeleita vaan koko aurinkosähköjärjestelmää ja sen osia sekä kattoa. Tämä edellyttää eurokoodin standardin SFS-EN 1991-1-3 sekä Suomen kansallisten liitteiden soveltamista, sillä vielä ei ole luotu standardeja aurinkopaneelisiin kohdistuvien lumikuormien mitoituksen tueksi. (Finnwind 2018; Kortetmäki ym. 2023, 108).

Eurokoodin standardissa SFS-EN 1991-1-3 esitetään lumikuormat rakennuksille sekä maa- ja vesirakennuskohteille. Lumikuormat luokitellaan muuttuviksi, kiinteiksi kuormiksi, joten standardissa EN 1991-1-3 käsitellyt lumikuormat luokitellaan staattisiksi kuormiksi. Standardin EN 1990:2002 kohdan 4.1.1(2) mukaisesti ja standardin EN 1991-1-3 kohtien 1.6.3 ja 1.6.10 määrittelyillä ehdoilla voidaan poikkeuksellisia lumikuormia ja lumen poikkeuksellisen kinostumisen aiheuttamia lumikuormia pitää onnettomuuskuormina maantieteellisestä sijainnista riippuen. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 8, 20.) Suomen kansallisessa liitteessä määritetään, että poikkeuksellisten lumikuormien käsittely ei koske Suomen olosuhteita (RIL 201-1-2017, 97).

Lumi voi kinostua katoilla moniin eri muotoihin ja tämä tulee ottaa mitoitettaessa huomioon. Lumen kinostumista aiheuttavia tekijöitä voivat olla katon pinnan karheus, katon alapuolinen lämpö määrä, viereinen rakennus, kattoa ympäröivä

maasto, paikallinen ilmasto sekä katon muoto ja sen lämpöominaisuudet. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 26.)

Lumikuormia laskettaessa otetaan huomioon sekä kinostumattoman että kinostuneen lumen aiheuttamat kuormituskaaviot. Katon kinostumattoman lumikuorman kuormituskaavio kuvaa tasaisesti jakautunutta lumikuormaa, joka on katon muodosta riippuva ja jonka jakautumiseen ilmaston eri vaikutukset eivät ole vielä vaikuttaneet. Katon kinostuneen lumikuorman kuormituskaavio kuvaa puolestaan lumikuorman jakautumista sen jälkeen, kun lumi on liikkunut katolla esimerkiksi tuulen vaikutuksesta. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 16, 28.) Kinostumattoman ja kinostuneen lumen kuormituskaaviot esitetään luvussa 3.3.2.

Kattojen lumikuormat normaalisti vallitsevissa tai tilapäisissä mitoitustilanteissa määritetään eurokoodin SFS-EN 1991-1-3 mukaan seuraavasta kaavasta

$$s = \mu_i C_e C_t S_k, \quad (16)$$

jossa

μ_i on lumikuorman muotokerroin

s_k on maanpinnan lumikuorman muotokerroin

C_e on tuulensuojaisuuskerroin

C_t on lämpökerroin.

Katon lumikuorman määrittämiseen tarvittavaa tuulensuojakerrointa valittaessa huomioidaan rakennuskohteen ympäristön kehitys. Tuulensuojakerroin määritellään kohteen maastotyyppin mukaan. Suositeltavat arvot esitetään taulukossa 5. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 30.)

Taulukko 5. Tuulensuojakertoimen C_e suositeltavat arvot eri maastotyyppien perusteella (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 30).

Maastotyyppi	C_e
Tuulinen ^a	0,8
Normaali ^b	1,0
Suojainen ^c	1,2

^a *Tuulinen maasto*: laakea, esteetön, joka puolelle avoin alue, jolloin maasto, korkeat rakennuskohteet tai puut eivät suojaa tai suojaavat vain vähän.
^b *Normaali maasto*: alue, jolla rakennuskohteeseen vaikuttava tuuli ei maaston, muiden rakennuskohteiden tai puiden takia huomattavasti poista lunta.
^c *Suojainen maasto*: alue, jolla tarkasteltava rakennuskohde on huomattavasti alempana kuin ympäröivä maasto tai se on korkeiden puiden tai itseään korkeampien rakennuskohteiden ympäröimä.

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan katon lyhyemmän sivumitan ollessa vähintään 50 m tulee tuulensuojakerrointa korottaa taulukon 6 kertoimella (Ympäristöministeriö 2019b, 16).

Taulukko 6. Tuulensuojakertoimen korotuskertoimet katon lyhyemmän sivun ollessa vähintään 50 m (Ympäristöministeriö 2019b, 16).

Lyhyt sivu (m)	Pitkän sivun suhde lyhyeen sivuun	
	1	2
50	1,0	1,1
75	1,1	1,2
100	1,2	1,25

Lämpökertoimen C_t arvo on tavallisesti 1,0. Lumikuormaa määritettäessä voidaan lämpökertoimen arvoa pienentää tarkemman selvityksen perusteella, tällöin kattorakenteen lämmönläpäisevyys on suuri. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 30.)

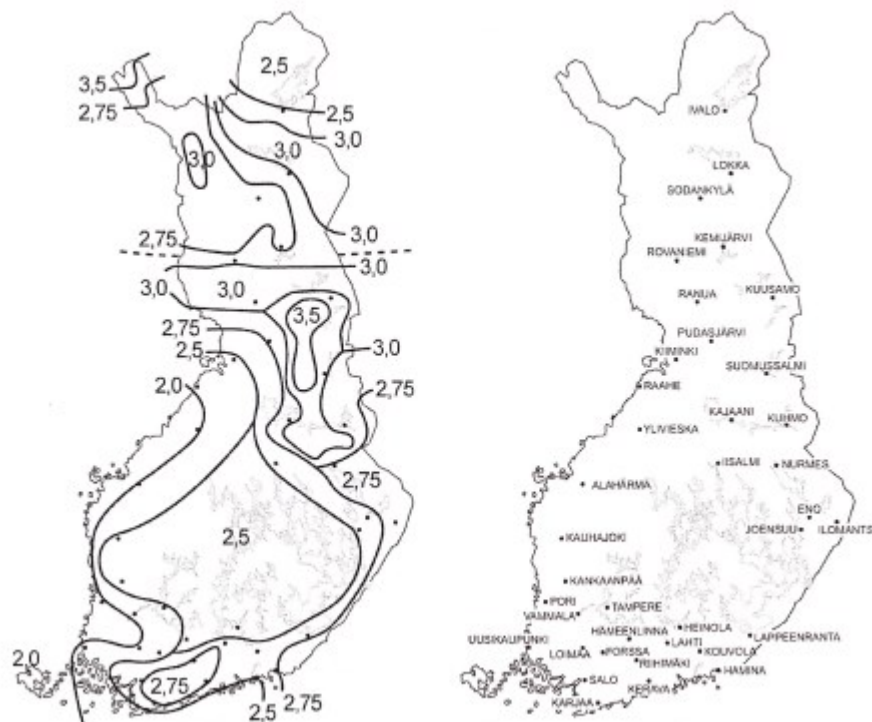
Lumikuorman muotokertoimet esitetään kinostumattoman ja kinostuneen lumen kuormituskaavioihin taulukossa 7. Muotokertoimet ovat yleisimmille kattotyypeille, ja muotokertoimiin tulee kiinnittää erityishuomiota, kun katon ulkomuoto poikkeaa suoraviivaisen katon lumikuormasta. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 30.)

Taulukko 7. Lumikuorman muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 32).

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	--

Maassa olevan lumikuorman s_k ominaisarvot esitetään kuvassa 11.

Rakennuspaikan sijaitessa alueella, jossa vakioitua arvoa ei ole, maanpinnan lumikuorman ominaisarvo interpoloidaan suoraviivaisesti lähimmistä käyristä (Ympäristöministeriö 2019b, 15).



Kuva 11. Lumen ominaisarvot maan pinnalla (kN/m²) (Ympäristöministeriö 2019b, 15).

Lumikuorman ominaisarvo perustuu 2 %:n vuosittaiseen ylittämistodennäköisyyteen, jossa toistumisaika ja ylittymisaika ovat keskimäärin 50 vuotta. (RIL 201-1-2017, 98).

3.3 Loivat katot

Katot, joiden kaltevuus on 1:10–1:80, ovat loivia kattoja. Tätä loivempia kattoja ei suositella tehtäväksi. Loivista katoista käytetään myös nimitystä tasakatot. Loiville katoille kohdistuvan vedenpaineen takia vesikate ja sen yksityiskohdat ovat kovilla, ja niiden tulee kestää vedenpaineen aiheuttamat rasitukset. Tällöin loivien kattojen materiaaliksi valikoituvat yleensä erilaiset kermit, kuten modifioidut bitumikermit (käytännössä kumibitumikermit), jotka täyttävät tuoteluokkavaatimukset sekä PVC-muovi. Modifioinnilla tarkoitetaan lisäaineiden käyttöä, joilla saadaan bitumikermeihin haluttuja ominaisuuksia esimerkiksi parannettua bitumikermin kestävyyttä. (Kattoliitto ry 2022, 12, 29.)

Loivien kattojen elinkaari vaihtelee eri kattojen osalta merkittävästi. Kattojen elinkaari vaihtelee kahdenkymmenen vuoden ja jopa viidenkymmenen vuoden välillä. Keskimääräinen käyttöikä loivilla katoilla riippuu asennusolosuhteista, käytettyjen tuotteiden ominaisuuksista, asennustyön onnistumisesta, katon käyttöolosuhteista sekä asianmukaisista huoltotoimenpiteistä. Katon asianmukaisten huoltotoimenpiteiden suorittaminen pidentää sen käyttöikää. (Kattoliitto ry 2022, 48.)

Loivien kattojen yläpohja voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yläpohjan rakenne muodostuu kantavasta rakenteesta, ilmansulusta, höyrynsulusta, lämmöneristyksestä, vedeneristyksestä sekä tuuletuksesta. Höyrynsulku toimii yleensä myös ilmansulkuna, jonka vuoksi on varmistettava höyrynsulun pysyminen ehjänä ja läpivientien tiiveys on varmistettava. Loivien kattojen yläpohjat ovat yleensä heikosti tuulettuvia. Heikosti tuulettuvissa yläpohjissa vedeneristys on kantavien rakenteiden päällä olevien lämmöneristeiden kanssa kiinni tai lähes kiinni toisissaan. Heikosti tuulettuvien yläpohjien tuuletusratkaisuuksina toimivat lämmöneristeiden uritus ja räystäillä sijaitsevat

tuuletusraot sekä yleensä vähintään harjalle sijoitetut alipainetuulettimet. (Kattoliitto ry 2022, 13, 16–17.)

Loivien kattojen kantavat rakenteet jaetaan ristikkorakenteisiin ja loiviin rakenteisiin. Loivissa rakenteissa kantavana rakenteena toimii yleensä ontelolaatta, TT-laatta tai profiilipelti. Ristikkorakenne voi olla puuristikko tai teräsristikko. Loivien kattojen tarvittavat kallistukset tehdään kantaviin rakenteisiin tai myöhemmässä vaiheessa lämmöneristeiden avulla. (Kattoliitto ry 2022, 12, 18; Kattoliitto ry 2024, 45.)

Vedeneristyksen alusrakenteessa ei saa olla jyrkkäreunaisia hammastuksia eikä suuria rakoja, ja alusrakenteen tulee olla tasainen. Alusrakenteena käytetään puualustoja, betonialustoja ja lämmöneristyslevyalustoja.

Vedeneristyksen alusrakenteen jäykkyysominaisuuksien pitää olla riittävät, jotta painumia ei pääse syntymään. Painumat estävät sadevesien oikeaoppista poistumista katolta ja vahingoittavat vedeneristystä. (Kattoliitto ry 2022, 25–26.)

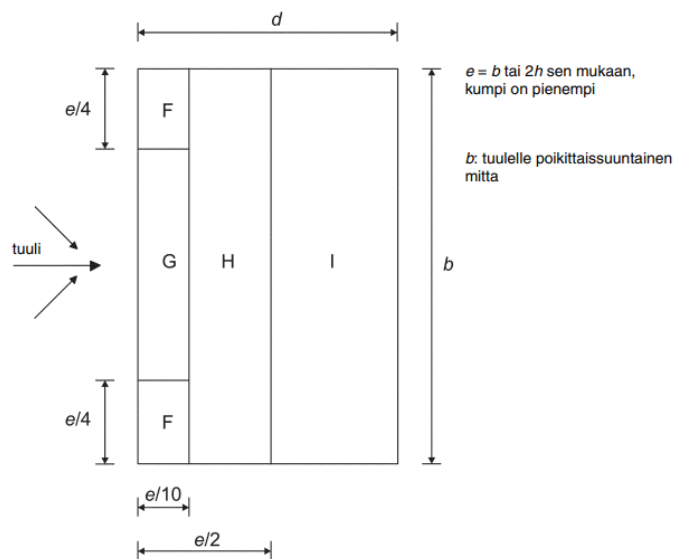
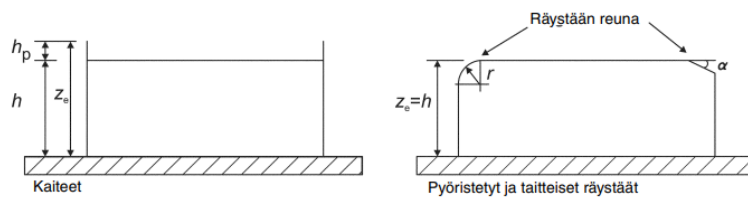
3.3.1 Tuulikuormat loiville katoille ja aurinkopaneeleille

Eurokoodin standardissa SFS-EN 1991-1-4 puhutaan loivista katoista tasakattoina. Standardi määrittelee tasakatoiksi sellaiset vesikatot, joiden kaltevuus on $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$. Standardin määrittelemät kaltevuudet tasakatoille vastaa aiemmin todettua kaltevuutta loivien kattojen määrittämiseen. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 64; Kattoliitto ry 2022, 12.)

Tuulikuormat lasketaan loiville katoille kohdan 3.1 mukaan. Loivien kattojen tuulikuorman laskentaan käytetään kuitenkin omaa tasakattoja koskevaa vyöhykekaaviota ja vyöhykkeen painekertoimet määritetään tasakaton taulukosta. Arvo h kuvaa nopeuspainekorkeutta tasakatoille ja katoille, joilla on pyöristetyt tai taitteiset räystäät. Nopeuspainekorkeutena käytetään arvoa $h + h_p$, kun tasakatot on varustettu kaiteilla. Tasakaton vyöhykkeet ja vyöhykkeen painekertoimet määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan taulukosta 8 ja kuvasta 12. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 64.)

Taulukko 8. Tasakaton painekertoimien suositusarvot (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 68).

Kattotyyppi		Vyöhyke							
		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	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-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
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-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



Kuva 12. Vyöhykekaavio tasakatoille (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 66).

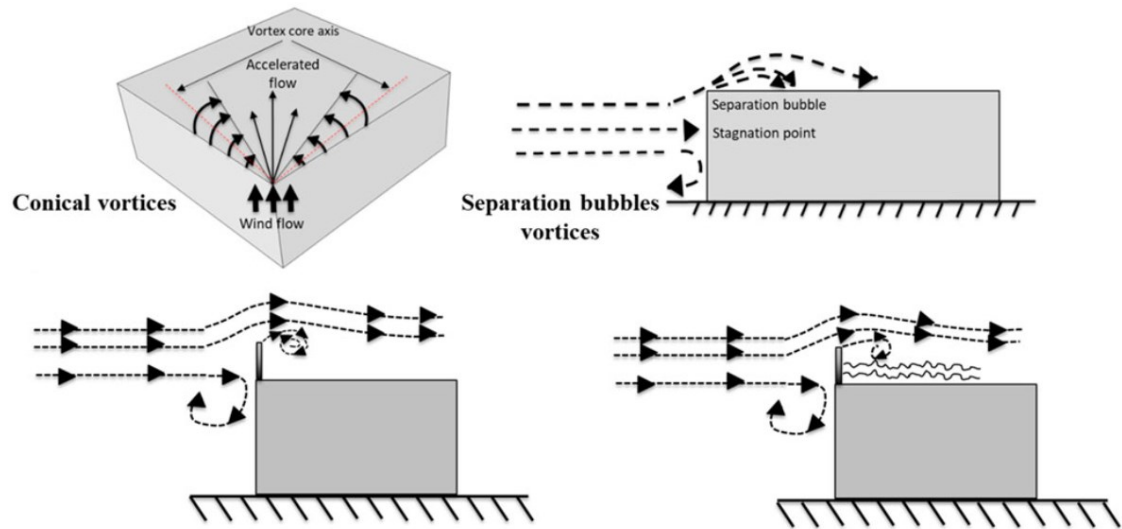
Pitkillä tasakatoilla kitka otetaan huomioon kokonaistuulikuormaa laskettaessa (RIL 201-1-2011, 147). Katon pintaan vaikuttava kitka voidaan jättää huomioimatta, kun tuulen suuntaisten pintojen kokonaisala on enintään neljä kertaa kaikkien tuulta vastaan kohtisuorien ulkopintojen kokonaisala. Kitkavoimat otetaan huomioon muissa tapauksissa. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 46.)

Tuulesta aiheutuva kitkakuorma tasakaton pinnan suuntaisesti määritetään standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaan kaavasta (12).

Kitkakuormat vaikuttavat niille ulkopintojen osille, jotka ovat tuulen suuntaisia ja joiden etureuna on tuulenpuoleisesta räystäästä tai tuulenpuoleisista nurkista etäisyydellä, joka on pienempi arvoista $2 \cdot b$ ja $4 \cdot h$. Kitkakuorman vaikutusala A_{fr} ja kattopintojen kitkakerroin c_{fr} esitetään SFS-EN 1991-1-4 mukaan taulukosta 4 ja kuvasta 9. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 110.)

Loiville katoille asennettavien aurinkopaneelien suunnittelua ohjaavat vahvasti tuulesta aiheutuvat kuormat (Zhang & Stathopoulos 2014). Loiville katoille asennetut aurinkopaneelit asennetaan noin 15° :n kulmaan, jotta tuulikuormien vaikutus paneeleihin ei olisi niin voimakas sekä vuosituoton näkökulmasta asennuskulma on hyvä (Cygnel 2020).

Kuvassa 13 on esitetty loivalla katolla tuulikuorman aiheuttamia paineita. Esteen tullessa tuulen eteen se muuttaa tuulen voimia, minkä takia tuuleen kohdistuvat paineet muuttuvat. Loivalla katolla suurimmat paineet muodostuvat katon kulmiin ja reunoihin. Voimakkaimmat paineet vaikuttavat erityisesti vallitsevaan ilmansuuntaan, jossa katolle kohdistuva alipaine voi olla suurempi kuin katon keskialueilla. (Coldham 2017.)



Kuva 13. Tuulikuorman aiheuttama paine ja vaikutusalue loivalle katolle (Al-Chalabi & Elshaer 2023).

Loiville katoille asennettujen aurinkosähköjärjestelmien tuulen aerodynamiikka on monimutkaisempi kuin rakennuksen aerodynamiikka. Tuulesta aiheutuva katon reunoille muodostuva virtaus, kentän turbulenssi ja ilmakehän rajakerroksen turbulenssi muodostavat katolle pyörteitä, joille aurinkosähköjärjestelmät ovat alttiina. On osoitettu, että tuulikuormien suunnittelussa rakennuksen kulmapyörteet ja aurinkosähköjärjestelmän geometriset yksityiskohdat, kuten riviväli ja paneelien korkeus ovat merkittäviä tekijöitä. (Kopp ym. 2012.)

Tuulitunnelitestauksella havainnollistetaan tuulen vaikutusta aurinkosähköjärjestelmään (Wills ym. 2014, 57). Tuulitunnelitestaus on valvotussa ympäristössä tehty mallinnus ja mittaus ilmavirran vaikutuksesta erillisiin rakenteisiin (Nashat 2023). Katoille kohdistuvien tuulikuormien vaikutus aurinkosähköjärjestelmään voidaan määrittellä tuulitunnelitestauksella ja perinteisellä laskennalla. (Wills ym. 2014, 57.)

On olemassa useita tutkimuksia, jotka keskittyvät aurinkopaneelien tuulikuormitukseen loivilla katoilla (ks. esim. Kopp ym. 2012, Cao ym. 2013 tai Alrawashdeh 2022). Näissä tutkimuksissa on hyödynnetty tuulitunnelimenetelmää. Tutkimukset ovat kuitenkin ristiriitaisia eikä vielä ole

saatu tutkimuksista kokeellista tietoa parantamaan rakentamismääräyksiä. (Cao ym. 2013, 215.) Viime vuosien aikana tutkimukset tuulen vaikutuksista loivien kattojen aurinkopaneeleihin on kuitenkin parantunut ja tutkimusta tehdään koko ajan lisää. Kuitenkin edelleen tutkimuksista saadut tulokset ovat osoittaneet merkittäviä eroja tuloksissa ja herättävät kysymyksiä näihin tuloksiin perustuvista säännöksistä. (Alrawashdeh 2022.) Tuulikuormia käsittelevä standardi SFS-EN 1991-1-4 ei myöskään anna selkeää ohjetta katoille asennettaville aurinkopaneeleille vaan tuulikuormien määrittämisohteita rakennesuunnittelua varten rakenteille ja rakenteen osille (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 18). Tästä johtuen aurinkopaneelien suunnittelussa loiville katoille tulee tuulikuormat määrittää mahdollisimman tarkkaan standardia SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisia liitteitä soveltaen (Kortetmäki ym. 2023, 108; Lastunen 2021).

3.3.2 Lumikuormat loiville katoille ja aurinkopaneeleille

Lumikuormat lasketaan loiville katoille kohdan 3.2 mukaan. Lumen kinostuminen tulee ottaa loivilla katoilla huomioon. Ylemmältä katolta liukuvan lumen kinostuminen, ja tuulen kinostama lumi pitää ottaa huomioon monitasoisilla katoilla ja rakennuksissa, jotka ovat korkeampaa rakennuskohdetta vasten. (Puuinfo 2020.) Muotokertoimet korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevilla katoilla esitetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavoista 17-19 ja kuvasta 14 (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 38).

$$\mu_1 = 0,8 \text{ (jos alempi katto on tasakatto)} \quad \mu_2 = \mu_s + \mu_w, \quad (17)$$

jossa

μ_2 on ylemmältä katolta liukuvan lumen aiheuttaman lumikuorman muotokerroin

kun $\alpha \leq 15^\circ$, $\mu_s = 0$,

kun $\alpha \geq 15^\circ$, μ_s määritetään lisäkuormasta, jonka suuruus on 50 % suurimmasta kokonaislumikuormasta, joka vaikuttaa viereisellä ylemmän katon lappeella

μ_w on tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin.

Tuulesta johtuva lumikuorman muotokerroin määritetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavasta

$$\mu_w = (b_1 + b_2)/2h \leq \gamma h/s_k, \quad (18)$$

jossa

γ on lumen tilavuuspaino, jolle voidaan käyttää arvoa 2 kN/m^3

b_1 ja b_2 on rakennuksen osien pituus

h on kattojen tasoero

s_k on tietyllä paikalla vallitsevan maanpinnan lumikuorman ominaisarvo.

Ympäristöministeriön asetuksen mukaan muotokertoimen μ_w vaihteluväli Suomessa on

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

$0,8 \leq \mu_w \leq 1,5$, jos alemman katon pinta-ala $= 2 \text{ m}^2$

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

missä muotokertoimen μ_w ylärajan väliarvot interpoloidaan lineaarisesti alemman katon pinta-alan ollessa alle 6 m^2 .

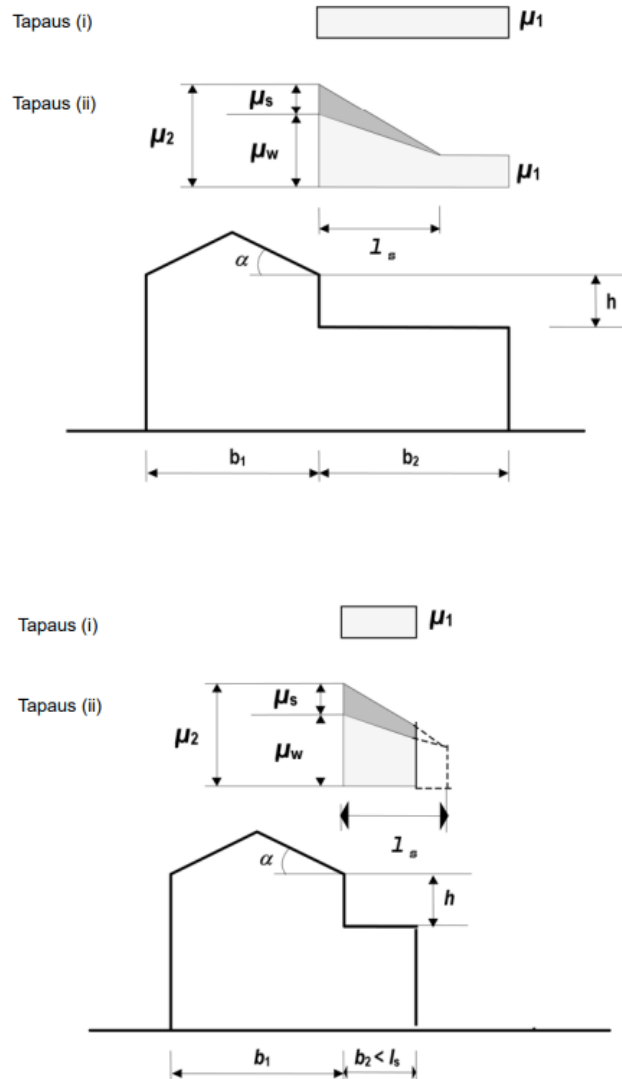
Kinostumis pituus määritetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavasta

$$l_s = 2h, \quad (19)$$

jossa

h on kattojen tasoero.

Kinostumispuutuden l_s vaihteluväli Suomessa on $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$.



Kuva 14. Lumikuormien muotokertoimet korkeampaa rakennuskohdetta vasten olevilla katoilla (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 42).

Loivilla katoilla lumen kinostumista aiheuttaa myös erilaiset katoilla olevat ulkonemat ja esteet. Loivien kattojen lumikuorman muotokertoimille ja kinostumispuutuksille esitetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavoista 20-21 ja kuvasta 15. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 44.)

$$\mu_1 = 0,8 \quad \mu_2 = \gamma h / s_k, \quad (20)$$

jossa

γ on lumen tilavuuspaino, jolle voidaan käyttää arvoa 2 kN/m^3

h on kattojen tasoero

s_k on tietyllä paikalla vallitsevan maanpinnan lumikuorman ominaisarvo.

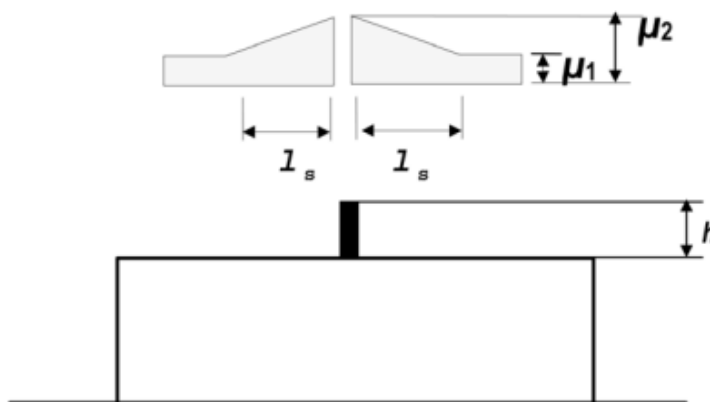
Kinostumispuite määritetään standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavasta

$$l_s = 2h, \quad (21)$$

jossa

h on esteen korkeus.

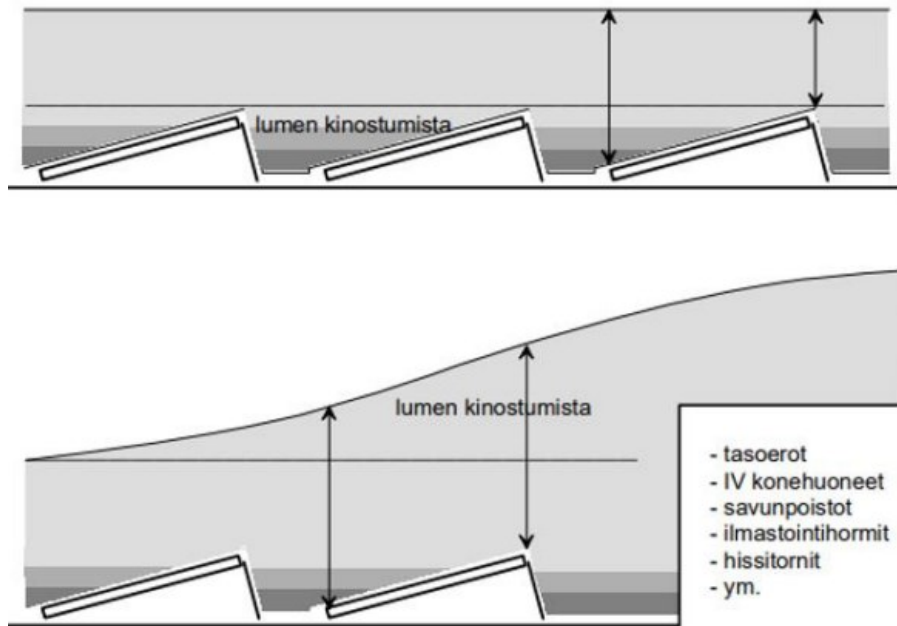
Kinostumispuite l_s vaihteluväli Suomessa on $2 \text{ m} \leq l_s \leq 6 \text{ m}$.



Kuva 15. Lumikuorman muotokertoimet ulkonemien ja esteiden kohdalla (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 44).

Loivilla katoilla ulkonemien ja esteiden lisäksi aurinkopaneelit aiheuttavat lumen kinostumista. Kinostunut lumi on vanhaa kinostunutta lunta ja kinostumista tapahtuu paneelientien rivien välissä. Kinostuneen lumen takia paneelin etureunan kuormitus kasvaa. Lumen kinostumista loivilla katoilla muodostuu

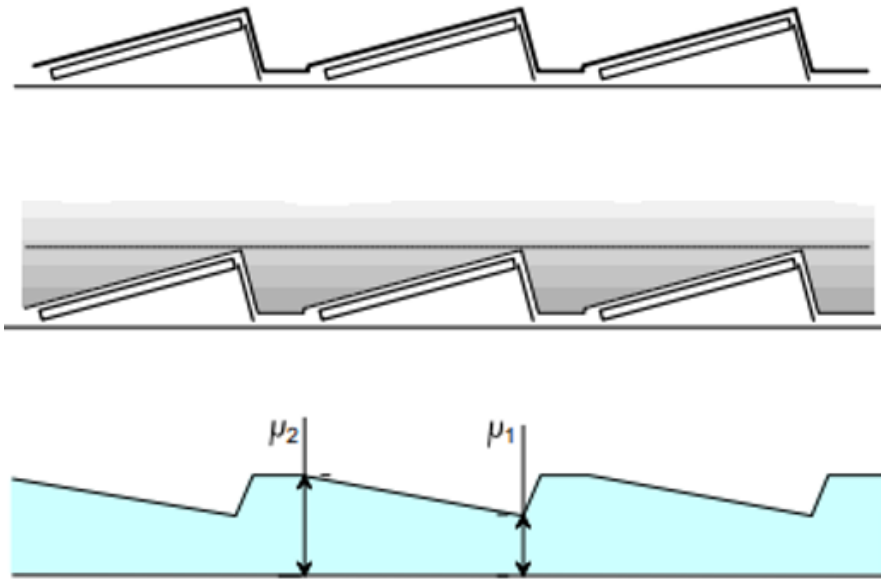
myös katon eri tasoerojen takia (kuva 16). Katon tasoeroista johtuvista lumikuormista niiden lähellä olevien aurinkopaneelien lumikuorma kasvaa ja tämän takia lumikuormatarkastelu tulee tehdä aurinkopaneeleille, jotka altistuvat suurimmalle lumikuormalle. (Finnwind 2018.)



Kuva 16. Lumen kinostuminen paneelikentässä (Finnwind 2018).

Normaalin lumikuorman lisäksi loiville katoille asennettävien aurinkopaneelien lumikuormatarkastelussa on otettava huomioon paneelikentän muodosta riippuva lumen kinostuminen sekä muut katon korkeuseroista muodostuva kinostuva lumi. (Finnwind 2024). Seuraavaksi on esitetty standardia SFS-EN 1991-1-3 soveltaen tulkintaa paneelikentän muotokertoimen määrittämiseen (Finnwind 2018).

Muotokertoimen valintaan vaikuttavat erilaiset pinnan muodot, johon lumi kerääntyy (kuva 17). Aurinkopaneelien kuormitustapaus arvioidaan paneeliasennuksen muodon mukaan, sillä loivilla katoilla on oma muoto ja paneeleilla oma muoto ja näin ollen muotokerroin on eri kummallekin. (Finnwind 2018.)



Kuva 17. Kinostuneen lumen kuormitustapaus paneelikentässä (Finnwind 2018).

Muoto paneelikentässä vastaa aluksi sahakattoa kuvan 23 mukaisesti. Lumen kinostuminen riviväleihin aiheuttaa pinnan tasoittumista vastaamaan pulpettikaton muotokerrointa kuvan 22 mukaisesti. Lopullista paneelikentän kuormitustapausta loivalla katolla kuvataan kuvassa 17. (Finnwind 2018.)

Aurinkopaneelien tulee kestää normaalin lumikuorman lisäksi kaikki kinostumisesta aiheutuvat lumikuormat. Lisäksi aurinkopaneelien kiinnitystapa kiinnitysjärjestelmään tulee täyttää kuormankantavuus huomioiden edellä esitetyt lumikuormat, jolloin standardin SFS-EN IEC 62938 ehdot täyttyvät. IEC 62938 standardista sekä sen asettamista vaatimuksista loiville katoille suunniteltavien paneelien pitkän sivun kiinnitykseen kerrotaan lisää seuraavassa kappaleessa sekä luvussa 4.2.4. Katon kokonaiskuormassa on otettava lumikuorman osalta edellä mainittujen lumikuormien lisäksi huomioon järjestelmän kiinnitysjärjestelmästä tuleva omapaino. (Finnwind 2020b; Finnwind 2024.)

Uusi SFS-EN IEC 62938:2020:en ottaa kantaa aurinkopaneelien lumikuormaan, rakenteellisiin varmuuskertoimiin ja huomioi dynaamisia vaikutuksia, joita syntyy lumen liukumisen seurauksena. Standardi parantaa myös asennuksien

turvallisuutta ja poistaa mahdollisia asennuksen virheitä. (Finnwind 2020b.) Vanhempi standardi IEC 61215 otti kantaa vain vaakatasossa arvioitaviin tasaisiin kuormiin, kun taas uusi standardi ottaa kantaa todelliseen lumikuormaan, jossa paneelin etureunaan kohdistuu enemmän kuormitusta kuin takareunaan (Rajeshwari 2020).

3.3.3 Aurinkopaneelien omat painot

Loivilla katoilla yksi yleisin asennustapa on kelluva asennus, jossa paneelien kiinnitysjärjestelmä on tuettu betonisten painokivien avulla (Energio 2024). Kelluvan asennus saadaan pysymään paikoillaan ja kestävänsä siihen kohdistuvat kuormitus vastapainojen avulla (Tampereen Tilapalvelut 2023, 4). Kelluvana asennetut aurinkopaneelit tuovat katolle lisäkuormaa, joka tulee huomioida katon kantavuudessa tuulikuorman ja lumikuorman lisäksi (Helen 2024). Järjestelmän oman painon saa selville jakamalla aurinkopaneelien painon ja niitä tukevien telinjärjestelmien painon aurinkopaneelien pinta-alalla (Diehl 2016). Kelluvan asennuksen tuoma lisäpaino katolle on keskimäärin 0,25 kN/m² (Helen 2024). Kiinnitysjärjestelmiä on erilaisia ja kuormitus on aina asennusjärjestelmästä riippuvainen (Tampereen Tilapalvelut 2023, 4). Kiinnitysjärjestelmistä kerrotaan lisää luvussa 4.2.4.

3.4 Jyrkät katot

Jyrkkien sekä loivien kattojen välistä erotusta on haastavaa määrittää tarkasti, mutta jyrkistä katoista puhutaan lähtökohtaisesti silloin, kun katon kaltevuus on suurempi kuin 1:20. Jyrkillä katoilla käytetään pääsääntöisesti katemateriaaleja, jotka ovat niin sanottuja epäjatkuvia katteita. Katemateriaalit, joiden saumakohdat eivät kestä vedenpainetta ovat epäjatkuvia katteita, joihin lukeutuu esimerkiksi tiilikatteet, pelti- ja muut aaltolevykatteet sekä bitumikatteista kattolaatta- ja kolmiorimakatteet. Epäjatkuvien katteiden alla rakenteiden tiiveydestä ja mahdollisista kondenssihaitoista varmistutaan

käyttämällä aluskatetta. Aluskatetta ei välttämättä tarvita tiivissaumakatteiden kanssa, joita myös jyrkillä katoilla voidaan käyttää. (Kattoliitto ry 2022, 62–63.)

Vesikattojen käyttöikää pidentävät oikeanlaiset kattoratkaisut sekä ammattitaitoinen toteutus, jotka ovat ensisijaisia tekijöitä onnistuneelle vesikatolle. Vesikaton säännöllinen huolto on katon kannalta elintärkeää, jotta se voi täyttää suunnitellun käyttöikänsä. (Kattoliitto ry 2022, 101.)

Jyrkät katot ovat pääosin puurunkoisia rakenteita, joissa tuuletus tapahtuu yleensä lämmöneristeen yläpuolella. Tuuletusvälissä ilman tulee päästä liikkumaan katon kaikilla alueilla. Tuuletus tapahtuu räystään tuuletusraoista, joista ilma virtaa sisään, jonka jälkeen se poistuu katon harjalta tai rakennuksen päädyistä. Yläpohjan kantavana rakenteena palkki- tai ristikkorakenne, jossa on oltava höyryn- tai ainakin ilmansulku, lämmöneriste, tuuletusväli sekä vesikate, joka on rakennettu katemateriaalin vaatimalle pohjalle. Katemateriaalin alla käytetään tyypillisesti puuruoteita. (Kattoliitto ry 2022, 63; Kattoliitto ry 2024, 58.)

Jyrkkien kattojen katemateriaaleja kiinnittäessä tulee huomioida valmistajalta tulleet ohjeet sekä materiaalin pitkäaikaiskestävyys. Katemateriaalien kiinnitys tapahtuu lähes poikkeuksetta mekaanisesti, mutta esimerkiksi saumakatteilla katteen pintaa ei tarvitse kiinnityksen yhteydessä lävistää, koska kiinnikkeet puristetaan katteen saumoihin. Kiinnikkeet ovat suositeltavaa ja myös kätevämpää tilata samassa yhteydessä katemateriaalivalmistajalta. (Kattoliitto ry 2022, 67.)

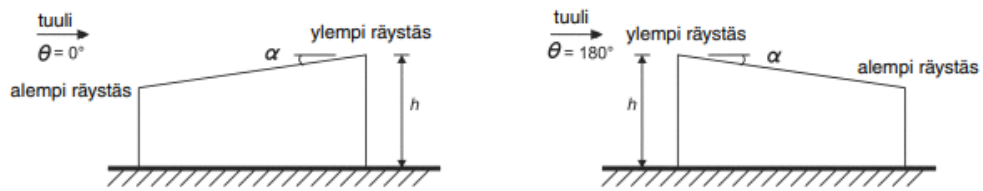
Jyrkillä katoilla sadevedet johdetaan tyypillisesti alaräystäiltä sadevesikouruun ja sen jälkeen syöksytorven kautta sadevesikaivoihin. Jyrkillä katoilla tarvitaan myös erilaisia kattoturvatuotteita, joista yleisimmät ovat katto- ja lapetikkaat, lumiesteet sekä kulkusillat. (Kattoliitto ry 2022, 68.) Jyrkillä katoilla käytetään lähes poikkeuksetta lumiesteitä, sillä kulkuväylät, sisäänkäyntien kohdat sekä rakennuksen ympärillä olevat katualueet ja muut yleiset alueet tulee turvata lumiestein katolta putoavalta jäältä ja lumelta (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 2017/1007, 4:18).

3.4.1 Tuulikuormat jyrkille katoille ja aurinkopaneeleille

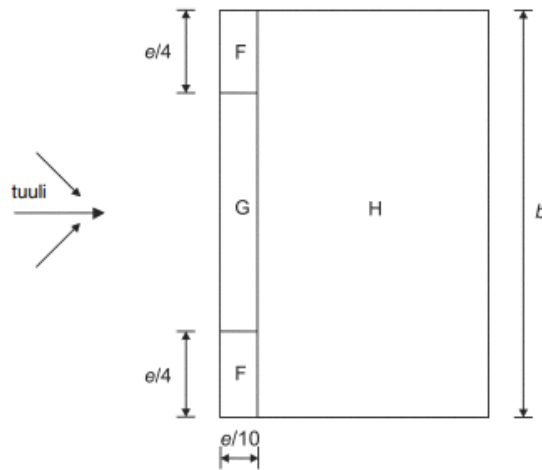
Tuulikuorman perusarvot lasketaan jyrkille katoille kohdan 3.1 mukaan, mutta määrittämiseen tarvittava ulkoisen paineen painekerroin määritetään kattotyypin vyöhykkeen mukaan. Ulkoisen paineen painekertoimella voidaan määrittää tuulikuorman kokonaisvaikutus rakenteeseen tai rakenneosaan. Ulkoisen paineen kertoimet vaihtelevat kuormitetun pinta-alan koosta. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 54, 56.)

Seuraavaksi on esitetty jyrkille katoille tyypillisiä kattotyyppejä eli pulpetti-, harja- ja sahakatto. Jokainen kattotyyppi on jaettu vyöhykkeisiin, joista on koottu oma taulukko. Taulukoissa tuuli vaikuttaa katolle kohtisuoraan eli kulmassa 0°, 90° tai 180°. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 56.)

Kuvassa 18 on esitetty pulpettikaton vyöhykekaavio. Vyöhykkeellä voidaan määrittää taulukoista 9 ja 10 ulkoisen paineen painekertoimet.

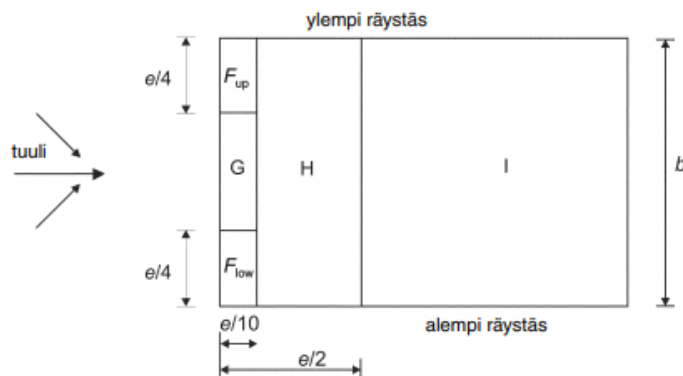


(a) Sivupiirros

(b) tuulen suunnat $\theta = 0^\circ$ ja $\theta = 180^\circ$

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

b : tuulelle poikittais-
suuntainen mitta

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

Kuva 18. Pulttikattojen vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 70).

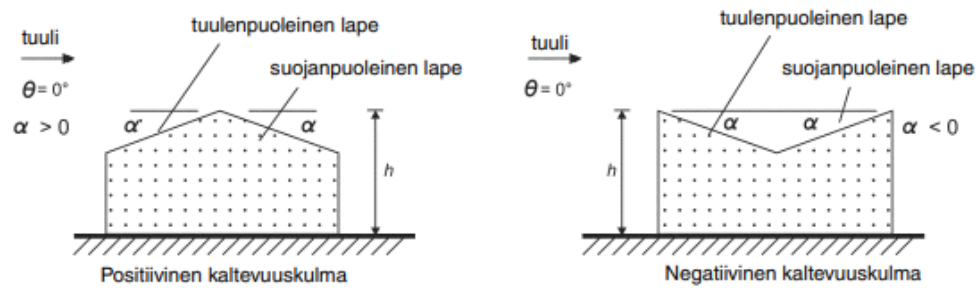
Taulukko 9. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatoille, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$ tai $\theta = 180^\circ$ (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 72).

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	

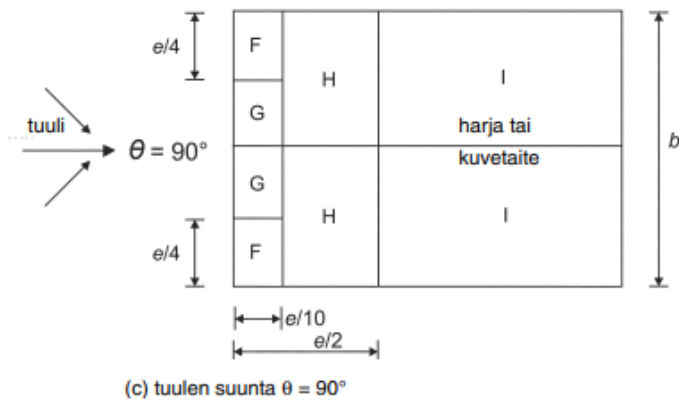
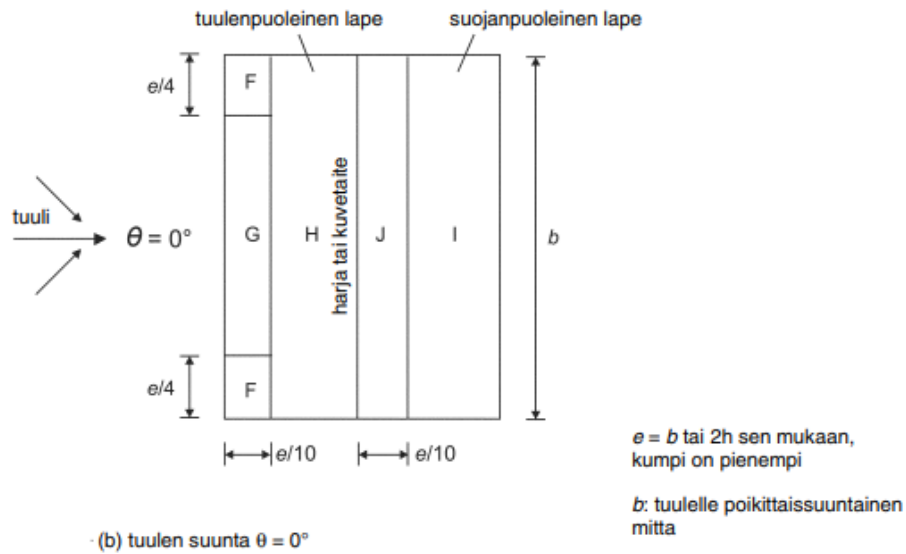
Taulukko 10. Ulkopuolisen paineen kertoimet pulpettikatoille, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$ (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 72).

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	

Kuvassa 19 on esitetty harjakaton vyöhykekaavio. Vyöhykkeellä voidaan määrittää taulukoista 11 ja 12 ulkoisen paineen painekertoimet.



(a) Sivupiirros



Kuva 19. Harjakattojen vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 74).

Taulukko 11. Ulkupuolisen paineen kertoimet harjakatoille, kun tuulen suunta $\theta = 0^\circ$ (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 76).

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	
-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	+0,2		+0,2	
							-0,6		-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	

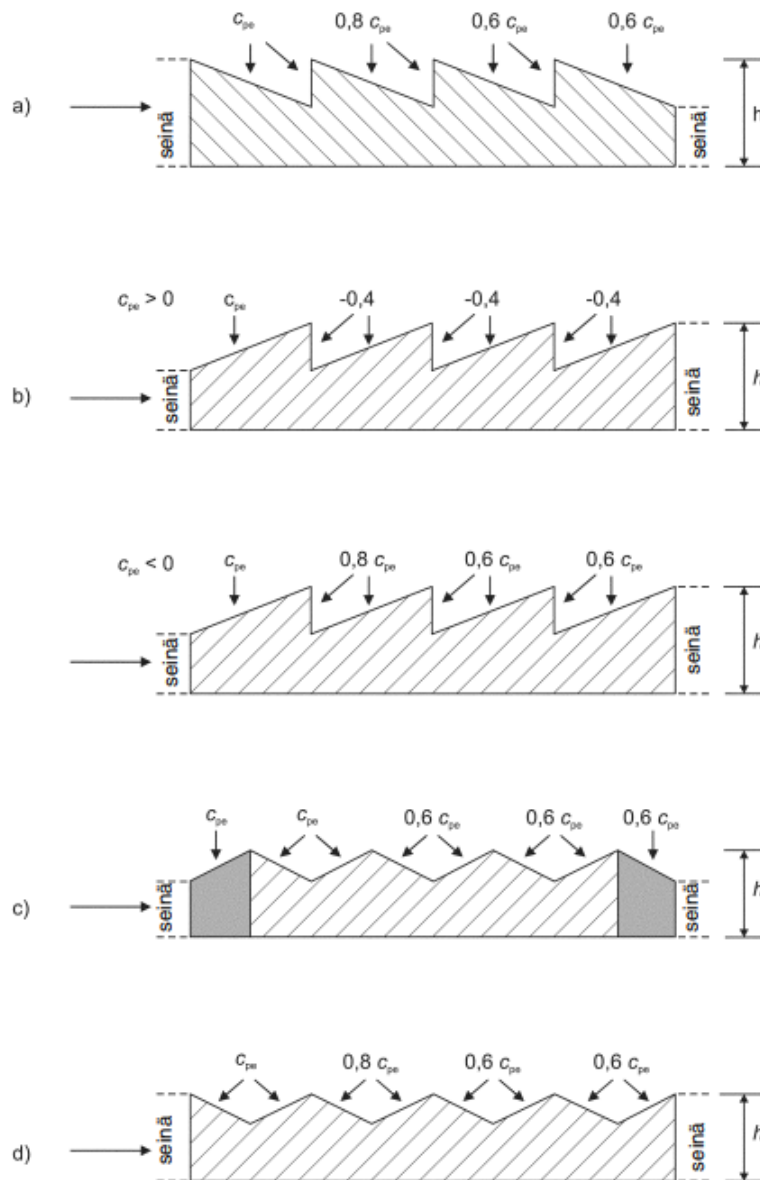
Taulukko 12. Ulkupuolisen paineen kertoimet harjakatoille, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$ (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 76).

Kaltevuuskulma α	Vyöhyke, kun tuulen suunta $\theta = 90^\circ$									
	F		G		H		I			
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-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	-1,2		
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	-1,2		
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	-1,2		
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	-1,2		
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2		
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	-1,2		

Kuvan 20 tapauksessa b huomioidaan kaksi alatapausta reunimmaisen lappeen painekertoimen c_{pe} etumerkistä riippuen. Tapauksessa c reunimmaisen lappeen ulkoisen painekertoimen c_{pe} arvolla tarkoitetaan pulpettikaton painekertoimen c_{pe} arvoa, mutta muiden painekertoimien arvo on kuvetaitteisen harjakaton painekertoimen c_{pe} arvo. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 80.)

Sahakattojen eri tapauksien mukaan voidaan käyttää pulpettikattojen sekä harjakattojen ulkoisen paineen kertoimia. Kuvan 20 a ja b tapauksissa

käytetään pulpettikattojen ulkoisen paineen kertoimia ja tapauksissa c ja d harjakattojen kertoimia. Taulukoiden vyöhykkeet F, G ja J ovat käytössä vain tuulenpuoleisella lappeella ja H ja I sahakaton jokaisella lappeella. Nopeuspaine kertoimen arvoa z_e käytetään kuvassa 20 olevaa korkeutta h . (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 80.)



Kuva 20. Sahakattojen vyöhykekaavio (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 82).

Ulkopuolisen paineen painekerrointa voidaan käyttää pienten osien sekä kiinnitysten mitoitukseen (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 52). Määritettyä

tuulikuormaa voidaan tässä tapauksessa soveltaa jyrkille katoille asennettaville aurinkopaneeleille sekä niiden kiinnitysjärjestelmille. Vyöhykekaaviokuvia 18 ja 19 apuna käyttäen voidaan esimerkiksi päätellä, mihin vyöhykkeeseen asennettavat aurinkopaneelit kiinnitetään.

Standardi SFS-EN 1991-1-4 ei kuitenkaan anna ohjeistusta katoille asennettavien aurinkopaneelien tuulikuorman määrittämiseen. Standardissa määritetään tuulikuormat eri rakenteille sekä rakenteen osille. (SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1 2011, 18.) Jyrkille katoille suunniteltavien aurinkopaneelien tuulikuormat määritetään mahdollisimman tarkasti standardia SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisia liitteitä soveltaen (Kortetmäki ym. 2023, 108; Lastunen 2021).

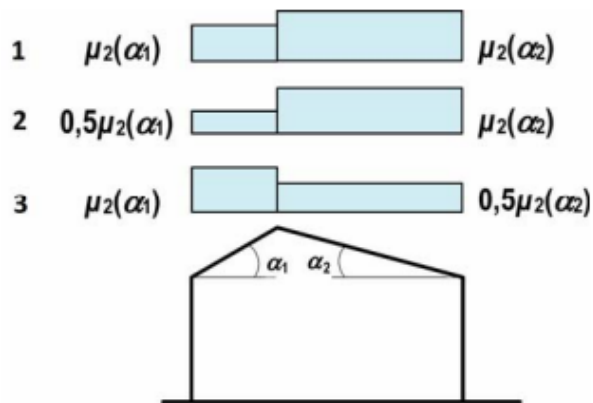
Jyrkillä katoilla aurinkopaneelit asennetaan usein samansuuntaisesti kattopinnan kanssa, jolloin ne altistuvat samantyyppisille tuulikuormille, kuin samalla kaltevuuskulmalla oleva kate (Barkaszi & O'Brien 2010.)

3.4.2 Lumikuormat jyrkille katoille ja aurinkopaneeleille

Lumikuorman perusarvot lasketaan jyrkille katoille kohdan 3.2 mukaisesti kattomuodosta riippuvan muotokertoimen mukaan.

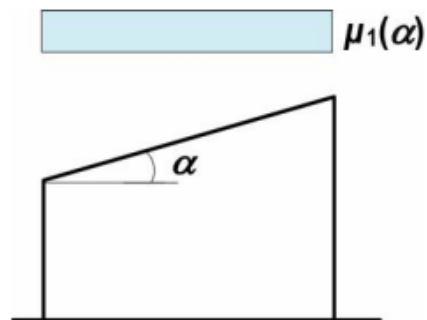
Eri kattomuodoille on SFS-EN 1991-1-3 mukaan esitetty omat muotokertoimet harja-, pulpetti- ja sahakatoille. Arvoja voidaan käyttää, kun lumi pääsee liukumaan katolta. Lumiesteen tai muu lumen liukumista estävän esteen ollessa katolla lumikuorman muotokertoimena käytetään vähintään arvoa 0,8.

Kuvassa 21 on määritetty lumen eri muotokertoimet harjakatoille. Kohta 1 tarkoittaa kinostumatonta lunta ja kohdat 2 ja 3 tarkoittavat kinostunutta lunta (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 35).



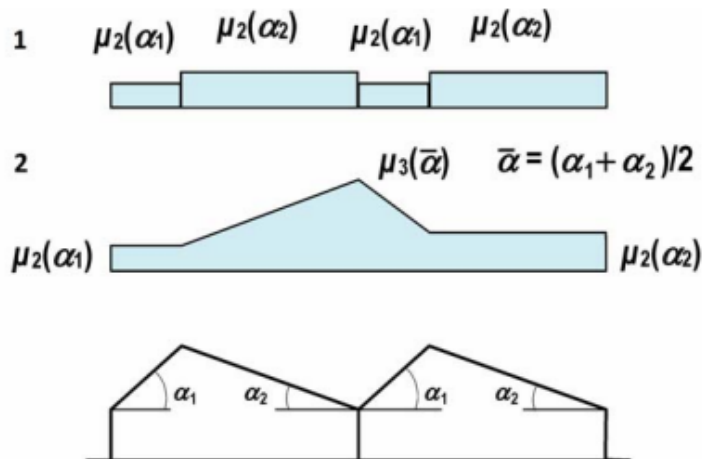
Kuva 21. Harjakaton muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 35).

Kuvassa 22 on määritetty lumikuorman muotokerroin pulpettikatoille.



Kuva 22. Pulpettikaton muotokerroin (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 32).

Kuvassa 23 on määritetty lumen muotokertoimet sahakatoille. Kuvassa tapauksella 1 tarkoitetaan kinostumatonta lunta ja tapauksella 2 kinostunutta lunta. Kun kaltevuus on yli 60 astetta, niin käytetään μ_3 arvona 1,6. (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 36.)



Kuva 23. Sahakaton muotokertoimet (SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 36).

Lumi voi tietyissä olosuhteissa päästä liukumaan kattoa pitkin, jolloin lumen ja katon välinen kitkakerroin oletetaan nolllaksi. Liukuvan lumimassan aiheuttava kuorma F_s liukumisen suuntaan rakennuksen pituusyksikköä kohti saadaan standardin SFS-EN 1991-1-3 mukaan kaavasta

$$F_s = sb \sin a, \quad (22)$$

jossa

s on vaarallista kinostumattoman lumen kuormitustapausta vastaava katon alue, josta lumi voi lähteä liukumaan

b on vaakatasossa mitattu etäisyys esteestä seuraavalle tai seuraavasta esteestä harjalle

a on katon kaltevuus vaakatasoon nähden esteen kohdalla.

Eurokoodi tai Suomen kansallinen liite ei ole määrittänyt aurinkopaneelien lumikuorman laskentaan ohjetta, mutta liukuvan lumimassan kuorman kaavaa voidaan soveltaa aurinkopaneelien kuormitusten laskennassa jyrkille katoille. Aurinkopaneelien yläpuolelle kertyvä lumimassa voi tietyissä olosuhteissa lähteä liukumaan ja näin kuormittaa aurinkopaneeleita sekä niiden kiinnitystä.

Kaavassa esiintyvän b :n arvona käytettäisiin tällöin aurinkopaneelien yläreunan etäisyyttä harjaan.

Jyrkillä katoilla lumikuorman vaikutukset aurinkopaneelisiin eivät ole katon kaltevuuden myötä niin merkittäviä kuin loivilla katoilla. Lisäksi jyrkillä katoilla lumikuorman vaikutuksia aurinkopaneelisiin vähentää paneelien sijoittaminen mahdollisimman lähelle katon harjaa. Standardissa SFS-EN 1991-1-3 esitetään suunnitteluohjeet rakennusten sekä rakenteiden lumikuorman määrittämiseksi. Lumikuorma määritetään kuitenkin mahdollisimman tarkasti standardia SFS-EN 1991-1-3 sekä Suomen kansallista liitettä soveltaen. (Käpylehto 2016, 161; Lastunen 2021; SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1 2015, 8.)

3.4.3 Aurinkopaneelien omat painot

Jyrkillä katoilla yleinen 80-kennoinen aurinkopaneeli riippuen valmistajasta painaa noin 20 kg. Paneelin koon mukaan, se kuormittaa kattoa noin 0,11 kN/m². Lisäksi aurinkopaneelien kiinnitystelineet lisäävät katolle tulevaa neliöpainoa noin 4–6 kg jokaista aurinkopaneelia kohden eli noin 2–3 kg/m². Aurinkopaneelien tuoma oma kuormitus katolle on tällöin noin 0,14 kN/m². (Aurinkovirta 2023.)

4 Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu

Tässä luvussa käsitellään katolle asennettavien aurinkopaneelien sekä aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua. Luvussa aurinkosähköjärjestelmä pitää sisällään aurinkopaneelit sekä paneelien kiinnitysjärjestelmän. Luvussa tarkastellaan esivalmisteluja, kattotarkastuksia, katon rakenteellisia muutoksia, rakenneteknisiä lupia ja määräyksiä sekä sijoittelua loivilla ja jyrkillä katoilla. Näiden lisäksi käsitellään myös sijainnin valintaa, kiinnitysjärjestelmiä, turvallisuusnäkökohtia sekä katon ja aurinkopaneelien huoltoa ja seuranta.

4.1 Esivalmistelu

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on monipuolinen prosessi. Ennen aurinkosähköjärjestelmän toteuttamista on tehtävä esivalmisteluja. Esivalmistelut koskevat rakennuksen kattoa ja siihen liittyvien lupien ja määräyksiä selvittämistä. Luvuissa 4.1.1, 4.1.2 ja 4.1.3 esitetään, mitä asioita tulee ottaa huomioon esivalmisteluvaiheesta suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää katolle.

4.1.1 Kattotarkastukset

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee tarkistaa katon kunto sekä käyttöikä. Pääsääntöisesti aurinkosähköjärjestelmän elinkaari voi olla jopa 30 vuotta. Tämän vuoksi on tärkeää, että katto kestää saman elinkaaren ilman merkittäviä remonttitarpeita. Kattotarkastuksessa katon rakenteet tulee kokonaisuudessaan tarkastaa ennen aurinkosähköjärjestelmän asentamista eikä esimerkiksi pelkän vesikatteen kunnan arvioiminen riitä. Kattotarkastuksen yhteydessä voidaan myös havaita tarve vahvistaa katon rakenteita kestävämmän aurinkosähköjärjestelmän tuomat lisäkuormat. (Kortetmäki ym. 2023, 21, 109.) Katon rakenteellisista muutoksista kerrotaan lisää luvussa 4.1.2.

Kattotarkastuksessa loiville katoille tulee katon mahdolliset vauriot ja korjaustarve selvittää. On tarpeen koota yhteen katon saatavilla olevat tiedot, joiden avulla katon tarkastuksessa osataan tarkastaa kaikki oleelliset asiat. Loiville katoille suoritettavassa kattotarkastelussa tarkastetaan katon kallistukset, räystäsrakenteet, kattokaivot, läpiviennit, pellitykset, vesikatteen saumat ja pinnan kunto sekä mahdollisuuksien mukaan katteen alapuoliset rakenteet. Kattotarkastuksessa tarkastetaan myös vesikaton tuuletuksen toimivuus sekä vesikatteen alusrakenteen riittävä jäykkyys aurinkosähköjärjestelmän tuomien painumien estämiseksi. Kattoa avataan tarpeen mukaan rakenteiden kunnan tarkempaa selvittämistä varten, esimerkiksi jos höyrynsulun kunto halutaan selvittää. (Kattoliitto ry 2022, 25, 48.)

Kattotarkastuksessa jyrkille katoille tarkastetaan, että katon pintamateriaalissa ei ole reikiä, repeämiä tai halkeamia. Katon pintamateriaalin on oltava aurinkosähköjärjestelmän asennusta varten ehjä ja puhdas. Kattotarkastuksen yhteydessä on varmistuttava, ettei esimerkiksi maalipinnassa tai muussa katolla käytetyssä pinnoitteessa ole lohkeamia. Pinnoitteiden tulee olla kunnossa, jotta veden pääsy pinnoitteiden väliin ei ole mahdollista. Tarvittaessa vesikatolle ja sen pinnoitteelle on suoritettava huoltotoimenpiteitä, kuten uudelleen pinnoitus tai katon pesu ennen aurinkopaneelien asennusta. (Kortetmäki ym. 2023, 109.)

Jyrkkien kattojen ulkopuolisten tarkastuksien jälkeen on katon rakenteet tarkistettava mahdollisuuksien mukaan myös vesikatteen alapuolelta. Sisäpuolella tulee tarkastaa katon, räystään ja yläpohjan rakenteet sekä eristeet mahdollisilta laho- ja kosteusvaurioilta. (Kortetmäki ym. 2023, 109.) Lisäksi katon sisäpuolelta on suositeltavaa tarkistaa myös aluskatteen kunto sekä vuotoriskille alttiit talotekniikan läpiviennit sekä katon eri liitokset, kuten räystäslistat, sisäjiirilistat sekä harjalistat (Kerabit 2023b).

Kattotarkastuksen yhteydessä on myös tärkeää tarkistaa loivien kattojen ja jyrkkien kattojen kattoturvaluotteiden, kuten lumiESTEiden ja katon kulkuteiden, kunto sekä kiinnitykset. Tarvittaessa kattoturvaluotteita voidaan lisätä kattoremontin tai aurinkopaneelien asennuksen yhteydessä. (Rakentaja 2024.)

Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa katolle tulee selvittää mahdollisten takuiden voimassaolo. Erityisesti katto- ja vesikatemateriaalin toimittajan takuuehdot on tärkeä tarkistaa. Samoin on hyvä perehtyä ohjeisiin, jotka koskevat katoille tehtäviä asennuksia ja muutoksia. Ilman takuuehtojen selvittämistä voi aurinkosähköjärjestelmän virheellisen asentamisen seurauksena takuut raueta. Takuun säilyttämiseksi tulee aurinkosähköjärjestelmän asennus suorittaa vahingoittamatta vedeneristystä tai kattorakenteen toimivuutta sekä säilyttää katon huoltomahdollisuudet. (Kortetmäki ym. 2023, 109.)

Vesikaton pintamateriaalin käyttöään ollessa lähellä loppua on suositeltavaa suorittaa kattoremontti ennen aurinkopaneelien asennusta (Kortetmäki ym. 2023, 109). Kattoremontti voi olla tarpeen tehdä myös silloin, kun katto vuotaa tai on muuten vaurioitunut. Kattoremontilla tarkoitetaan katon osien korjausta tai koko katon uusimista. Katon korjaustyöhön voi kuulua esimerkiksi osittainen vesikatteen korjaustyö tai läpivientien paikkauksia. Kattoremontin ollessa ajankohtainen tai se on tarpeen tehdä lähitulevaisuudessa, kannattaa se joka tapauksessa tehdä ennen aurinkopaneelien asennusta (Kattoliitto ry 2024, 66, 77, 103). Vaikka paneelien poistaminen kattoremontin ajaksi on mahdollista, aiheuttaa se silti ylimääräisiä kustannuksia sekä viivästyttää katon korjauksen aikataulua (Motiva 2023). Kattoremontilla saadaan katon ja aurinkopaneelien käyttöikä vastaamaan toisiaan, eikä katolle tule korjaustarpeita heti paneeliasennuksien jälkeen (Kattoliitto ry 2024, 103).

Uudisrakennuksen katto, johon suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmää ei tarvitse varsinaisesti kattotarkastusta. Rakennuksen ollessa uusi pystytään aurinkosähköjärjestelmä suunnittelemaan katolle niin, että katto toimii halutulla tavalla. Katon ja aurinkopaneelien huolto ja seuranta tulee kuitenkin toteuttaa kaikilla katoilla asianmukaisesti. Katon ja aurinkopaneelien huollosta ja seurannasta kerrotaan lisää luvuissa 4.4 ja 4.5.

4.1.2 Katon rakenteelliset muutokset

Suunniteltaessa kiinteistöön aurinkosähköjärjestelmää vastaan voi tulla katon rakenteiden vahvistaminen (Kortetmäki ym. 2023, 21, 109). Mahdollisilla rakenteiden vahvistamisilla varmistetaan katon kantavuus lisääntyviä kuormia vastaan, joita syntyy aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena. Suunnitteluvaiheessa kannattaa olla yhteydessä kattoalan ammattilaiseen, sillä vesikatot ovat yksilöllisiä ja niiden erityispiirteet pitää ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa (Boudaqa 2023; Kattotutka 2024).

Katon ollessa siinä kunnossa, että se vaatii kokonaisvaltaista kattoremonttia, voidaan uutta kattoa suunniteltaessa miettiä tapauskohtaisesti aurinkosähköjärjestelmän asennuksesta johtuvia rakenteellisia muutoksia. Rakenteellisten muutoksien ja katolle tehtävien vahvistuksien tekeminen helpottuu, kun muutokset tehdään kattoremontin aikana. (Meriläinen 2022; Kortetmäki ym. 2023, 109.)

Rakennuksiin, joihin ei tehdä kattoremonttia, tulee katon rakenteiden kunto tarkastaa vesikatteen alapuolelta mahdollisimman tarkasti. Vesikatteen alla olevien rakenteiden kunnan on oltava hyvä, jotta esimerkiksi mekaanisesta kiinnityksestä tulevat läpiviennit saadaan tiivistettyä kunnolla.

Aurinkosähköjärjestelmän tuomat kuormat pitää myös saada johdettua kantaville rakenteille ilman ongelmia. Rakennesuunnittelija määrittelee katon rakenteiden vahvistukset ja muutokset yhdessä kattoalan ammattilaisen kanssa. (Kortetmäki ym. 2023, 109.)

Pientalojen katot kestävät useimmissa tapauksissa aurinkopaneelien asennuksen tuomat lisäkuormat ilman rakenteellisia muutoksia varsinkin, kun paneelit on asennettu katteen suuntaisesti. Paneelien vähäinen määrä vaikuttaa myös positiivisesti katon kestävyteen pientaloissa verrattaen esimerkiksi laajoihin tasakattoihin. Loivilla katoilla, esimerkiksi laajan toimistorakennuksen katon rakennetukien etäisyydet (jännevälit) kasvavat usein suuriksi. Pitkät jännevälit ja niiden päälle asennettavat paneelientät rasittavat rakenteita niin, että niiden kantavuus on tarkistettava. Katon kantavuus on kattotyypistä ja

rakennuksesta riippumatta aina tarkastettava ja pystyttävä todistamaan kestäväksi rakennesuunnittelijan toimesta. (Auvinen 2017.)

Olemassa olevien rakenteiden kunnon dokumentointi ja aurinkosähköjärjestelmän aiheuttamien kuormitusten laskeminen toimii hyvänä edellytyksenä aurinkosähköjärjestelmän onnistuneeseen asennukseen. Nykyisten rakentamismääräysten saavuttamiseksi rakennesuunnittelijan on suunniteltava rakenteelliset vahvistukset niin, että olemassa olevat rakenteet saadaan vastaamaan nykymääräysten mukaiset kuormitukset. (Sass & Leed 2013.)

Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää uudisrakennukseen voidaan rakenneteknisiin asioihin reagoida suunnitteluvaiheessa. Vesikaton tulee kestää aurinkosähköjärjestelmän aiheuttamat lisäkuormitukset. Katon rakenteet ja materiaalit suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmän kiinnitystavan mukaan kuitenkin heikentämättä katon toimivuutta. (Kortetmäki ym. 2023, 109.)

4.1.3 Rakennetekniset luvat ja määräykset

Alueesta ja rakennuksesta riippuen aurinkopaneelien asentamisen lupakäytännöt ja määräykset saattavat vaihdella. Jos aurinkopaneelien asentaminen vaikuttaa merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön, niin maankäyttö- ja rakennuslain muutoksen jälkeen vaaditaan usein toimenpidelupa tai -ilmoitus. Jos suunnitteilla on suuri aurinkopaneelijärjestelmä tai kohteena on esimerkiksi suojeltu rakennus tai alue, niin hanke saattaa paikkakuntaakohtaisesti vaatia rakennuslupaa. Myös laajat aurinkovoimalat saattavat kuntakohtaisesti vaatia rakennuslupaa. Kunnan rakennusjärjestyksessä on usein mainittu, mitä aurinkopaneelien asentaminen vaatii, mutta rakennusjärjestyksen määräykset voivat vaihdella kuntakohtaisesti. Paikallisen kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta tulee selvittää, vaaditaanko aurinkopaneelien asennukseen rakennus- tai toimenpidelupaa. (Kortetmäki ym. 2023, 30; Motiva 2024a.)

Rakennusvalvonnat kunnissa toimivat maankäyttö- ja rakennuslain sekä -asetuksen ja Suomen rakentamismääräyskokoelman määräyksien nojalla. Maankäyttö- ja rakennuslaki saattaa edellyttää kaupunkikuvallisten asioiden lisäksi rakennuslupaa myös silloin, kun rakennuksen tekniseen järjestelmään kohdistuvalla muutostyöllä vaikutetaan huomattavasti rakennuksen energiatehokkuuteen. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132, 18:125.)

Jos aurinkopaneelien asentaminen ei edellytä omassa kunnassa toimenpide- tai rakennuslupaa, niin yli 50 kVA:n aurinkovoimaloista suositellaan kuitenkin ilmoitusta pelastuslaitokselle sekä pyytää pelastusviranomaisen tarkastusta ennen paneelien käyttöönottamista (Pelastuslaitokset 2023, 21).

Maankäyttö- ja rakennuslain 17:117a:ssa sanotaan rakenteiden lujuudesta ja vakaudesta, että rakennus on suunniteltava siten, ettei siihen aiheudu lujuutta tai vakautta haittaavia muodonmuutoksia. Maankäyttö- ja rakennuslain 17:117:än mukaan ympäristöministeriön asetuksella voidaan antaa rakennuksen korjaus- ja muutostyötä sekä käyttötarkoituksen muutosta varten tarkempia säännöksiä. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132, 17:117a.)

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista pykälän 10 mukaan rakennuksen korjaus- ja muutostyön suunnittelussa sekä toteutuksessa tulee selvittää rakenteiden kuormitusten mahdollinen lisääntyminen. Rakenteen kuormituksen lisääntyessä on kantavien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa sovellettava ympäristöministeriön asetuksen pykälä 2–5 uusien ja vahvistettavien rakenteiden osalta. (Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 2014/477, 10.)

Sähkölaitteille- ja laitteistoille, joita käytetään esimerkiksi sähkön siirrossa, tuottamisessa tai jakelussa ja joiden sähköiset ominaisuudet voivat aiheuttaa vaaraa tai häiriötä, sovelletaan sähköturvallisuuslakia. Sähkölaitteet tai -laitteistot eivät saa aiheuttaa kenenkään terveydelle, hengelle tai omaisuudelle vaaraa. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135, 1:6.)

Uusista aurinkosähköjärjestelmistä on ilmoitettava omaan sähköyhtiöön ennen verkkoon kytkemistä. Järjestelmän tulee olla asennettu, niin että se täyttää sille asetetut tekniset vaatimukset. Jos aurinkosähköjärjestelmä on asennettu oikein lakien ja asetusten edellyttämällä tavalla, niin kantaverkonhaltija tai jakeluverkon haltija ei voi kieltää uuden voimalaitoksen liittämistä verkkoon. (Motiva 2024a; Sähkömarkkinalaki 2013/588, 4:20a.)

Paloturvallisuuteen sekä aurinkopaneeleiden huoltoon ja seurantaan on myös lisää niihin liittyviä täsmentäviä lakeja ja asetuksia, joista kerrotaan lisää luvuissa 4.3.1 ja 4.5.

Vakuutusyhtiöllä voi olla vaatimuksia kiinteistöön asennettaville aurinkopaneeleille, jotka on syytä selvittää ennen aurinkosähköjärjestelmän hankintaa (Kortetmäki ym. 2023, 19).

4.2 Asennuksen suunnittelu

Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelussa tulee ottaa huomioon monia eri asioita, kuten mihin paneelit tullaan sijoittamaan, miten ne sijoitellaan valitussa sijainnissa ja millä kiinnitysjärjestelmällä asennus tullaan toteuttamaan. Näitä asioista käsitellään luvuissa 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4 ja 4.2.5.

4.2.1 Sijainnin valinta

Sijainnin valinta on yksi keskeinen asia, joka tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Aurinkosähköjärjestelmän sijainnin valinta vaikuttaa oleellisesti järjestelmän sähköntuotantoon. Tämän vuoksi sijainnin valinta, varjostukset, paneelien kallistuskulma ja lämpötilojen vaikutus pitää suunnitella huolellisesti. Vuosituotannon heikkeneminen voi laskea radikaalisti, jos jokin näistä elementeistä on jätetty huomioimatta. (Kortetmäki ym. 2023, 49.)

Aurinkosähköjärjestelmä sijoitetaan yleensä rakennuksen katolle, koska se on korkeammalla kuin muu rakennettu ympäristö ja näin ollen altistuu tehokkaammin auringon säteilylle. Katoilla on myös yleensä runsaasti varjostamatonta tilaa, jolloin erilaiset varjostustekijät eivät pääse häiritsemään aurinkosähköjärjestelmän vuosituottoa. (Väre 2020.) Varjostuksia voivat aiheuttaa esimerkiksi katoilla olevat rakenteet, viereiset rakennukset, alueen puusto sekä toisen paneelirivin aurinkopaneelit. Asennuskohteen varjostukset on huomioitava tarkasti suunnitteluvaiheessa. (RT 103076, 2019; Motiva 2024a.) Aurinkosähköjärjestelmässä voidaan hyödyntää virran optimoijia, joiden avulla aurinkopaneeleita voidaan sijoittaa osittain varjostuville alueille. (Solnet 2020). Suunnittelussa pyritään kuitenkin välttämään paneeleita varjostavia tekijöitä. (Kortetmäki ym. 2023, 49).

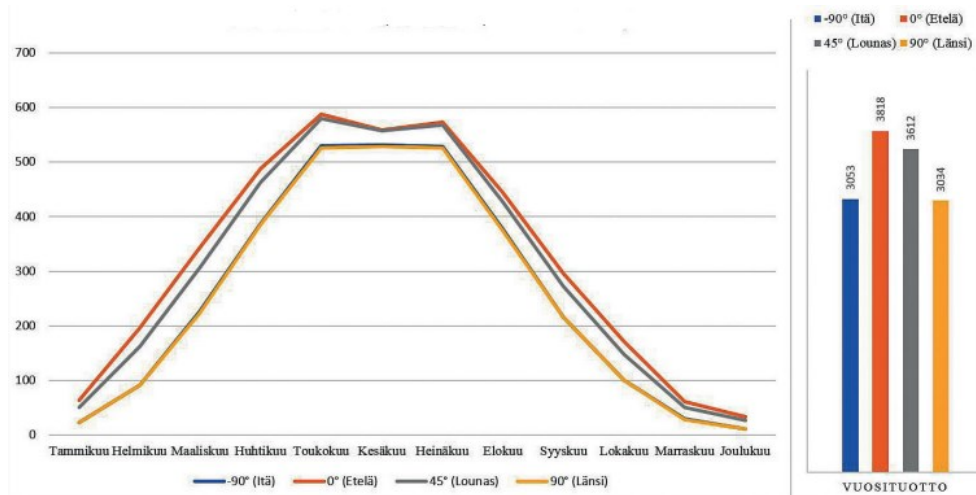
Aurinkosähköjärjestelmän sijaintia suunniteltaessa, on aluksi huomioitava, mihin ilmansuuntaan rakennuksen katto on. Suomessa parhaaseen vuosituottoon päästään, kun aurinkopaneelit suunnataan etelään päin. Loivilla katoilla aurinkopaneelit voidaan asentaa useimmissa tapauksissa haluttuun ilmansuuntaan ja haluttuun kulmaan asennustelineiden ja katon loivan kulman ansiosta. Näin ollen loivilla katoilla saadaan aurinkopaneelit asennettua etelään päin useimmissa tapauksissa toisin kuin jyrkillä katoilla, joissa ei välttämättä saada paneeleita osoittamaan helposti etelää kohti, mikäli katon harja on eri ilmansuuntaan. (Motiva 2024a.)

Aurinkopaneelien suuntaus loivilla katoilla on mahdollista myös itään ja länteen samanaikaisesti niin sanotuilla itä-länsi-telineillä. Loiville ja jyrkille katoille on myös aurinkoa seuraavia järjestelmiä, joilla voidaan seurata auringon suuntaa. Itä-länsi suuntauksella saadaan aikaan tasaisempi sähköntuotto ja samalle katon pinta-alalle mahtuu enemmän aurinkopaneeleita verraten pelkästään etelään päin suunnattuihin paneelitelineisiin. Pienemmät paneelivälit mahdollistavat itä-länsi suuntauksessa suuremman paneelimäärän. Aurinkoa seuraavilla järjestelmillä saadaan paneelit suunnattua seuraamaan aurinkoa joko suoraan kahden akselin järjestelmällä tai auringon ilmansuuntaa yhden akselin järjestelmällä. Aurinkoa seuraava järjestelmä ei ole Suomessa

kuitenkaan kovin kannattavaa hajasäteilyn ollessa 40–50 % kokonaissäteilystä. (Energio 2024; Motiva 2022a.)

Jyrkillä katoilla katon lape, johon aurinkopaneelit asennetaan, osoittaa aina tiettyyn ilmansuuntaan (Väre 2020). Jyrkillä katoilla aurinkopaneelit asennetaan yleensä katon lappeen suuntaisesti, jolloin paneelien suuntaus on sama kuin rakennuksen katon suunta (Motiva 2024a). Jyrkillä katoilla esimerkiksi tiilikatoilla kattokaltevuus on usein vähintään 1:4, joka on jo valmiiksi hyvä aurinkopaneelien asennukseen. Aurinkopaneelien asennus eri ilmansuuntiin osoittaville lappeille on myös mahdollista, jolloin vuosituotosta saadaan mahdollisesti tasaisempi katon lappeen suunnista riippuen. (Käpylehto 2016, 120,121; Kattoliitto ry 2022, 63, 78.)

Aurinkopaneelien suuntauksella on suuri merkitys tuotannon näkökulmasta. Suuntauksessa tulee ottaa huomioon auringon radan vaihtelu, jolloin varjostustekijöitä voi olla useampia. Kun aurinkopaneelit ovat suunnattuna etelään päin, niin suurin hyötysuhde saavutetaan keskipäivällä, jolloin sähköenergian tuotto jatkuu koko päivän ajan. Itään tai länteen suunnattujen aurinkopaneelien suurin hyötysuhde saadaan joko aamulla tai illalla. Aurinkopaneelien korkein hyötysuhde aamulla saadaan itään päin asennetuilla paneeleilla, kun taas länteen päin asennetut paneelit tuottavat parhaiten iltauringossa. (Solarstone 2022.) Aurinkopaneelien suuntauksen vaikutusta kuvataan kuvassa 24, jossa aurinkosähköjärjestelmän kapasiteetti on 4,5 kWp ja tuotto on ilmaistu energian mittayksikkönä kWh kuukautta kohti. Aurinkosähköjärjestelmän kapasiteettia eli huipputehoa kuvataan lyhenteellä kWp, joka tulee sanasta kilowattiipiikki (Turku Energia 2024).

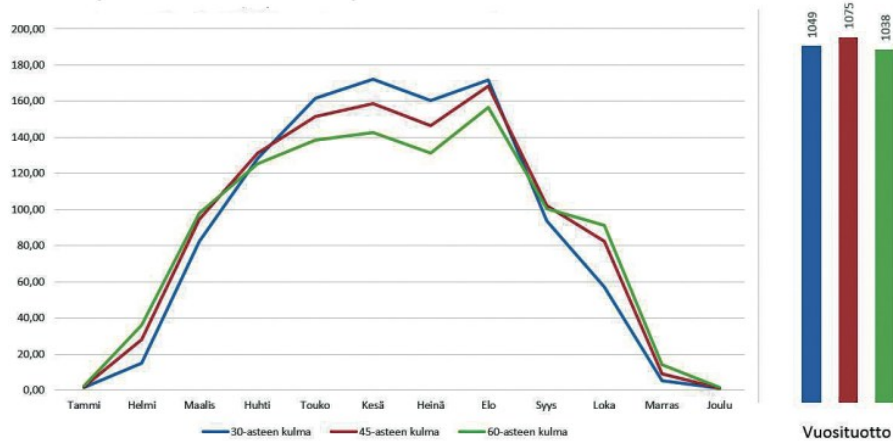


Kuva 24. Suuntauskulman vaikutus tuottoon (Kortetmäki ym. 2023, 50).

Aurinkopaneelien suuntaukseen vaikuttavat kaksi eri kulmaa, joista toinen on aurinkopaneelien suuntauskulma ja toinen on aurinkopaneelien kallistuskulma. Suuntauskulmalla tarkoitetaan aurinkopaneelien asteпоikkeamaa etelän suunnasta. Suuntauskulmasta voidaan käyttää myös nimityksiä variaatio tai atsimuutti. Suuntauskulma eli atsimuuttikulma ilmoitetaan yleensä niin, että kulma on 0° , kun suuntauskulma on etelään päin, -90° , kun suuntauskulma on itään päin ja 90° , kun suuntauskulma on länteen päin. Euroopan unionin verkkosivulle on luotu ilmainen PVGIS-laskuri, jolla voi tarkastella esimerkiksi suuntauksen vaikutusta tai laskea vuosituottoennusteen tarkkaan osoitteeseen. Laskuriin syötetään kohteen osoite, aurinkosähköjärjestelmän teho, suuntaus ja kallistus. PVGIS-laskurin toiminta perustuu auringon säteilyn voimakkuuksiin ja lämpötilastoihin, jotka ovat tehty satelliittimittauksin. (Kortetmäki ym. 2023, 50–51; EU Science Hub 2024.)

Aurinkopaneelien kallistuskulma vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän vuosituotannon vakautumiseen. Suomessa tuottoisin asennuskulma on $45\text{--}50^\circ$:n välillä. Kokonaisvuosituotannon heikentymistä nähdään heti paneelien kallistuskulman ollessa jotain muuta, mutta erot ovat pieniä. Kallistuskulmat ilmoitetaan astelukuina suhteessa horisonttiin, esimerkiksi tasakaton suuntaisesti makaava paneeli on 0° :n kulmassa. Kuvassa 25 on kuvattu 1,2 kWp aurinkosähköjärjestelmien vuosituottoa kolmella eri kallistuskulmalla.

Kuvasta tulee ilmi, että vuosituoannon näkökulmasta paras asennuskulma on 45–50°:n välillä. (Kortetmäki ym. 2023, 51.)



Kuva 25. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015 (Kortetmäki ym. 2023, 51).

Tuottoisimpiin kallistuskulmiin ei aurinkopaneeleita ole kuitenkaan aina mahdollista suunnitella. Kulman lisäksi on otettava huomioon muitakin seikkoja, joista mainittakoon tuulikuorman kasvaminen jyrkempää kallistuskulmaa käytettäessä. Loivilla katoilla aurinkopaneelit pyritään suunnittelemaan niin, että kallistuskulma on noin 15° ja atsimuuttikulma 0°. Kallistuskulma suunnitellaan yleensä 15°:n kulmaan, jotta tuulikuormien vaikutus paneeleihin ei olisi niin voimakas. (Cygnel 2020.) Jyrkillä katoilla katon lappeen suunta määrittelee yleensä aurinkopaneelien atsimuutti sekä kallistuskulmat (Motiva 2024a).

Aurinkosähköjärjestelmän vuosituottoa heikentää paneelin ja ympäristön lämpötilan nousu. Lämpötilan liiallisen nousun estämiseksi sijainnin valinnassa otetaan huomioon aurinkopaneelien taustan tuulettumisen mahdollisuus. Aurinkosähköjärjestelmän rakenteiden ja vesikaton väliin tulee jättää vähintään 10 cm:n rako, jotta aurinkopaneelien tuuletus toteutuu ja paneelit pysyisivät mahdollisimman viileinä. Aurinkopaneelien ympärillä lämpötila voi nousta jopa monia kymmeniä asteita, mikä heikentää paneelien energiantuottoa merkittävästi. Paneelit ovat yleensä standartoitu 25 °C:n testilämpötilaan. Noin yhden prosentin tuoton aleneminen tapahtuu jo muutaman asteen ylityksellä

standardoidusta lämpötilasta. Lämpötilan vaikutus paneeleihin on paneelityypistä riippuvainen ja vaihtelee eri mallien välillä. Paneelien heikentyvän energiantuoton parantamiseksi rakenteen on oltava hyvin tuulettuva. (Motiva 2024a; Kortetmäki ym. 2023, 54.)

4.2.2 Sijoittelu loivilla katoilla

Aurinkopaneelien sijoittelussa on tärkeää, että paneelit saataisiin suunnattua niin, että auringonsäteet osuvat niihin mahdollisimman pitkään koko päivän ajan (Väre 2020). Aurinkopaneelien sijoittelun suunnittelussa tulee ottaa myös monia muita asioita huomioon, kuten esimerkiksi varjostukset, katon rakenteellinen toimivuus, paloturvallisuus sekä turvallinen liikkuminen katolla.

Loivien kattojen rakenteellinen toimivuus ei saa heikentyä aurinkopaneelien sijoittelun seurauksena. Loivien kattojen veden johtamiseen tarkoitettujen rakenteiden toiminnan tulee pysyä toimivana aurinkosähköjärjestelmän asennuksen jälkeen. Katon vesikatteen pintaan ei saa aurinkopaneelien sijoittelusta syntyä patoutumista tai veden virtaussuuntia, jotka vahingoittavat vedeneristystä. Patoumien ja virtaussuuntaan vaikuttavien painumien estämiseksi sijoittelussa on huomioitava katon kantavien rakenteiden paikat ja pyrittävä hyödyntämään niitä kevyempien rakenteiden sijaan. (Kortetmäki ym. 2023, 110, 111, 115.)

Loiville katoille painoperusteisesti asennettujen järjestelmien painojen sijoittelussa on otettava huomioon katon tuuletus. Lisäpainojen sijoittelu on suunniteltava siten, että katon tuuletus ei heikkene. Lisäpainoista johtuvan kasvaneen pistekuorman alla tuuletusurat voivat puristua kasaan ja näin heikentää katorakenteen tuulettumista. Lisäpainoja ei voida kuitenkaan aina välttää sijoittamasta katon tuuletusrakenteiden päälle, jolloin on varmistuttava siitä, ettei painumia pääse syntymään. Lisäksi lisäpainojen sijoittamista jiirien päälle tulee välttää. (Kortetmäki ym. 2023, 115.)

Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida katolla sijaitsevat erilaiset huoltokohteet. Loivilla katoilla on erilaisia huoltokohteita esimerkiksi

savunpoistoluukkuja, ilmanvaihdon laitteita sekä kattokaivoja. Aurinkopaneelien sijoitus liian lähelle katon huoltokohteita ei ole sallittua. Huoltokohteisiin tulee jättää 1–1,5 m vapaata tilaa, jolloin huoltotoimenpiteet ja kulku sujuvat katolla ilman tarpeetonta kosketusta aurinkopaneelien kanssa. Katolla turvallinen liikkuminen on varmistettava, joten paneelien sijoittaminen on suunniteltava niin ettei liikkuminen hankaloidu. Suunnittelussa otetaan huomioon liikkumiseen käytettävien kulkusiltojen ja muiden kattoturvarusteiden, kuten tikkaiden ja putoamissuojajärjestelmien, paikat. (Kortetmäki ym. 2023, 110; Tampereen Tilapalvelut 2023, 2.)

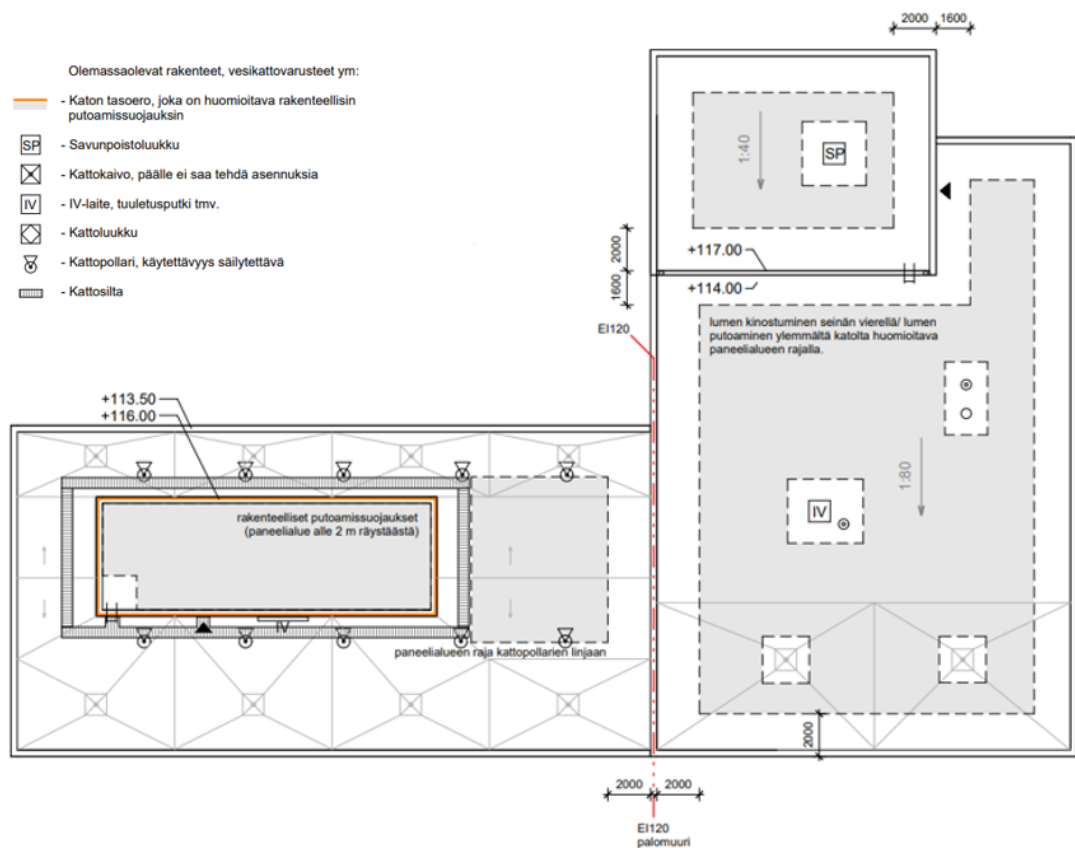
Katon reunan ja aurinkopaneelien rakenteiden tai huoltoreittien välisen huoltoetäisyyden tulee olla vähintään 2 m. Jos aurinkosähköjärjestelmää ei voida asentaa vaaditulle huoltoetäisyydelle katon reunasta, niin paneelien huoltoa varten tulee lisätä asianmukaiset kattoturvatuotteet. Paneelien lisäksi katolla olevien muidenkin huoltotoimenpiteitä vaativien kohteiden, kuten esimerkiksi ilmanvaihtolaitteiden turvallinen huolto tulee säilyttää. Turvallisen huollon varmistamiseksi on kattoturvatuotteita lisättävä, mikäli aurinkosähköjärjestelmän sijoittelu estää huollon suorittamista olemassa olevilla kattoturvatuotteilla. (Kattoliitto ry 2022, 68; Tampereen Tilapalvelut 2023, liite 1.)

Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida paloturvallisuus. Katoilla aurinkopaneelien sijoittelussa palomuurin jätetään vähintään 2,5 m vapaata tilaa, ellei pystysuuntainen palokatko ylety 0,5 m aurinkosähköjärjestelmän osien yläpuolelle. Palomuurien yli menevät aurinkopaneelijärjestelmän osat on palosuojattava niin, etteivät ne vaikuta palo-osaston toimintaan.

Aurinkopaneelijärjestelmän osia ei tule sijoittaa katon alueelle, joka on jaettu osiin vaakasuoralla palokatolla. Suunnitteluvaiheessa on otettava myös selvää, onko katolla alueita, joita joudutaan sahaamaan tulipalotilanteessa auki. Mikäli tällaisia kohtia ilmenee, tulee aurinkopaneelien sijoittelua näihin kohtiin välttää. Aurinkopaneelien sijoittamista rakennuksen ilmanottoaukkojen läheisyyteen ja niiden alapuolelle tulee välttää. Tällä vältetään mahdollisen tulipalotilanteesta aiheutuvan myrkyllisen savun leviäminen rakennukseen. Mikäli paneelien sijoittamista ilmanottoaukkojen läheisyyteen ei voida välttää,

tulisi raitisilmakanavaan lisätä savuun reagoiva palonrajoitin. (Kortetmäki ym. 2023, 111; Pelastuslaitokset 2023, 13, 32–33, 39.)

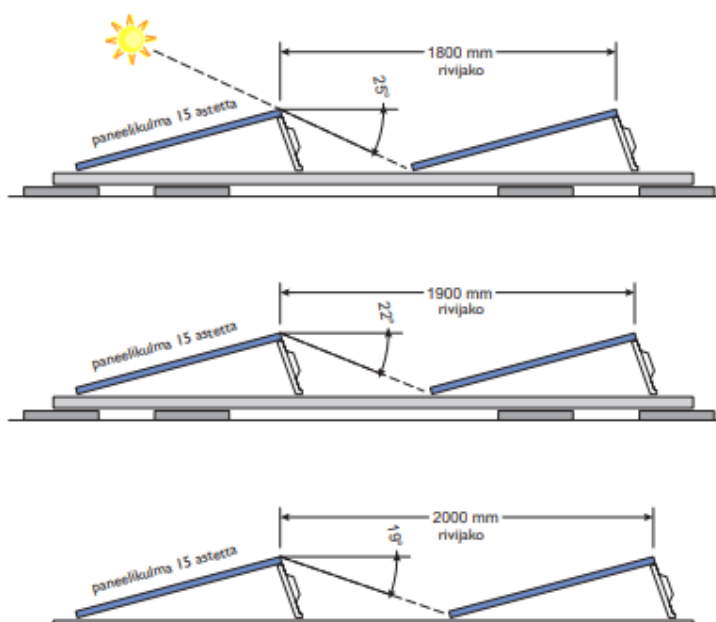
Kuvassa 26 on esitetty esimerkinomaisesti aurinkopaneelialueen rajaukset. Harmaalla katkoviivalla rajattu alue kuvaa aluetta, joihin aurinkopaneelit voidaan sijoittaa. Suurin sallittu paneelikentän koko paneelialueella on 20 x 20 m ja kenttien välisen huoltokäytävän tulee olla vähintään 1,5 m leveä. Paneelikentän osiin jako ei koske kattoja, joiden kate on vähintään A2-s1, d0 -luokan materiaalista valmistettua. (Kortetmäki ym. 2023, 110; Tampereen Tilapalvelut 2023, liite 1.)



Kuva 26. Esimerkki aurinkopaneelialueen rajauksesta (muokattu lähteestä Tampereen Tilapalvelut 2023, liite 1).

Loivilla katoilla useampaan riviin peräkkäin asennetut aurinkopaneelit muodostavat paneelikentän, jossa rivivälit tulee huomioida varjostuksien

estämiseksi (Finnwind 2023). Kuvassa 27 on havainnollistettu loivalle katolle asennetun paneelikentän rivijakoja.



Kuva 27. Aurinkopaneelikentän rivijako loivilla katoilla kulmaan asennettuna (Finnwind 2023).

Aurinkopaneelien tyypillinen rivijako on 1,8 m, jolla vältetään 15°:n kulmaan asennettujen paneelien luomilta varjostuksilta. Paremman tuoton saavuttamiseksi voidaan rivijakoa kasvattaa, mikäli katon tilankäyttö sen sallii. (Finnwind 2023.)

4.2.3 Sijoittelu jyrkillä katoilla

Aurinkopaneelien sijoittelua suunniteltaessa jyrkille katoille tulee huomioida samoja asioita kuin loiville katoille. Katon rakenteellinen toimivuus tulee säilyttää sekä paloturvallisuus huomioida. Jyrkkien kattojen sijoittelussa on lisäksi huomioitava esimerkiksi turvaetäisyydet kattoturvatuotteisiin sekä vesikaton reunoille.

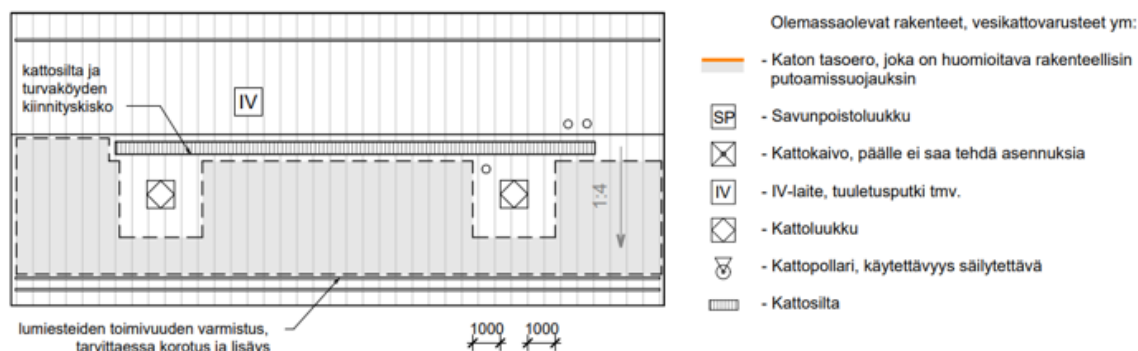
Aurinkopaneelit asennetaan joko vaaka- tai pystysuuntaan, mutta esimerkiksi harjakatoilla paneelit asennetaan tyypillisesti pystysuuntaan. Jyrkillä katoilla

paneelit pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle harjaa kuitenkin huomioiden turvaetäisyydet, jotta voidaan minimoida lumikuormasta tulevia rasituksia. Jos aurinkopaneeleita ei voida sijoittaa lähelle katon harjaa, niin on lumen liukuminen aurinkopaneelien päälle tai jyrkemmässä kulmassa olevien paneelien takasivuja vasten tarvittaessa estettävä lumiesteillä. Lisäksi aurinkopaneelien sijoittamisessa on otettava huomioon, ettei yksikään paneeli olisi varjostuksen alla päivän aikana. Jyrkillä katolla varjostuksia paneeleihin aiheuttavat esimerkiksi savuhormit, ilmastointikanavat ja tikkaat. (Käpylehto 2016, 161; NIBE 2011, 7.)

Aurinkopaneelien sijoittelussa on huomioitava katon huoltotyöt, joita tehdään säännöllisin väliajoin. Huoltotöiden suorittaminen tulee onnistua niin, ettei aurinkopaneelien kanssa jouduta tarpeettomasti kosketuksiin. Paneeleja ei tule asentaa liian lähelle huoltokohteita, ilmanvaihdon putkia tai laitteita taikka antennejä. (Kortetmäki ym. 2023, 110.)

Jyrkillä katoilla olevat kattoturvaluotteet, kuten tikkaat ja kulkusillat, on otettava sijoittelussa huomioon. Niihin tulee jättää 0,3 metrin etäisyys aurinkopaneeleista. Jyrkkien kattojen lumiesteisiin tulisi jättää vähintään 0,8 metrin etäisyys paneelien ja lumiesteiden väliin. Tämä mahdollistaa lumen kertymisen lumiesteiden eteen ja estää sen putoamisen paneelien päältä esteiden yli. Jos aurinkopaneelien sijoitusta riittävän etäälle lumiesteistä ei voida toteuttaa, niin vaihtoehtoisesti lumiesteen korkeutta voidaan kasvattaa. Vesikatton päätyräystästä aurinkopaneelit tulisi sijoittaa vähintään 0,5 metrin etäisyydelle ja katon harjasta 0,3 metrin etäisyydelle. Aurinkopaneelien etäisyys vesikatolla mahdollisesti olevista jiiripohjista tulisi olla vähintään 1,5 m. Kattokaivoihin tai korkeisiin ilmastointi- tai savuhormeihin tulisi jättää etäisyyttä 0,5–1,0 metriä. (Finnwind 2021; Konttila, 2023; Kortetmäki ym. 2023, 110.)

Kuvassa 28 on esitetty aurinkopaneelien sijoittelua jyrkällä katolla. Kuvassa oleva harmaa alue kuvaa katon aluetta, johon aurinkopaneelit voidaan asentaa (Tampereen Tilapalvelut 2023, liite 1).



Kuva 28. Aurinkopaneelien sijoittelu jyrkillä katoilla (muokattu lähteestä Tampereen tilapalvelut 2023, liite 1).

Jyrkilläkin katoilla aurinkopaneelien sijoittelua suunniteltaessa tulee ottaa huomioon rakennuksen paloturvallisuus (Kortetmäki ym. 2023, 110).

Mahdollisten palomuurien yli menevät aurinkopaneelijärjestelmän osat on palosuojattava niin, etteivät ne vaikuta palo-osaston toimintaan.

Aurinkopaneelien tulisi ulottua vähintään 0,5 metriä pystysuuntaisista palokatkoista. Mikäli määritetty korkeussuositus ei täyty, niin suositeltu etäisyys palokatosta tulee olla vähintään 2,5 metriä. Aurinkopaneelijärjestelmän osia ei tule sijoittaa vaakasuoralla palokatolla jaetulle katon alueelle. (Tampereen tilapalvelut 2023, 2, 32.)

4.2.4 Kiinnitysjärjestelmät loiville katoille

Loiville katoille asennettujen aurinkopaneelien kiinnityksessä on tärkeää, että paneelit saadaan asennettua tukevasti paikoilleen (Kortetmäki ym. 2023, 111).

Aurinkopaneelien asennusjärjestelmään kohdistuu kinostumisesta aiheutuvia lumikuormia, normaaliolosuhteen lumikuormia ja tuulikuormia, joita vastaan ne tulee kiinnittää tukevasti paikoilleen. Loivilla katoilla pyritään tekemään vesikatteeseen mahdollisimman vähän läpivientejä, vesitiiveyden varmistamiseksi. Asennuskohteissa, joissa läpivientejä joudutaan tekemään, tulee ne tiivistää tyyppihyväksytyin läpivientikappalein. (Tampereen Tilapalvelut

2023, 1, 3.) Kiinnitysjärjestelmät määräytyvät aina tapauskohtaisesti eri asennuskohteiden mukaan (Kortetmäki ym. 2023, 115).

Aurinkopaneelien kiinnityksessä pitää huomioida sadeveden virtaussuunnat ja varmistaa, ettei vesi pääse patoutumaan katolle paneeliasennuksien takia. Sadeveden esteettömän virtauksen ja katon puhtaanapidon takia tulisi paneelien kiinnitysjärjestelmän ja vesikaton väliin jättää vähintään 10 cm:n rako. (Kortetmäki ym. 2023, 111.)

Loiville katoille on olemassa erilaisia kiinnitysjärjestelmiä ja kiinnitysmenetelmiä. Yleisimmät aurinkopaneelien kiinnitysmenetelmät loiville katoille ovat painoperusteinen asennus eli niin sanottu kelluva asennus ja mekaaninen asennus, jossa kuormat ohjataan katon kantaville rakenteille (Kingspan 2022). Kelluva asennus on näistä kahdesta yleisempi asennustapa loiville katoille (Energio 2024). Aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmää valittaessa kannattaa huomioida niiden asennustekniikka, jotta asennusaikainen työskentely helpottuisi. Katon katevalmistajien mahdolliset edellytykset kiinnitysjärjestelmään on otettava myös huomioon, sillä katevalmistajilla saattaa olla edellytyksiä tiettyjen kiinnitysjärjestelmien käyttöön. (Kortetmäki ym. 2023, 111.)

Kelluvan asennuksen kiinnitysjärjestelmässä käytetään betonilaattoja, jotka tukevat paneelit tukevasti asennettavaan alustaan. Kiinnitysjärjestelmä ei vaadi läpivientien tekoa kattorakenteeseen, eikä se tämän vuoksi muodosta kattorakenteeseen kylmäsiltoja eikä vedeneristystarpeita. Kelluvassa asennuksessa betonilaatat nostavat katolle tulevan kuormituksen määrää, jolloin on aina tarkastettava kattorakenteen kantavuus ja eristeen puristuslujuus. Kattorakenteen vaurioiden ehkäisemiseksi, kiinnitysjärjestelmä tulee asentaa niin, ettei se pääse liikkumaan katolla tuulen ja lumen vaikutuksesta. (Kingspan 2022.)

Mekaaninen kiinnitys loivilla katoilla tapahtuu esimerkiksi erilaisilla kiinnitysaloilla tai kiinnityslaipoilla, jotka kiinnitetään kantavaan rakenteeseen. Kiinnitysaloilla toteutetussa kiinnitysjärjestelmässä metalliset kiinnitysjalat

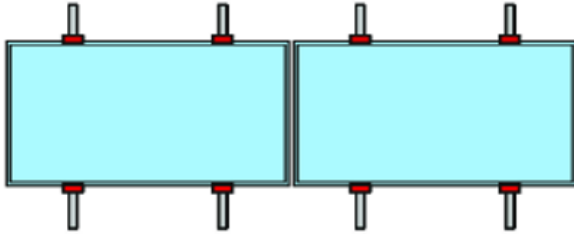
ankkuroidaan katon kantavaan rakenteeseen, jolloin kuormitus ei aiheuta katolle rasiutusta. Kiinnitysaloilla toteutetun asennuksen etuna on, ettei se kuormita vesikattoa eikä muodosta vesikatteeseen painumia, jolloin sadevedet pääsevät virtaamaan oikealla tavalla. Kiinnitysaloilla toteutettu kiinnitysjärjestelmä on myös helposti huollettavissa ja helpottaa katon pitämistä puhtaana, sillä paneelit ja niitä tukeva runko on yleensä irti katosta. Kiinnitysjärjestelmän haittana on mahdollisten kylmäsiltojen muodostuminen kattorakenteeseen ja erillisten vedeneristystöiden tekeminen. Kiinnitysjalat läpäisevät vesikaton aina kantavaan rakenteeseen asti, jolloin vaaditaan erillisiä tiivistysmenetelmiä tehtyjen läpivientien kohdista. (Kingspan 2022.)

Kiinnityslaipoilla toteutettu aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmä voidaan toteuttaa ankkuroimalla laipat kantavaan rakenteeseen eli mekaanisesti kiinnitettynä tai vaihtoehtoisesti hitsaamalla laipat bitumikermien väliin. Kiinnityslaipat asennetaan vedeneristekerroksen esimerkiksi bitumikermin päälle ja kiinnityslaippojen päälle asennetaan vielä toinen vesieristekerros samasta materiaalista. Ankkuroimalla kiinnityslaipat mekaanisesti saadaan kuormat ohjattua suoraan kantavaan rakenteeseen. Kun kiinnityslaipat kiinnitetään hitsaamalla bitumikermien väliin, niin on otettava huomioon eristekerroksen puristuslujuus painumien välttämiseksi. (Kingspan 2022.)

Kiinnitysjärjestelmä voidaan toteuttaa loivilla katoilla myös liimaamalla aurinkopaneelien asennustelineet vesikatemateriaaliin sopivalla liimalaipalla. Liimaamalla toteutettua asennusta voidaan pitää kelluvan ja kiinteän asennuksen välimuotona. Liimalaippa asennetaan myös bitumikermien väliin, jolloin painoperusteisten kelluvien kiinnitysjärjestelmien aiheuttamia lisäkuormituksia saadaan huomattavasti kompensoitua vähentämällä betonilaattojen määrää. Kiinnitysjärjestelmä voidaan kiinnittää mekaanisesti kattorakenteeseen tai asentaa kahden bitumikermikatteen väliin. (Kortetmäki ym. 2023, 115.)

Nykyisen ohjeistuksen mukaisesti aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta, jolloin niiden kuorman kantavuus paranee. Vuonna 2020 julkaistu

standardi SFS-EN IEC 62938 edellyttää aurinkopaneelin kiinnittämistä niiden pitkältä sivulta, kuvan 29 mukaisesti. (Finnwind 2020b).



Kuva 29. Kiinnitys pitkältä sivulta neljästä pisteestä eli nelipistekiinnitys (muokattu lähteestä Finnwind 2020b).

Pitkältä sivulta kiinnitettyjen telinerakenteiden kantavuus on $5,4 \text{ kN/m}^2$, joka kestää hyvin loivien kattojen lumikuormituksen. Kinostumisesta aiheutuvat lumikuormat tulee kuitenkin tarkastaa, sillä ne voivat kasvaa suuriksi katon korkeuseroja aiheuttavien elementtien, kuten esimerkiksi IV-konehuoneen lähetyvillä. Lumikuormat tulee tarkastaa aina tapauskohtaisesti, jotta aurinkopaneelit sekä katto kestävät niille tulevan kuormituksen. (Finnwind 2018; Finnwind 2024.)

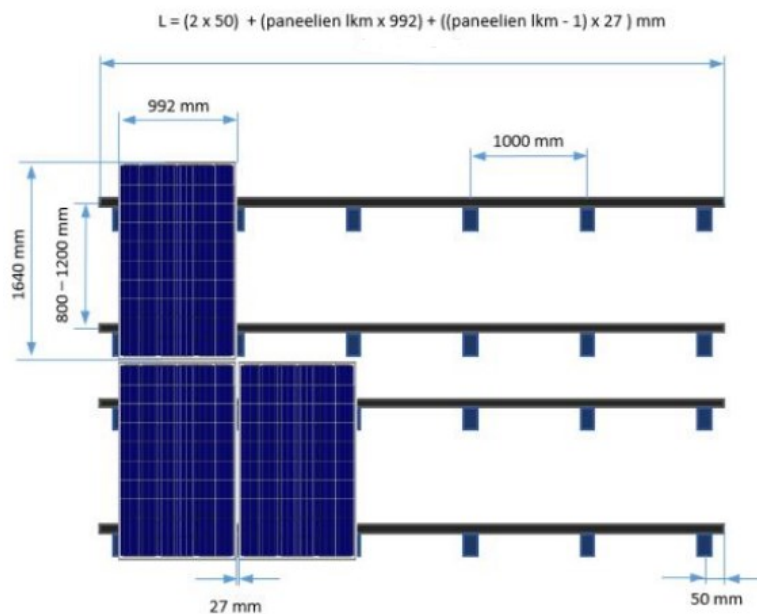
4.2.5 Kiinnitysjärjestelmät jyrkille katoille

Jyrkkien kattojen kattotyypeille on omat kiinnitysjärjestelmät, joiden avulla aurinkopaneelit saadaan asennettua tukevasti katolle (Motiva 2024a). Kiinnitysjärjestelmiin kuuluvat tyypillisesti asennustelineet sekä eri kattotyyppien mukana olevat kattokiinnikkeet. Jyrkillä katoilla käytetään usein katemateriaalina kone- tai lukkosaumattua peltikatetta, tiilikatetta tai erilaisia aalto- ja profiilipeltikatteita. (Käpylehto 2016, 161–163.) Jyrkillä katoilla kattokiinnikkeet kiinnitetään yleensä mekaanisesti joko katemateriaaliin tai katon tukirakenteisiin kattomateriaalin mukaan. Kone- ja lukkosaumakatoissa kiinnikkeet asennetaan katteen saumoihin ja tiili-, huopa- sekä

profiilipeltikatteissa kiinnikkeet kiinnitetään vesikatteen läpi kattotuoleihin tai muuhun kantavaan rakenteeseen. Kiinnitysjärjestelmät määräytyvät aina tapauskohtaisesti. (Aurinkovirta 2023.)

Katemateriaalista riippumatta aurinkopaneelien asennuksissa on tärkeintä tukeva kiinnitys katolle sekä mahdollisissa läpivienneissä katemateriaalin käyttöön pituinen vesitiiveys. Markkinoilla on tarjolla runsaasti erilaisia kiinnikevaihtoehtoja. Sadevesien esteettömän virtaamisen varmistamiseksi sekä lumen ja jään kertymisen estämiseksi tulisi vesikaton pinnan sekä aurinkopaneelien telineen väliin jäädä vähintään 10 cm:n tila, joka tulee ottaa huomioon suunniteltaessa kiinnitysjärjestelmää. (Kortetmäki ym. 2023, 111.)

Jyrkillä katoilla kiinnitysjärjestelmän asennustelineet asennetaan yleensä 800–1 200 mm jännevälillä riittävän asennuslujuuden saavuttamiseksi. Tyypillinen kattokiinnikkeiden jako on 900–1 200 mm (kuvassa 1 000 mm) ja etäisyys asennustelineiden reunasta 50 mm. Kuvassa 30 on havainnollistettu jyrkän katon tyypillistä kiinnitysjärjestelmää. (Flinkenberg 2018.)



Kuva 30. Aurinkopaneelien mekaanisen mitoituksen havainnekuva (muokattu lähteestä Flinkenberg 2018).

Kone- ja lukkosaumatuilla peltikatoilla kiinnikkeet asennetaan tyypillisesti kattolevyjen pystysaumoihin, jolloin katteeseen ei tarvitse tehdä reikiä. Pystysaumoihin tulevat kiinnikkeet valitaan sauman korkeuden perusteella. Kiinnikkeissä on puristin, joka kiristyy sauman alapuolelle ja siten lukittuu pystysuunnassa. Puristin tuo pitoa, joka estää kiinnikkeen nousemista pois saumasta. Kiinnikkeissä on yleensä kiinteät pultit, jotka kiristetään myötörajaan saakka. Kiinnikkeitä asennetaan saumoihin noin metrin välein. Katemateriaalin valmistajan mukaan pelti voi olla joskus niin ohutta, että kate ei kestä aurinkopaneelien sekä tuuli- ja lumikuorman tuomaa kuormitusta. Tässä tapauksessa paneelikenttien päätyihin on mahdollista asentaa lisäkiinnikkeitä, koska tuulikuorma vaikuttaa eniten päädyissä. Lisäkiinnikkeet ankkuroidaan vesikatteen läpi kiinni kantavaan rakenteeseen, jolloin on huolehdittava myös asianmukaisesta tiivistämisestä. (Aurinkovirta 2023; Kortetmäki ym. 2023, 112; Käpylehto 2016, 162.)

Profiilipeltikatteilla kiinnitysjärjestelmän rungon kiinnikkeet ruuvataan vesikatteen läpi ruoteisiin tai kattokannattajiin. On tärkeää varmistaa, että kiinnikkeen ja katon välinen kohta sekä katteen lävistävä ruuvi tiivistetään huolellisesti ja kestävästi vesitiiviiksi. Katon ja kiinnikkeen välinen tiiveys voidaan varmistaa niiden väliin liimattavalla tiivistysnauhalla tai tiivistysprikalla. Lisäksi ruuvien kohdalla on tärkeää käyttää tiivistysmassaa, jotta kosteus ei pääse johtumaan ruuvien kautta rakenteisiin. Kiinnikkeet asennetaan kuvioidun profiilin alakohtaan. Jos käytetään kaarevia aaltokuviopeltejä, niin kiinnikkeen pohjan tulee olla myös kaareva, jotta se istuu tasaisesti, tukevasti sekä vedenpitävästi pellin päälle. (Kortetmäki ym. 2023, 112–113.)

Kaikille profiilipeltimalleille ei välttämättä ole saatavana omaa kiinnikettä, jolloin profiilipeltikatteilla voidaan käyttää myös ankkuripultteja, jotka kiinnitetään kattotuoleihin asti ruodelaudan sekä kattotuolin yläpaarten risteyksestä. Ankkuripultin yläosassa kahden mutterin välissä on säädettävät alumiiniset yleiskiinnityslevyt, johon aurinkopaneelien runko kiinnitetään. Ankkuripultin lävistäessä profiilin, on tiivistämiseen käytettävä kumitulppia sekä tiivistemassaa. Käytettäessä ruuveja tai ankkuripultteja, niin tulee kiinnitys

tapahtua kattotuolin yläpaarten kohdalta, jotta välttyään aluskatteen lävistämiseltä. Ankkuripulttien yhteydessä käytetään usein yleisadapteria, jonka avulla aurinkopaneelien telineet saadaan tukevasti kiinnitettyä. (Aurinkovirta 2023.)

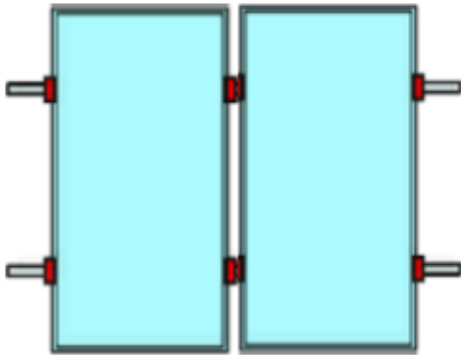
Asennettaessa aurinkopaneeleja tiilikatoille on tärkeää huomioida paneelien päälle kertyvästä lumikuormasta aiheutuva rasitus kattopinnalle, koska huolimattomasti tehty kiinnitys voi rikkoa paneelien alla olevia tiiliä, mikä saattaa johtaa kosteusvaurioihin. Tiilikattojen kiinnitysjärjestelmiin tulevat kuormat tulisi ohjata yläpohjan kantaviin rakenteisiin. Kiinnityksen tulisi tapahtua katon tukirakenteisiin ilman, että vaarannetaan vesitiiveyttä. Kiinnikkeiden asennuksessa yksittäiset tiilet otetaan hetkellisesti irti, jotta kiinnikkeet voidaan ruuvata tiilien alla oleviin ruoteisiin. Kun kiinnike on paikoillaan, voidaan tiili asettaa takaisin paikoilleen, jolloin kiinnikkeen yläosa jää näkyviin tiilen pinnalle. On tärkeää varmistaa kiinnikkeen tasainen asettuminen tiilen pinnalle, jotta kuorma jakautuisi mahdollisimman laajalle pinta-alalle. Tiili voi rikkoutua esimerkiksi siihen kohdistuvien kuormitusten takia, jos kiinnikkeestä tuleva kuorma osuu pistemäisenä tiilen pinnalle. Kiinnikevalmistaja määrittää, kuinka tiheästi kiinnikkeitä tulee asentaa. (Kortetmäki ym. 2023, 114.)

Bitumikatoilla tulisi välttää läpäiseviä kiinnityksiä, mutta etenkin jyrkillä katoilla joudutaan kiinnitysrauta lähes poikkeuksetta kiinnittämään mekaanisesti vesikatteen läpäisevillä kiinnikkeillä jyrkkyyden ja katolle tulevien kuormitusten takia. Tällöin joudutaan kiinnittämään erityistä huomiota katon, kiinnikkeen ja ruuvien vesitiiveyteen. Kiinnitykseen käytettävät ruuvit kiristetään kiinnikkeen, tiivisteiden sekä katteen läpi alla olevaan kantavaan rakenteeseen. Bitumikatteen lävistävien kiinnikkeiden päälle on asennettava saman luokan vedeneristeet kuin alla oleva vesikatekin on. (Kortetmäki ym. 2023, 113.) Kiinnitysruuvien tilalla voidaan käyttää myös ankkuripultteja. Ankkuripultin pituus määräytyy katon rakenteiden mukaan, mutta bitumikatteilla käytetään tyypillisesti 200 mm:n pituisia ankkuripultteja, koska bitumin ja kattotuolin välissä on useasti vain 20–30 mm:n vaneri tai puukerros. (Aurinkovirta 2023.)

Jyrkillä bitumikatoilla mekaaninen kiinnitys voidaan toteuttaa myös L-rautaa muistuttavilla kulmakiinnikkeillä, joita asennetaan noin metrin välein.

Kiinnitykseen käytetään kateruuveja ja välissä tiivisteenä tiivistenauhoja- tai priikkoja sekä tiivistemassaa. (Flinkenberg 2018.)

Nykyisen ohjeistuksen mukaisesti aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta, jolloin niiden kuorman kantavuus paranee (Finnwind 2020a). Kuvassa 31 on esitetty jyrkällä katolla pystysuuntaan asennettujen aurinkopaneelien pitkän sivun kiinnitys eli nelipistekiinnitys. (Finnwind 2021).



Kuva 31. Nelipistekiinnitys aurinkopaneelien pitkältä sivulta (muokattu lähteestä Finnwind 2021).

Nelipistekiinnityksen ansioista paneeleille saadaan parhain mahdollinen kantavuus. Nelipistekiinnitys paneelien pitkältä sivulta riittää Suomen olosuhteisiin lumikuorman kantavuuden osalta. Lumikuormat tulee kuitenkin aina tarkastaa tapauskohtaisesti, jotta aurinkopaneelit sekä katto kestävät niille tulevan kuormituksen. (Finnwind 2020a; Finnwind 2020b.)

4.3 Turvallisuusnäkökohdat

Aurinkopaneelien turvallinen asennus katolle tapahtuu laadukkaana suunnittelun, laadukkaista komponenteista toteutetun ja oikealla tavalla asennetun työn seurauksena. Aurinkopaneelien asennukseen katolle on kuitenkin olemassa

myös turvallisuusnäkökohdista tarkasteltavia asioita, joista merkittävimpiä ovat paloturvallisuus ja pelastushenkilöstön työturvallisuus. (Tukes 2024; Motiva 2024a.)

Paloviranomaisten julkaisemat paloturvallisuuden suositukset ja velvoitteet tulisi ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Pelastuslaitoksen vuonna 2023 julkaistussa aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeessa on kattavasti tietoa aurinkosähköjärjestelmiin vaikuttavista paloturvallisuusasioista (Kortetmäki ym. 2023, 23). Ohjeen tarkoitus on kertoa riskeistä aurinkosähköjärjestelmään liittyen. Ohjeessa on kattavasti kuvattu riskeihin liittyvät turvallisuusmääräykset ja turvallisuusohjeet. Ohjeessa annetaan myös pelastushenkilöstön näkemyksiä pelastustoiminnan mahdollistamiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi aurinkosähköjärjestelmällisissä rakennuksissa. (Pelastuslaitokset 2023, 3.) Ohje on tällä hetkellä kattavin lisäohjeistus aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuteen liittyen ja ohjeen sisäistäminen aurinkosähköhankkeeseen ryhtyvälle on suositeltavaa (Kortetmäki ym. 2023, 23).

4.3.1 Paloturvallisuus

Aurinkosähköjärjestelmät ovat sähköjärjestelmiä ja niihin liittyy paloturvallisuusriskejä samalla tavalla kuin muihinkin sähköjärjestelmiin. Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat tulipalot ovat harvinaisia ja tulipalojen syttyessä syynä on usein muut tekijät kuin itse aurinkosähköjärjestelmä. Merkittävimpiä tulipaloja aiheuttavia tekijöitä syntyy suunnittelu- ja asennusvirheistä sähköturvallisuuden laiminlyöntiin liittyen. (Motiva 2024a.) Väärin mitoitetut sähköjohtimet ja sulakkeet, riittämätön laatu ja yhteensovituksen puutteet asennuksissa sekä sähköliitosten heikko toteutus ovat yleisimpiä syitä aurinkosähköjärjestelmien syttymisille (Kortetmäki ym. 2023, 20).

Paloturvallisuuden näkökulmasta aurinkopaneelien asennus katolle ei yleensä johda erityistoimenpiteisiin (Jantunen 2017). Rakennuksen paloturvallisuuden

tekniset vaatimukset, kuten esimerkiksi osastoitavuus eivät kuitenkaan saa heikentyä aurinkopaneelien asennuksen seurauksena (Kortetmäki ym. 2023, 20). Maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132, 17:117b) on määritelty, että rakennuksen rakentamisessa käytettävät teknisten laitteiden on oltava paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennukseen. Suunnitteluvaiheessa onkin tärkeää huomioida, ettei rakennuksen paloturvallisuus heikenny miltään osin. Suunnitteluvaiheessa paloturvallisuuden säilyttämiseksi huomioon on otettava esimerkiksi rakenteiden kantavuus, osastoitavuus sekä eristävyys. (Kortetmäki ym. 2023, 20.) Velvoittavat vaatimukset aurinkosähköjärjestelmän paloturvallisuutta koskien perustuvat maankäyttö- ja rakennuslakiin (132/1999) ja sen nojalla annettuun ympäristöministeriön asetukseen rakennusten paloturvallisuudesta (848/2017) ja sen muutosasetukseen (927/2020) (Pelastuslaitokset 2023, 20.)

Suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon tulipalotilanteessa pelastushenkilöiden hyökkäysreitit rakennukseen (Kortetmäki ym. 2023, 20). Aurinkopaneelien paloturvallinen sijoittelu kohdan 4.2.2 ja 4.2.3 mukaan.

Kiinteistöstä tulee löytyä tiedot asennetusta aurinkosähköjärjestelmästä. Tärkeää tietoa on esimerkiksi, miten järjestelmän eri osat voidaan kytkeä pois päältä palotilanteessa. Aurinkosähköjärjestelmän tiedot tulee löytyä tieto-/kohdekortista, joka luodaan paikallisten ohjeistuksien mukaan. Ohjeistuksen tieto-/kohdekorttiin saa paikalliselta pelastusviranomaiselta. Tiedot aurinkosähköjärjestelmästä tulee olla järjestelmän keskuslaitteen, invertterin, jakokeskuksen, sähköpääkeskuksen tai kiinteistön erillisen paloilmoitintilan välittömässä läheisyydessä. (Kortetmäki ym. 2023, 20.)

Viimeaikaisten tutkimuksien pohjalta on tehty havaintoja, kuinka palo etenee katoilla, joihin on asennettu aurinkopaneeleja. Varsinkin jyrkillä katoilla, joilla aurinkopaneelit ovat asennettu katon suuntaisesti, muodostuu katon ja paneelikentän väliin ontelorakenne, jossa tulipalo voi levitä hallitsemattomalla tavalla. Tätä ilmiötä kutsutaan hormi-ilmiöksi. Aurinkopaneelien ja katon etäisyydellä toisiinsa on havaittu olevan yhteys palon leviämiseen. Mitä suurempi paneelien ja katon välinen etäisyys on, sitä hitaampaa palon

leviäminen on. Suunnitteluvaiheessa pelastusviranomaisten vaatimukset hormivaikutuksista tulee selvittää varsinkin kattomateriaalin ollessa helposti palavaa. Suunnittelussa paneelien ja katon etäisyyttä kasvatettaessa on kuitenkin huomioitava esimerkiksi kasvavan tuulikuorman vaikutus, joka kohdistuu aurinkopaneelijärjestelmään. Markkinoilla olevilla asennusjärjestelmillä on erilaisia telineratkaisuja, jotka ottavat näitä asioita huomioon. Lähtökohtaisesti on suositeltavaa käyttää valmistajien tarjoamia vakioratkaisuja. (Kortetmäki ym. 2023, 21, 27.)

Aurinkosähköjärjestelmiä asennetaan erilaisiin rakennuksiin. Erilaisiin rakennuksiin asennettavat aurinkosähköjärjestelmät voivat aiheuttaa erityyppisiä paloriskejä. (Pelastuslaitokset 2023, 11.) Ympäristöministeriön asetuksen mukaan rakennuksen paloturvallisuudesta (2017/848, 1:4) rakennukset jaetaan neljään eri paloluokkaan, jotka ovat P0, P1, P2 ja P3. Aurinkosähköjärjestelmien rakennuksiin mahdollisesti aiheuttamat tulipaloriskit vaihtelevat rakennustyypeittäin ja paloluokittain. Pelastuslaitoksen luomassa paloturvallisuusohjeessa löytyy tietoa paloluokittain aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamista paloriskeistä ja riskeihin varautumisesta. (Pelastuslaitokset 2023, 12.)

4.3.2 Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa

Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuden parantaminen ei aina ole kovin yksinkertaista mutta siihen voidaan vaikuttaa laadukkaalla suunnittelulla (Tukes 2024). Seuraavaksi on lueteltu suunnitteluvaiheessa huomioitavia asioita aurinkosähköjärjestelmän paloturvallisuuden ja pelastushenkilökunnan turvallisuuden parantamiseksi.

Suunnitteluvaiheessa aurinkopaneelikenttien sijoittelu ja rajaaminen sammutustöiden mahdollistamiseksi lukujen 4.2.2 ja 4.2.3 mukaan. Suurille paneelikentille tulisi suunnitella palon sammutuksen mahdollistamiseksi rajoituslinjoja, joihin palo saataisiin pysähtymään (Pelastuslaitokset 2023, 32).

Rajoituslinja tarkoittaa kohtaa, johon palo pyritään rajaamaan (Ala-Kokko ym. 2022, 150).

Aurinkosähköjärjestelmä tulee suunnitella niin, että se noudattaa samaa paloturvallisuussyistä tehtyä osiin jakoa kuin kattopinnat. Kattopinnan osiin jako ei saa heikentyä aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena. (Pelastuslaitokset 2023, 32.)

Katon kaltevuuden ollessa niin loiva, että se mahdollistaa sammutusveden lammikoitumisen, tulee katolle suunnitella kulkusilloja. Kulkusillat suunnitellaan materiaalista, joka ei johda sähköä. Kulkusiltojen tulee olla vähintään 900 mm leveät ja 300 mm irti vesikatosta. Kulkusilloilla parannetaan pelastushenkilöstön turvallisuutta sähköiskun vaaralta. (Pelastuslaitokset 2023, 33.)

Suuria aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa tulee sammutusveden saanti ottaa huomioon. Sammutusvesi tulee olla saatavilla vähintään 40 m:n päästä paneelikentän kauimmaisesta pisteestä. Erillisten sammutusvesiputkistojen suunnittelua voidaan miettiä tarpeen mukaan sammutusveden riittävän saannin varmistamiseksi. (Pelastuslaitokset 2023, 41.)

Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää kohteeseen, jossa katemateriaali ei ole palamatonta materiaalia, tulee aurinkopaneelien rungon mahdollinen sulaminen huomioida tulipalotilanteessa. Sulavasta rungosta tippuvat pisarat eivät saa levittää paloa. Tämä tulee estää esimerkiksi palamattomalla alustalla tai pyrkimällä sijoittamaan paneelit niin, ettei pisarointi levitä paloa tai vaikuta sen etenemiseen. (Pelastuslaitokset 2023, 29.)

Suunniteltaessa laajan pinta-alan täyttävää aurinkopaneelikenttää, jossa aurinkopaneelit ovat palavatarvikkeisia, voidaan ne tulkita palavina kattopintoina. Tällöin paneeleille tulee vaatimuksia rakennuksen paloturvallisuudesta ympäristöministeriön asetuksen mukaan. (YMa 848/2017 ja YMa 927/2020, 25 §, 26 §, 28 § ja taulukko 8 sekä YMa perustelumuuksio sivu 30) (Pelastuslaitokset 2023, 29.)

Aurinkosähköjärjestelmien eri opasteiden ja merkintöjen paikat tulee suunnitella kohtiin, joista on kulku katolle. Opasteet ja merkinnät tulee sijoittaa tikkaiden, ulkoportaiden sekä kaikkien katolle johtavien reittien läheisyydessä.

Turvakytkimien sijaintipaikat tulee lisätä kohdekorttiin. Kohteessa sijaintipaikat opastetaan heijastavin kyltein. (Pelastuslaitokset 2023, 28.)

4.4 Katon huolto ja seuranta

Katto teknisenä rakenteena vaatii huoltoa ja seurantaa, jotta se kestävä sille suunnitellun käyttöikänsä ongelmitta. Ensisijaiset kattojen toimivuuteen vaikuttavat tekijät tulevat niiden rakennusvaiheessa. Oikeanlaisella toteutuksella ja kattoratkaisuilla varmistetaan vesikaton onnistunut toteutus. (Kattoliitto ry 2022, 101.)

Yksittäisten kattojen elinikä vaihtelee eri kattojen välillä suuresti. Kattojen elinikä riippuu monista eri tekijöistä esimerkiksi tuotteen ominaisuuksista, asennusolosuhteista, sääolosuhteiden vaikutuksesta, asennustyöstä ja huollosta. (Kattoliitto ry 2022, 48.)

Säännöllisellä kaksi kertaa vuodessa suoritettavilla kattotarkastuksilla ja mahdollisilla huolloilla varmistetaan kaikkien kattojen toimivuus niin kuin ne on suunniteltu toimivaksi kaikilta osiltaan (Kattoliitto ry 2022, 68).

Katolle, johon aurinkopaneelit tullaan suunnittelemaan sekä katoilla, joihin paneelit on jo asennettu, tulee katon huollon onnistua ongelmitta. Katon huoltoa helpottaa suunnitteluvaiheessa hyvin suunniteltu aurinkopaneelien sijoittelu ja hyvin toteutettu asennus. Aurinkopaneelien hyvin suunnitellulla sijoittelulla, huollon ja seurannan toteutus on helpompaa, sillä katolla kulkeminen sekä kattoturvatuotteet on huomioitu sijoittelun yhteydessä. Kattojen huolto kuitenkin vaikeutuu aurinkopaneelien asennuksen seurauksena, sillä paneelit ovat yleensä lähellä kattopintaa ja näin vaikeuttavat esimerkiksi irtoroskien poistamista niiden alta. (RoofFin 2023.)

Suunnitteluvaiheessa tulee katon kunto arvioida ja huoltotoimenpiteet toteuttaa niin, että katon käyttöikä vastaa aurinkopaneelien käyttöikää, eikä suurempia remonttitarpeita syntyisi (RoofFin 2023; Kortetmäki ym. 2023, 109).

Kattoliitto on luonut katon huoltoon eri katemateriaaleille tarkoitetut huolto-ohjeet, joiden avulla katon huolto ja tarkastukset on helppo toteuttaa säännöllisesti sekä asianmukaisesti. Huolto-ohjeiden avulla huolto ja tarkastukset tulevat myös dokumentoitua oikein. (Kattoliitto ry 2022, 101.)

4.5 Aurinkopaneelien huolto ja seuranta

Aurinkopaneelit ovat teknisiä laitteita ja tarvitsevat huoltoa ja seurantaa. Kun aurinkopaneelijärjestelmä on asennettu oikein, niin sen pitäisi lähtökohtaisesti toimia ilman jatkuvaa ylläpitoa. Huolto ja kunnossapitosuunnitelman laatiminen aurinkopaneeleille on suositeltavaa. Paneeleista tulevaa tuotantoa on kannattavaa seurata säännöllisesti, koska muutokset tuotannossa saattaa kertoa esimerkiksi paneelien rikkoutumisesta, kaapelivaurioista tai roskien kerääntymisestä paneelien päälle. (Käpylehto 2016, 170; Motiva 2024a.) Lisäksi mahdollinen pinttynyt lika, jota sade ei enää huuhtelee pois, tulee poistaa aurinkopaneelien pinnalta. Puiden oksat ja lehdet on myös syytä poistaa, koska ne luovat varjostuksia ja estävät paneelien parhaan mahdollisen toiminnan. (Motiva 2024a.)

Aurinkopaneelien huolto pitää sisällään myös silmämääräisen tarkistuksen, jossa havaitaan mahdolliset paneeleissa olevat poikkeamat, kuten säröt lasissa, laminoinnin purkautuminen, irronneet kiinnikkeet ja johdotukset tai väripoikkeamat (RT 103076, 2019). Aurinkopaneelien pinnalla mahdollisesti olevaa likaa ei saa raaputtaa paneelin pinnalta pois, vaan lika tulee huuhdella lämpimällä vedellä tai alkoholipohjaisella lasinpesuaineella. Pinttynyt ja sitkeä lika pyyhitään talouspaperilla tai sienellä. (Q-Cells 2016.)

Aurinkopaneelien säännölliseen vuositarkastukseen kuuluvat muun muassa seuraavat tarkastukset:

- aurinkopaneelien kunnon tarkistus
- tarkistus, että paneelit ovat tukevasti kiinni kiinnikkeissään
- vesien poisjohdatusten toimivuuden tarkistus
- kattoon mahdollisesti tehtyjen läpivientien tarkastus mahdollisuuksien mukaan sisä- ja ulkopuolelta
- invertterin ja mahdollisten varoitusvalojen toiminnan tarkastus; käynnistetään invertteri tarvittaessa uudelleen
- kytkimien, liittimien sekä muiden komponenttien tarkistus mahdolliselta ylikuumentumiselta tai kosteudelle altistumiselta
- tarkistus, että kaapelit ovat ehjiä ja paikoillaan
- vuosittaisessa aurinkosähköjärjestelmän mittauksessa selviää, onko järjestelmässä heikkenemää
- suojalaitteiden ja kytkimien varmistus
- aurinkopaneelivalmistajan muut vaaditut huoltotoimenpiteet, jotta takuuehdot säilyvät.

Hyvin tehdyillä vuositarkastuksilla ja huolloilla aurinkopaneelien ennakoitu käyttöikä voidaan mahdollistaa. Vuositarkastuksessa voidaan käyttää apuna Motivan laatimaa aurinkosähköjärjestelmän vuosihuoltosuunnitelmaa. (Kortetmäki ym. 2023, 165; Motiva 2024a.)

Talvella aurinkopaneelien päälle satanutta lunta ei yleensä ole kannattavaa poistaa, koska lumen poiston yhteydessä on riskinä paneelien vaurioituminen sekä henkilövahinkojen aiheutuminen. Lisäksi talvella auringonsäteily on vähäistä, joten paneelien tuotanto on myös vähäisempää. Kun keväämmällä aurinko alkaa taas paistamaan, niin lumi sulaa sekä valuu itsestään pois paneelien pinnoilta. Kattorakenteiden mitoitus voi kuitenkin vaatia, että lumet on talvisin poistettava aurinkopaneelien ja katon päältä. Tällöin lumien poisto on mahdollista, kun noudatetaan erityistä huolellisuutta sekä varovaisuutta. (Motiva 2024a; Mäkinen, L 2019.)

Monissa lakiasetuksissa ja määräyksissä on määritelty rakennusta koskevia vaatimuksia sekä velvoitteita, jotka pitää huomioida aurinkosähköjärjestelmän

huoltamisessa. Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määrätty, että rakennus ja sen ympäristö tulee pitää sellaisessa kunnossa, että sen turvallisuus, terveellisyys sekä käyttökelpoisuuden vaatimukset täyttyvät jatkuvasti (Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999/132, 22:166). Sähköturvallisuuslaissa määritellään sähkölaitteistoluokituksen mukaan määräaikaistarkastukset ja kunnossapidon velvoitteet sähkölaitteistoille, joista laitteiston haltija on vastuussa (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135, 3:44, 3:47–50). Lisäksi pelastuslaissa on määritelty, että rakennuksen omistajan tulee huolehtia rakennuksesta ja sen ympäristöstä, jotta vaara tulipalon syttymisestä on vähäinen (Pelastuslaki 2011/379, 3:9).

Aurinkosähköjärjestelmien invertterien vaihto 10–30 vuoden päästä asennuksesta kuuluu suurimpiin järjestelmän huoltotoimenpiteisiin. Invertterit uusitaan yleensä kertaalleen aurinkopaneelien käyttöiän aikana. (Kortetmäki ym. 2023, 165.)

Standardin SFS-EN IEC 62446-2 (taulukko 3) antaa myös kattavan listan tarkastustehtävistä aurinkosähköjärjestelmän tarkastuksille. Standardi ei kuitenkaan määritä kunnossapidon ja tarkastuksen väliaikojen pituuksia. (SFS-EN IEC 62446-2 2020, 13.) Lisäksi standardin osassa IEC 62446-3 on määritelty aurinkopaneelien infrapuna- eli lämpökuvastarkastukset. Tarkastus käsittää järjestelmän liittimet, kaapelit, kytkimet, akut, varokkeet ja vaihtosuuntaajat. Lämpökuvatarkastukset ennakoivat palosuojauksen kunnossapitoa, paneelien laadun tarkastamista sekä järjestelmän saatavuutta energiantuotantoon. (SFS IEC/TS 62446-3 2017, 6.)

5 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä kirjallisuuskatsaus aurinkopaneelien suunnittelusta loiville sekä jyrkille katoille ja luoda sen pohjalta ohjeistukset suunnittelun tueksi. Työssä käsiteltiin aurinkopaneelien teknisiä ominaisuuksia, suunnittelussa ratkaistavia asioita, katon kuormituksia sekä kattorakenteiden vaatimuksia. Kirjallisuuskatsauksen kautta saatiin laadukasta tietoa aurinkopaneelien suunnittelusta ja toteutuksesta erilaisilla katoilla.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin aiempia tutkimuksia sekä uusimpia tietoja, standardeja, lupia, ja määräyksiä, jotka takaavat suunnittelun turvallisuuden ja luotettavuuden. Lisäksi työssä pohdittiin aurinkopaneelijärjestelmien ylläpitoa ja seurantaa, mikä on olennainen osa järjestelmän pitkäikäisyyden ja tehokkuuden varmistamiseksi.

Opinnäytetyön tuloksena luotiin ohjeistukset aurinkopaneelien suunnittelun tueksi (liite 1 ja liite 2). Ohjeistukset sisältävät tärkeitä huomioon otettavia seikkoja suunnitteluvaiheessa, kuten kuormitusten huomioimisen, paneelien sijoittelun, kallistuskulman, suuntauksen, kiinnitysjärjestelmät, turvallisuusnäkökohdat sekä huollon ja seurannan.

Opinnäytetyön tulokset osoittavat, että aurinkopaneelien laadukas suunnittelu katoille on monipuolinen prosessi. Tuloksista voidaan todeta myös, että aurinkopaneelien asennus sekä loiville että jyrkille katoille on teknisesti toteutettavissa ja erilaiset kattotyypit asettavat omat haasteensa suunnittelulle ja asennukselle. Tuloksista voidaan todeta myös, että aurinkopaneelien asennuksien suunnittelussa lisääntyvien kuormitusten laskeminen on tällä hetkellä vielä suuntaa antavaa, koska aurinkopaneelien tuuli- ja lumikuormien mitoittamiseen ei ole vielä käytössä standardeja. Mitoituksessa voidaan kuitenkin soveltaa eurokoodeja ja Suomen kansallisia liitteitä. Lisäksi tuloksista voidaan todeta, että aurinkopaneelien suunnitteluun liittyvien aiheiden kokonaisuudet ovat osin hyvin laajoja. Monista tässä opinnäytetyössä käsitellyistä aiheista, esimerkiksi katon rakenteellisista muutoksista sekä aurinkopaneelien

aiheuttamista kuormituksista, saisi tehtyä oman tutkimuksen tai kirjallisuuskatsauksen.

Aurinkopaneelien suunnitteluun liittyviä jatkotutkimusaiheita on monia. Tämän opinnäytetyön pohjalta voidaan syventyä moniin eri jatkotutkimusaiheisiin niin rakenne-, sähkö-, energia- kuin ympäristötekniikan näkökulmista.

Merkittävimpinä jatkotutkimusaiheina rakennetekniikkaan liittyen liittyvät aurinkopaneelien tuoman lisäkuormituksen määrittämiseen sekä katon rakenteellisiin muutoksiin. Tutkimusta tarvitaan lisää varsinkin tuulikuormien määrittämisen tueksi, sillä aurinkopaneelien suunnittelua ohjaa vahvasti tuulesta aiheutuvat kuormat eikä vielä ole luotu standardeja niiden mitoituksen tueksi. Tällaisessa työssä voisi olla kokeellisia testejä tuulikuorman vaikutuksista aurinkopaneelisiin tai esimerkiksi laskentaesimerkkejä, joissa sovellettaisiin eurokoodeja sekä kansallisia liitteitä. Tuuli- ja lumikuormiin liittyvällä tutkimuksella saataisiin tuotua laadukasta tietoa parantamaan rakentamismääräyksiä sekä edistämään standardien luomista lisäkuorman laskennan tueksi.

Tämä opinnäytetyö tarjoaa kattavasti tietoa aurinkopaneelien suunnittelusta ja niiden soveltuvuudesta suomalaisiin olosuhteisiin. Työ toimii hyvänä lähtökohdana niin rakennusalan ammattilaisille kuin aurinkoenergiasta kiinnostuneille tahoille.

Lähteet

Ala-Kokko, V.; Huttu, I.; Paloluoma, P.; Smura, M.; Ronkainen, J.; Jämsä J.; Mustonen, A.; Meurman, K. & Hassinen, M. 2022. Rakennuspalon sammutus. Kuopio: Grano Oy.

Al-Chalabi, R. & Elshaer, A. 2023. Aerodynamic mitigation of low-rise building with complex roof geometry. Viitattu 17.1.2024.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbuil.2023.1200383/full>

Alrawashdeh, H. 2022. A comprehensive study of solar panels tilted up on flat roofs under wind action. Viitattu. 5.4.2024.

https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/991356/1/Alrawashdeh_PhD_S2023.pdf

Aurinkomaailma 2023. Aurinkosähkö. Viitattu 26.12.2023.

<https://aurinkomaailma.fi/aurinkosahko/>

Aurinkovirta 2023. Aurinkopaneelit. Viitattu 25.1.2024.

<https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/aurinkopaneelit/>

Auvinen, K. 2017. Kestääkö katto aurinkovoimalan? – katso tarkistuslista.

Viitattu 23.2.2024. <https://finsolar.net/kestaako-katto-aurinkovoimalan/>

Barkaszi, S. & O'Brien, C. 2010. Wind load calculations for PV arrays. Viitattu 24.1.2024. http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/wind-load/pdfs/Wind_Load_blanksstudyreport3.pdf

Blackmore, P. 2014. Wind loads on roof-mounted photovoltaic and solar thermal systems. Viitattu 23.1.2024.

<https://www.brebookshop.com/samples/327363.pdf>

Boudaqa, A. 2023. Structural Engineering For Roof-Mounted Solar Projects.

Viitattu 24.2.2024. <https://www.purepower.com/blog/structural-engineering-for-roof-mounted-solar-projects>

Cao, J.; Yoshida, A.; Saha, P.; Tamura, Y. 2013. Wind loading characteristics of solar arrays mounted on flat roofs. Viitattu 16.1.2024.

<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2013.08.014>

Coldham, D. 2017. Wind Load on Flat Roofs. Viitattu 17.1.2024.

<https://www.ikopolymeric.com/wind-load-flat-roofs/>

Cygnel, S. 2020. Aurinkopaneelien asennuksessa ilmansuunnalla on väliä.

Viitattu 17.1.2024. <https://www.helen.fi/artikkelit/2020/aurinkopaneelien-asennus-ilmansuunta>

Diehl, A. 2016. How Much do Solar Panels Weigh? Viitattu 14.1.2024.

<https://www.greentechrenewables.com/article/how-much-do-solar-panels-weigh>

Energio 2024. Asennus vaihtoehdot. Viitattu 14.1.2024.

<https://energio.fi/pages/aurinkosahkojarjestelmat-yrityksille>

Erat B.; Hänninen P.; Nyman C.; Rasinkoski A.; Tahkokorpi, M. & Wiljander M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

Eu Science Hub 2024. Photovoltaic Geographical Informaiton System (PVGIS).

Viitattu 13.2.2024. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en

Finnwind 2018. Aurinkopaneelien asennuksen standardinmukaisuuden

tarkastus. Viitattu 10.1.2024. [https://finnwind.fi/wp-](https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Ohje%20paneeliasennuksen%20tarkast)

[content/uploads/upload_photos/ohjeet/Ohje%20paneeliasennuksen%20tarkastukseen%20-%20lumikuorma.pdf](https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Ohje%20paneeliasennuksen%20tarkastukseen%20-%20lumikuorma.pdf)

Finnwind 2020a. Harjakattojen asennustelineet. Viitattu 6.1.2024.

https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/Finnwind-FS-H-harjakattojen-asennustelineet.pdf

Finnwind 2020b. Aurinkopaneelien kantavuustestaus tarkentuu. Viitattu

13.1.2024. [https://finnwind.fi/wp-](https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Aurinkopaneelien%20lumikuormavaatim)

[content/uploads/upload_photos/ohjeet/Aurinkopaneelien%20lumikuormavaatimukset%20tiukentuu.pdf](https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/ohjeet/Aurinkopaneelien%20lumikuormavaatimukset%20tiukentuu.pdf)

Finnwind 2021. Aurinko E3.2. Premium. Viitattu 7.3.2024. https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/datasheetit/Finnwind-Datasheet-Aurinko-E3.2-Premium400.pdf

Finnwind 2023. FS-M asennusjärjestelmä. Turvallinen, kattoystävällinen asennusjärjestelmä kelluviin painoperustaisiin asennuksiin. Viitattu 10.2.2024. https://finnwind.fi/wp-content/uploads/upload_photos/esitteet/Finnwind-FS-M-asennusj%C3%A4rjestelm%C3%A4.pdf

Finnwind 2024. Suomen lumikuormastandardi määrittää aurinkopaneelien painollisen tasakattoasennuksen lumikuormien laskentaparametrit. Viitattu 5.3.2024. <https://finnwind.fi/suomen-lumikuormastandardin-vaatimukset-aurinkopaneelien-painolliselle-tasakattoasennukselle/>

Flinkenberg 2018. Asennusohje. FBE-aurinkosähköjärjestelmät. Harjakattoasennukset. Viitattu 20.2.2024. <https://www.sahkonumerot.fi/8006454/doc/installationinstruction/>

Helen 2024. Aurinkovoimaloiden turvallisuusohjeistus. Vitattu 14.1.2024. <https://www.helen.fi/globalassets/aurinko/yritykset/aurinkovoimaloiden-turvallisuusohje.pdf>

Jantunen, J. 2017. Palaverimuistio: Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Viitattu 16.2.2024. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3_9D6E_44C4_8618_34FE9387FCE8-132701.pdf/89f9aa72-522c-c62b-5433-6f886e934f41/Asetus-rakennusten-paloturvallisuudesta-perustelumuistio-20112017-68F439B3_9D6E_44C4_8618_34FE9387FCE8-132701.pdf?t=1603260640763

Kattoliitto ry 2022. Toimivat katot 2022. Viitattu 6.1.2024. https://www.kattoliitto.fi/wp-content/uploads/2022/03/Toimivat_katot_2022.pdf

Kattoliitto ry 2024. Toimivat katot 2024. Julkaisematon lähde. Viitattu 26.3.2024.

Kattotutka 2023. Aurinkopaneelit katolle. Huomioi nämä ennen asennusta.
Viitattu 19.2.2024. <https://www.kattotutka.fi/fi/aurinkopaneelit-katolle/>

Kattotutka 2024. Aurinkopaneelit katolle. Viitattu 20.2.2024.
<https://www.kattotutka.fi/fi/aurinkopaneelit-katolle/>

Kerabit 2023a. Aurinkopaneelit ja kattahuolto-vältä kolme tyypillistä virhettä.
Viitattu 19.3.2024. <https://www.kerabit.fi/artikkelit/aurinkopaneelit-ja-kattahuolto-valta-kolme-tyypillista-virhetta/>

Kerabit 2023b. Katon kuntotarkastus omakotitaloon. Viitattu 15.2.2024.
<https://www.kerabit.fi/palvelut/katon-kuntotarkastus-omakotitaloon/>

Kerabit 2024. Katto- ja aurinkosähköurakan yhdistäminen on järkiratkaisu.
Viitattu 2.1.2024. <https://www.kerabit.fi/artikkelit/katto-ja-aurinkosahkourakan-yhdistaminen-on-jarkiratkaisu/>

Kingspan 2022. Aurinkopaneelit loiville katoille. Viitattu 11.2.2024.
<https://www.kingspan.com/fi/fi/artikkelit/aurinkopaneelit-loiville-katoille/>

Konttila, M. 2023. Aurinkopaneelien rakenteelliset asennusohjeet.
Julkaisematon lähde. Viitattu 16.3.2024.

Kopp, G.; Farquhar, S.; Morrison, M. 2012. Aerodynamic mechanisms for wind loads on tilted, roof-mounted, solar arrays. Viitattu 17.1.2024.
<https://doi.org/10.1016/j.jweia.2012.08.004>

Kortetmäki, A.; Lehto, I.; Heikkilä, T.; Orrberg, M.; Ylinen M.; Andersen, M. & Nikander M. 2023. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 3., uudistettu painos. Espoo: Grano oy.

Käpylehto, J. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen.
Helsinki: Into kustannus Oy.

Lane, C. 2023. Types of solar panels: which one is the best choice? Viitattu 5.2.2024. <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>

Lastunen, A. 2021. Eurokoodit – Tarkoitus. Viitattu 31.3.2024.

<https://www.eurocodes.fi/eurokoodit-tarkoitus/>

Lehmuskoski, A. 2020. Mikä on aurinkovoimalan virran optimoija? Viitattu

18.3.2024. <https://www.solnet.group/fi/blogi/mik%C3%A4-on-virran-optimoija>

Lehto, I.; Liuksiala, L.; Lähde, P.; Olenius, M.; Orrberg, M. & Ylinen, M. 2017.

Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Tampere: Grano Oy.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132.

Meriläinen, T. 2022. Huono katto ei sovellu aurinkopaneeleille. Viitattu

20.2.2024. <https://aurinkosahkoselvitys.fi/huono-katto-ei-sovellu-aurinkopaneeleille/>

Motiva 2023. Aurinkosähkö taloyhtiössä. Viitattu 5.4.2024.

https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/aurinkosahko_taloyhtiossa

Motiva 2024a. Aurinkosähkö. Viitattu 12.2.2023.

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

Motiva 2024b. Aurinkolämpö. Viitattu 2.1.2024.

https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo

Motiva 2024c. Uusiutuva energia. Viitattu 24.4.2024.

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

Murtomäki, I. 2021. Aurinkovoimala ja kattoremontti sopivat yhteen. Viitattu.

2.1.2024. <https://www.kiinteistoposti.fi/aurinkovoimala-ja-kattoremontti-sopivat-yhteen/>

Mäkinen, L. 2019. Aurinkosähkö osana energiamurrosta. PV-voimalan suunnittelijan opas. Suunnittelu-toteutus-ylläpito. Viitattu 14.3.2024.

<https://library.e.abb.com/public/ce25fe8cf14c4fb3948ea422de5958ac/Aurinkosahko%20osana%20energiaturrosta%20PV-voimalan%20Suunnittelijan%20Opas%20III%20painos.pdf?x->

[sign=urko4uhZzNfpN882MV7XdaXfQN2UsITIU8XLdGtGwH1TCbo7AfecVY6Q
Gv/aFq20](#)

Nashat, A. 2023. Power of Wind Tunnel Testing for PV. Viitattu 5.4.2024.
<https://www.linkedin.com/pulse/power-wind-tunnel-testing-pv-single-axis-tracker-dr-amr-nashat>

NIBE 2011. Asentajan käsikirja. Solar FP215 P/PL. Viitattu 23.1.2024.
<https://www.nibe.fi/assets/documents/8910/031971-1.pdf>

Oomi 2023. Aurinkopaneelit ovat tuottoisa ja varma energialähde, joka kiinnostaa nyt kaikkia. Viitattu 28.1.2024.
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70000762/aurinkopaneelit-ovat-tuottoisa-ja-varma-energianlahde-joka-kiinnostaa-nyt-kaikkia-%22aurinkovoiman-tuotannon-kasvu-on-ollut-viime-vuosina-rajahdysmaista%22?publisherId=69819675&lang=fi>

Opetushallitus 2024. Pelastusturvallisuuteen liittyvät suunnitelmat. Viitattu 11.3.2024. <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/pelastusturvallisuuteen-liittyvat-suunnitelmat>

Pelastuslaitokset 2023. Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje. Viitattu 17.2.2024. https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf

Pelastuslaki 29.4.2011/379.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer/Karisto Oy.

Puuinfo 2020. Puurakenteiden lyhennetty suunnitteluohje. 5. painos. Viitattu 12.1.2024. <https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2020/07/Eurokoodi-5-Lyhennetty-suunnitteluohje-5.-PAINOS-2020-P%C3%84IVITYS-22.7.-web.pdf>

Q-Cells 2016. Aurinkopaneelien asennus- ja käyttöohje. Viitattu 20.2.2024.
https://kauppa.scanofficegroup.fi/WebRoot/vilkasfi02/Shops/2015081104/599E/9653/E546/58A5/C3F0/0A28/1011/A84F/Hanwha_aurinkokeraeimet_Asennus-ja_kaeyttoehje_FI_draft.pdf

Rajeshwari, A. 2020. IEC Issues New Standard for Testing Resistance of Solar Modules to Heavy Snow. Viitattu 13.1.2024. <https://www.mercomindia.com/iec-issues-new-standard>

Rakentaja 2024. Aurinkopaneelit omakotitalon katolle? Nämä asiat pitää selvittää katosta ja sen kunnosta ennen asennusta. Viitattu 19.2.2024. <https://rakentaja.fi/artikkelit/aurinkopaneelit-omakotitalon-katolle-n%C3%A4m%C3%A4-asiat-pit%C3%A4%C3%A4-selvitt%C3%A4%C3%A4-katosta-ja-sen-kunnosta-ennen-asennusta/>

Ralos 2023. Ohutkalvoteknologiat. Viitattu 5.2.2024. <https://ralos.fi/ohutkalvoteknologiat/>

RIL 201-1-2011. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Roedel, A. & Upfill-Brown, S. 2018. Designing for the wind. Viitattu 8.4.2024. https://cdn2.hubspot.net/hubfs/1856748/nextracker_assets/pdfs/NEXT_whitepaper_092018.pdf

RoofFin 2023. Aurinkopaneelit ja kattahuolto. Viitattu 27.2.2024. <https://www.rooffin.fi/aurinkopaneelit-ja-kattohuolto/>

RT 103076. 2019. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. Ohjekortti. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sangobuild 2023. How to perfectly combine photovoltaics with waterproofing. Viitattu 6.1.2024. <https://www.sangobuild.com/news/how-to-perfectly-combine-photovoltaics-with-waterproofing.html>

Sass, T. & Leed, P. 2013. Solar Panel Installations on Existing Structures. Viitattu 24.2.2024. <https://zenodo.org/>

SFS IEC/TS 62446-3:2017:fi. Photovoltaic (PV) systems. Requirements for testing, documentation and maintenance. Part 3: Photovoltaic modules and plants. Outdoor infrared thermography. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1991-1-3 + AC + A1. 2015. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–3: Yleiset kuormat. Lumikuormat. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN 1991-1-4 + AC + A1. 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1–4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. 2. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN IEC 62446-2:2020. Aurinkosähköjärjestelmät. Vaatimukset dokumentaatiolle, kunnossapidolle ja testaamiselle. Osa 2: Sähköverkkoon kytketyt järjestelmät. Aurinkosähköjärjestelmän kunnossapito. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-EN IEC 62548:2016:fi 2018. Aurinkosähköpaneelistot. Suunnitteluvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Solarstone 2022. Paras suunta aurinkopaneeleille. Viitattu 12.2.2024.
<https://solarstone.com/fi/blog/paras-suunta-aurinkopaneeleille>

Solnet 2020. Mikä on aurinkovoimalan virran optimoija? Viitattu 19.3.2024.
<https://www.solnet.group/fi/blogi/mik%C3%A4-on-virran-optimoija>

Sähkömarkkinalaki 9.8.2013/588. Viitattu 8.4.2024.

Säköturvallisuuslaki 16.12.2016/1135. Viitattu 8.3.2024.

Tampereen Tilapalvelut 2023. Aurinkovoimaloiden yleissuunnitteluohje. Viitattu 8.2.2024.
https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/Aurinkovoimaloiden_yleissuunnitteluohje_2023_liitteinen.pdf

Tieteen termipankki 2014. rekombinaatio. Viitattu 7.5.2024.
<https://tieteentermipankki.fi/wiki/T%C3%A4htitiede:rekombinaatio>

Tukes 2024. Aurinkosähköjärjestelmät. Viitattu 13.2.2024.
<https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat#0c6308de>

Tuomi, T. 2023. Aurinkosähkön pientuotannon suosio ja kasvutahti ennätyslukemissa. Viitattu 28.1.2024. <https://lahienergia.org/aurinkosahkon-pientuotannon-suosio-ja-kasvuvauhti-ennatyslukemissa/>

Turku Energia 2024. Mitä lyhenteet kWp ja wp tarkoittavat? Viitattu 13.2.2024. <https://www.turkuenergia.fi/ukk/mita-lyhenteet-kwp-ja-wp-tarkoittavat>

Väre 2020. Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus. Viitattu 9.2.2024. <https://vare.fi/yrityksille/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-sijoittaminen-ja-suuntaus/>

Wills, R.; Milke, J.; Royle, S. & Steranka, K. 2014. Commercial Roof-Mounted Photovoltaic System Installation Best Practices Review and All Hazard Assessment. Viitattu 4.1.2023. [Fire Protection Research Foundation | NFPA](#)

Ympäristö 2024. Kattojen lumikuorma. Viitattu 10.1.2024. https://wwwi2.ymparisto.fi/i2/90/rokg2/tanaan_fi.html

Ympäristöministeriö 2019a. Kosteus- ja mikrobivaurioituneiden rakennusten korjaus. Viitattu 8.4.2024. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161855/YM_2019_18_211019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Ympäristöministeriö 2019b. Rakenteiden lujuus ja vakaus. Viitattu 9.1.2024. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf/4194d6a0-63c4-3965-34bb-4b2f159cd372/Kuormat_lisays_2019-5070311E_F267_47BC_A593_AEAA20EA31FE-153592.pdf?t=1603260658544

Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista 17.6.2014/477.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen käyttöturvallisuudesta 20.12.2017/1007.

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen paloturvallisuudesta 28.11.2017/848.

Zhang, Z. & Stathopoulos, T. 2014. Wind loads on solar panels mounted on flat rooftops: Progress and limitations. Viitattu 16.1.2024. [http://www.i-
asem.org/publication_conf/acem14/1.WAS/W3B.6.WS102_260F-2.pdf](http://www.i-
asem.org/publication_conf/acem14/1.WAS/W3B.6.WS102_260F-2.pdf)

Zipp, K. 2013. 6 Ways to Avoid Damaging Roofs When Installing Solar Panels. Solar Power World. Viitattu 5.1.2024. <https://www.solarpowerworldonline.com/2013/03/6-ways-to-avoid-damaging-roofs/>

Liite 1

Aurinkopaneelien suunnitteluvaiheen ohjeistus – Loiville katoille

OHJE

2024

AURINKOPANEELIEN SUUNNITTELUVAIHEEN OHJEISTUS

– Loiville katoille

Sisällysluettelo

Johdanto	3
Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu	3
Kattotarkastukset	3
Kuormitukset	4
Tuulikuormat	4
Lumikuormat	4
Aurinkopaneelien omat painot.....	4
Katon rakenteelliset muutokset	5
Kattoremontti.....	5
Kokonaisvaltainen kattoremontti	5
Rakennetekniset luvat ja määräykset	5
Sijainnin valinta	6
Varjostukset	6
Aurinkopaneelien suuntaus.....	6
Aurinkopaneelien kallistuskulmat	7
Lämpötilan vaikutus	7
PVGIS-laskuri.....	7
Sijoittelu	7
Rakenteellinen toimivuus	8
Turvallinen liikkuminen ja huoltokohteet.....	8
Paloturvallinen sijoittelu.....	8
Rivivälit.....	9
Kiinnitysjärjestelmät	9
Turvallisuusnäkökohdat	10
Paloturvallisuus	10
Paloturvallisuusohje	10
Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa.....	11
Katon huolto ja seuranta	11
Aurinkopaneelien huolto ja seuranta	12
Kuvat	
Kuva 1. Suuntauskulman vaikutus tuottoon.....	13
Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015.....	13
Kuva 3. Esimerkki aurinkopaneelialueen rajauksesta loivalla katolla.....	14

Johdanto

Tämä ohjeistus kokoaa tiivistetysti yhteen tärkeimmät pääkohdat, joilla varmistetaan loiville katoille asennettavien aurinkopaneelien laadukas suunnittelu. Ohjeistuksesta tulee ilmi, mitä suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Ohjeistus tukee ja antaa myös suosituksia aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluprosessissa mukana oleville toimijoille. Ohjeistus on rajattu enimmäkseen rakenne- ja aurinkosähköjärjestelmien suunnittelijoille mutta myös asentajat ja tilaajat hyötyvät sen sisällöstä.

Ohjeistus on tehty Aurinkopaneelit loiville ja jyrkille katoille -opinnäytetyön pohjalta. Opinnäytetyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, johon on kerätty yhteen olemassa olevaa tietoa aurinkosähköjärjestelmän laadukkaasta suunnittelusta. Lähdeaineistona on hyödynnetty sekä kotimaisia että kansainvälisiä lähteitä.

Tämä ohjeistus ei vähennä tai muuta suunnittelijan tai muun hankkeen osapuolen vastuita tai velvoitteita.

Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on monipuolinen prosessi. Seuraavia vaiheita noudattamalla saadaan varmistettua loiville katoille asennettavien aurinkopaneelien laadukas suunnittelu.

- **Kattotarkastukset**

- Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee tarkistaa katon kunto, kantavuus sekä käyttöikä. Kattotarkastuksessa katon rakenteet tulee kokonaisuudessaan tarkastaa ennen aurinkosähköjärjestelmän asentamista.
- Kattotarkastuksessa tulee katon kunto arvioida niin, että katon käyttöikä vastaa aurinkopaneelien käyttöikää, eikä suurempia remonttitarpeita syntyisi.
- Katon kattoturvaluotteiden kunto ja kiinnitykset tarkistettava.
- Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee selvittää mahdollisten takuiden voimassaolo. Eryityisesti katto- ja vesikatemateriaalin toimittajan takuehdot on tärkeä tarkistaa. Samoin on hyvä perehtyä ohjeisiin, jotka koskevat katoille tehtäviä asennuksia ja muutoksia.

- **Kuormitukset**

Tuulikuormat

- Laske tuulikuormat eurokoodin standardia EN 1991-1-4 soveltaen. Standardissa annetaan rakennusten rakennesuunnittelua varten tuulikuormien määrittämisohteja kunkin tarkasteltavan kuormitetun pinta-alan osalta.
- Huomioi, että aurinkopaneeleihin kohdistuviin tuulikuormien laskentaan ei ole vielä selkeää ohjetta, joten tuulikuormat lasketaan mahdollisimman tarkkaan standardia SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisia liitteitä soveltaen.
- Aurinkopaneeleihin kohdistuvaan tuulikuormaan vaikuttaa oleellisesti katon kulmapyörteet ja aurinkosähköjärjestelmän geometriset yksityiskohdat, kuten rivivälit sekä paneelien korkeus.
- Loivilla katoilla suurimmat tuulikuormien aiheuttamat paineet muodostuvat katon kulmiin ja reunoihin.

Lumikuormat

- Laske lumikuormat eurokoodin standardia EN 1991-1-3 sekä Suomen kansallisia liitteistä soveltaen. Standardissa annetaan ohjeita rakennusten rakennesuunnittelussa käytettävien lumikuormien arvojen määrittämiseksi.
- Loivilla katoilla lumen kinostumista aiheuttaa ulkonemien ja esteiden lisäksi aurinkopaneelit. Lumikuorman ominaisarvossa huomioidaan lisäksi paneeliasennuksen muotokerroin ja sijainnin tuulensuojaisuuskerroin sekä paneeliasennuksesta ja katon korkeuseroista muodostuvat kinostuvat lumikuormat.
- Aurinkopaneelien lumikuormatarkastelu tulee tehdä paneeleille, jotka altistuvat suurimmalle lumikuormalle.
- Aurinkopaneelien kuormitustapaus arvioidaan paneeliasennuksen muodon mukaan, sillä loivilla katoilla on oma muoto ja paneeleilla oma muoto.
- Suomessa aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta hyvän lumikuorman kantavuuden saavuttamiseksi. Tällöin myös standardin IEC 62938:n vaatimukset täyttyvät.

Aurinkopaneelien omat painot

- Suunnittelussa aurinkosähköjärjestelmän oman painon tuoma lisäkuorma otetaan huomioon.
- Loivilla katoilla yksi yleisin aurinkosähköjärjestelmän asennustapa on kelluva asennus, joka nostaa järjestelmän painoa vastapainojen takia.
- Kelluvan asennuksen tuoma lisäpaino katolle on keskimäärin 0,25 kN/m².

- Aurinkopaneelien asennus pienentää katon ripustuskuormia, joita kattorakenteelle on suunniteltu. Asennettujen aurinkopaneelien alueella ei ilman rakennesuunnittelijan hyväksyntää voida lisätä ripustuskuormia.

- **Katon rakenteelliset muutokset**

Kattoremontti

- Suunniteltaessa kiinteistöön aurinkosähköjärjestelmää vastaan voi tulla katon rakenteiden vahvistaminen. Mahdollisilla rakenteiden vahvistamisilla varmistetaan katon kantavuus lisääntyviä kuormia vastaan, joita syntyy aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena.
- Suunnitteluvaiheessa kannattaa olla yhteydessä kattoalan ammattilaiseen, sillä vesikatot ovat yksilöllisiä ja niiden erityispiirteet pitää ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa.
- Katon kantavuus on kattotyypistä ja rakennuksesta riippumatta aina tarkastettava ja pystyttävä todistamaan kestäväksi rakennesuunnittelijan toimesta.
- Rakennesuunnittelija määrittelee katon rakenteiden vahvistukset ja muutokset yhdessä kattoalan ammattilaisen kanssa.
- Nykyisten rakentamismääräysten saavuttamiseksi rakennesuunnittelijan on suunniteltava rakenteelliset vahvistukset niin, että olemassa olevat rakenteet saadaan vastaamaan nykymääräysten mukaiset kuormitukset.

Kokonaisvaltainen kattoremontti

- Katto saattaa olla myös siinä kunnossa, että se vaatii kokonaisvaltaista kattoremonttia. Uutta kattoa suunniteltaessa voidaan tapauskohtaisesti miettiä aurinkosähköjärjestelmän asennuksesta johtuvia rakenteellisia muutoksia.
- Rakenteellisten muutoksien ja katolle tehtävien vahvistuksien tekeminen helpottuu, kun muutokset tehdään kattoremontin aikana.
- Rakennesuunnittelija määrittelee katon rakenteiden vahvistukset ja muutokset yhdessä kattoalan ammattilaisen kanssa.

- **Rakennetekniset luvat ja määräykset**

- Paikallisen kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta tulee selvittää, vaaditaanko aurinkopaneelien asennukseen rakennus- tai toimenpidelupaa.
- Alueesta ja rakennuksesta riippuen aurinkopaneelien asentamisen lupakäytännöt ja määräykset saattavat vaihdella.
- Kunnan rakennusjärjestyksessä on usein mainittu, mitä aurinkopaneelien asentaminen vaatii, mutta rakennusjärjestyksen määräykset voivat vaihdella kuntakohtaisesti.

- Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista pykälän 10 mukaan on rakenteen kuormituksen lisääntyessä kantavien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa sovellettava asetuksen pykälää 2–5 uusien ja vahvistettavien rakenteiden osalta.

- **Sijainnin valinta**

- Sijainnin valinta on yksi keskeinen asia, joka tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa.
- Aurinkosähköjärjestelmän sijainnin valinta vaikuttaa oleellisesti järjestelmän sähköntuotantoon. Tämän vuoksi sijainnin valinta, varjostukset, paneelien kallistuskulma ja lämpötilojen vaikutus pitää suunnitella huolellisesti.

Varjostukset

- Asennuskohteen varjostukset on huomioitava tarkasti suunnitteluvaiheessa.
- Varjostuksia voivat aiheuttaa esimerkiksi katoilla olevat rakenteet, viereiset rakennukset, alueen puusto sekä toisen paneelirivin aurinkopaneelit.
- Aurinkopaneelien sijainnin valinnassa on otettava huomioon, ettei yksikään paneeli olisi varjostuksen alla päivän aikana.
- Nykyään aurinkosähköjärjestelmiin saadaan asennettua virran optimoijat. Optimoijien käytöllä aurinkopaneeleita voidaan sijoittaa osittain varjostuville alueille, eikä varjoon jäävät paneelit heikennä muiden paneelien tuottoa.

Aurinkopaneelien suuntaus

- Aurinkopaneelien suuntauksella on suuri merkitys tuotannon näkökulmasta. Suomessa parhaaseen vuosituottoon päästään, kun aurinkopaneelit suunnataan etelään päin.
- Loivilla katoilla aurinkopaneelien suuntaus etelään päin on mahdollista etelätelineillä. Aurinkopaneelien suuntaus on mahdollista myös itään ja länteen samanaikaisesti niin sanotuilla itä-länsi-telineillä.
- Aurinkopaneelien suuntaus etelään päin mahdollistaa suurimman hyötysuhteen keskipäivällä, itään päin suunnattu aamupäivällä ja länteen päin suunnattu iltapäivällä.
- Suuntauksessa tulee ottaa huomioon auringon radan vaihtelu, jolloin varjostustekijöitä voi olla useampia.
- Kuvassa 1 (ks. s.13) kuvataan aurinkopaneelien suuntauksen vaikutusta tuottoon 4,5 kWp -järjestelmällä. Kuvassa tuotto on ilmaistu energian mittayksikkönä kWh kuukautta kohti.

Aurinkopaneelien kallistuskulmat

- Aurinkopaneelien kallistuskulma vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän vuosituotannon vakautumiseen.
- Suomessa tuottoisin asennuskulma on 45–50°:n välillä. Kokonaisvuosituotannon heikentymistä nähdään heti paneelien kallistuskulman ollessa jotain muuta mutta erot ovat pieniä.
- Tuottoisimpiin kallistuskulmiin ei aurinkopaneeleita ole kuitenkaan aina mahdollista suunnitella. Kulman lisäksi on otettava huomioon muitakin seikkoja, joista mainittakoon tuulikuorman kasvaminen jyrkempää kallistuskulmaa käytettäessä.
- Kuvassa 2 (ks. s.13) kuvataan 1,2 kWp aurinkosähköjärjestelmien vuosituottoa kolmella eri kallistuskulmalla.

Lämpötilan vaikutus

- Aurinkosähköjärjestelmän vuosituottoa heikentää paneelin ja ympäristön lämpötilan nousu.
- Lämpötilan liiallisen nousun estämiseksi sijainnin valinnassa otetaan huomioon aurinkopaneelien taustan tuulettumisen mahdollisuus.
- Aurinkosähköjärjestelmän rakenteiden ja vesikaton väliin tulee jättää vähintään 10 cm:n rako, jotta aurinkopaneelien tuuletus toteutuu ja paneelit pysyisivät mahdollisimman viileinä.

PVGIS-laskuri

- Euroopan unionin verkkosivulle on luotu ilmainen PVGIS-laskuri, jolla voi tarkastella esimerkiksi suuntauksen vaikutusta tai laskea vuosituottoennusteen tarkkaan osoitteeseen.
- Laskuriin syötetään kohteen osoite, aurinkosähköjärjestelmän teho, suuntaus ja kallistus.
- PVGIS-laskurin toiminta perustuu auringon säteilyn voimakkuuksiin ja lämpötilastoihin, jotka ovat tehty satelliittimittauksin.

• Sijoittelu

- Aurinkopaneelien sijoittelussa on tärkeää, että paneelit saataisiin suunnattua niin, että auringonsäteet osuvat niihin mahdollisimman pitkään koko päivän ajan.
- Aurinkopaneelien sijoittelun suunnittelussa tulee ottaa myös monia muita asioita huomioon, kuten esimerkiksi varjostukset, katon rakenteellinen toimivuus, paloturvallisuus sekä turvallinen liikkuminen katolla.
- Kuvassa 3 (ks. s.14) on esitetty esimerkinomaisesti aurinkopaneelialueen rajaukset, joihin paneelit voidaan sijoittaa. Suurin sallittu paneelikentän koko paneelialueella on 20 x 20 m ja kenttien välisen huoltokäytävän tulee olla

vähintään 1,5 m leveä. Paneelientän osiin jako ei koske kattoja, joiden kate on vähintään A2-s1, d0 -luokan materiaalista valmistettua.

Rakenteellinen toimivuus

- Loivien kattojen rakenteellinen toimivuus ei saa heikentyä aurinkopaneelien sijoittelun seurauksena.
- Loivien kattojen veden johtamiseen tarkoitettujen rakenteiden toiminnan tulee pysyä toimivana aurinkosähköjärjestelmän asennuksen jälkeen.
- Katon vesikatteen pintaan ei saa aurinkopaneelien sijoittelusta syntyä patoutumista tai veden virtaussuuntia, jotka vahingoittavat vedeneristystä. Patoumien ja virtaussuuntaan vaikuttavien painumien estämiseksi sijoittelussa on huomioitava katon kantavien rakenteiden paikat ja pyrittävä hyödyntämään niitä kevyempien rakenteiden sijaan.
- Loivilla katoilla painoperusteisen järjestelmän lisäpainojen sijoittelussa on otettava huomioon katon tuuletus. Sijoittelu tulee suunnitella niin, että painumia ei pääse syntymään, sillä kasvaneen pistekuorman alla tuuletusurat voivat puristua kasaan ja näin heikentää kattorakenteen tuulettumista. Lisäksi sijoittamista jiirien päälle tulee välttää.

Turvallinen liikkuminen ja huoltokohteet

- Katolla turvallinen liikkuminen on varmistettava, joten paneelien sijoittaminen on suunniteltava niin ettei liikkuminen hankaloidu.
- Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida katolla sijaitsevat erilaiset huoltokohteet, kuten esimerkiksi savunpoistoluukut sekä kattokaivot.
- Huoltokohteisiin tulee jättää 1–1,5 m vapaata tilaa, jolloin huoltotoimenpiteet ja kulku sujuvat katolla ilman tarpeetonta kosketusta aurinkopaneelien kanssa.
- Katon reunan ja aurinkopaneelien rakenteiden tai huoltoreittien välisen huoltoetäisyyden tulee olla vähintään 2 m. Jos aurinkosähköjärjestelmää ei voida asentaa vaaditulle huoltoetäisyydelle katon reunasta, niin paneelien huoltoa varten tulee lisätä asianmukaiset kattoturvaluotteet. Paneelien lisäksi katolla olevien muidenkin huoltotoimenpiteitä vaativien kohteiden huolto tulee säilyttää. Turvallisen huollon varmistamiseksi on kattoturvaluotteita lisättävä, mikäli aurinkosähköjärjestelmän sijoittelu estää huollon suorittamista olemassa olevilla kattoturvaluotteilla.

Paloturvallinen sijoittelu

- Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida paloturvallisuus.
- Katoilla aurinkopaneelien sijoittelussa palomuriin jätetään vähintään 2,5 m vapaata tilaa, ellei pystysuuntainen palokatko ylety 0,5 m aurinkosähköjärjestelmän osien yläpuolelle.

- Palomuurien yli menevät aurinkopaneelijärjestelmän osat on palosuojattava niin, etteivät ne vaikuta palo-osaston toimintaan.
- Aurinkopaneelijärjestelmän osia ei tule sijoittaa katon alueelle, joka on jaettu osiin vaakasuoralla palokatolla.
- Suunnitteluvaiheessa otetaan selvää, onko katolla alueita, joita joudutaan sahaamaan tulipalotilanteessa auki. Mikäli tällaisia kohtia ilmenee, tulee aurinkopaneelien sijoittelua näihin kohtiin välttää.
- Aurinkopaneelien sijoittamista rakennuksen ilmanottoaukkojen läheisyyteen ja niiden alapuolelle tulee välttää. Tällä vältetään mahdollisen tulipalotilanteesta aiheutuvan myrkyllisen savun leviäminen rakennukseen. Mikäli paneelien sijoittamista ilmanottoaukkojen läheisyyteen ei voida välttää, tulisi raitisilmakanavaan lisätä savuun reagoiva palonrajoitin.

Rivivälit

- Loivilla katoilla useampaan riviin peräkkäin asennetut aurinkopaneelit muodostavat paneelikentän, jossa rivivälit tulee huomioida varjostuksien estämiseksi.

• Kiinnitysjärjestelmät

- Loiville katoille on olemassa erilaisia kiinnitysjärjestelmiä ja kiinnitysmenetelmiä. Yleisimmät aurinkopaneelien kiinnitysmenetelmät loiville katoille ovat painoperusteinen asennus eli niin sanottu kelluva asennus ja mekaaninen asennus, jossa kuormat ohjataan katon kantaville rakenteille.
- Aurinkopaneelien asennusjärjestelmään kohdistuu kinostumisesta aiheutuvia lumikuormia, normaaliolosuhteen lumikuormia ja tuulikuormia, joita vastaan ne tulee kiinnittää tukevasti paikoilleen.
- Loivilla katoilla pyritään tekemään vesikatteeseen mahdollisimman vähän läpivientejä, vesitiiveyden varmistamiseksi. Asennuskohteissa, joissa läpivientejä joudutaan tekemään, tulee ne tiivistää tyyppihyväksytyin läpivientikappalein.
- Aurinkopaneelien kiinnityksessä pitää huomioida sadeveden virtaussuunnat ja varmistaa, ettei vesi pääse patoutumaan katolle paneeliasennuksien takia. Sadeveden esteettömän virtauksen ja katon puhtaanapidon takia tulisi paneelien kiinnitysjärjestelmän ja vesikaton väliin jättää vähintään 10 cm:n rako.
- Aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmää valittaessa kannattaa huomioida niiden asennustekniikka, jotta asennusaikainen työskentely helpottuisi. Katon katevalmistajien mahdolliset edellytykset kiinnitysjärjestelmään on otettava myös huomioon.
- Nykyisen ohjeistuksen mukaisesti aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta, jolloin niiden kuorman kantavuus paranee.

- Kiinnitysjärjestelmät määräytyvät aina tapauskohtaisesti eri asennuskohteiden mukaan. Lähtökohtaisesti on suositeltavaa käyttää valmistajien tarjoamia vakioratkaisuja.
- **Turvallisuusnäkökohdat**
 - Aurinkopaneelien turvallinen asennus katolle tapahtuu laadukkaana suunnittelun, laadukkaista komponenteista toteutetun ja oikealla tavalla asennetun työn seurauksena.
 - Aurinkopaneelien asennukseen katolle on kuitenkin olemassa myös turvallisuusnäkökohdista tarkasteltavia asioita, joista merkittävimpiä ovat paloturvallisuus ja pelastushenkilöstön työturvallisuus.

Paloturvallisuus

- Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat tulipalot ovat harvinaisia.
- Väärin mitoitetut sähköjohtimet ja sulakkeet, riittämätön laatu ja yhteensovituksen puutteet asennuksissa sekä sähköliitosten heikko toteutus ovat yleisimpiä syitä aurinkosähköjärjestelmien syttymisille.
- Suunnitteluvaiheessa on tärkeää huomioida, ettei rakennuksen paloturvallisuus heikenny miltään osin.
- Suunnitteluvaiheessa paloturvallisuuden säilyttämiseksi huomioon on otettava esimerkiksi rakenteiden kantavuus, osastoitavuus sekä eristävyys.
- Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määritelty, että rakennuksen rakentamisessa käytettävät tekniset laitteet on oltava paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennukseen.
- Aurinkosähköjärjestelmän tiedot tulee löytyä tieto- /kohdekortista, joka luodaan paikallisten ohjeistuksien mukaan.
- Suunnitteluvaiheessa pelastusviranomaisten vaatimukset hormivaikutuksista tulee selvittää varsinkin kattomateriaalin ollessa helposti palavaa.

Paloturvallisuusohje

- Paloviranomaisten julkaisemat paloturvallisuuden suositukset ja veloitteet tulisi ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa.
- Pelastuslaitoksen vuonna 2023 julkaistussa aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeessa on kattavasti tietoa aurinkosähköjärjestelmiin vaikuttavista paloturvallisuusasioista.
- Ohjeessa on kattavasti kuvattu riskeihin liittyvät turvallisuusmääräykset ja turvallisuusohjeet. Ohjeessa annetaan myös pelastushenkilöstön näkemyksiä pelastustoiminnan mahdollistamiseksi ja hyvän

paloturvallisuuden toteutumiseksi aurinkosähköjärjestelmällisissä rakennuksissa.

- Ohjeesta löytyy tietoa myös paloluokittain aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamista paloriskeistä ja riskeihin varautumisesta.
- Ohje on tällä hetkellä kattavin lisäohjeistus aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuteen liittyen ja ohjeen sisäistäminen on suositeltavaa.

Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa

- Suurille paneelientilille tulisi suunnitella palon sammutuksen mahdollistamiseksi rajoituslinjoja, joihin palo saataisiin pysähtymään.
- Aurinkosähköjärjestelmä tulee suunnitella niin, että se noudattaa samaa paloturvallisuussyistä tehtyä osiin jakoa kuin kattopinnat. Kattopinnan osiin jako ei saa heikentyä aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena.
- Katon kaltevuuden ollessa niin loiva, että se mahdollistaa sammutusveden lammikoitumisen, tulee katolle suunnitella kulkusiltoja. Kulkusillat suunnitellaan materiaalista, joka ei johda sähköä.
- Suuria aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa tulee sammutusveden saanti ottaa huomioon. Sammutusvesi tulee olla saatavilla vähintään 40 m:n päästä paneelientilan kauimmaisesta pisteestä.
- Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää kohteeseen, jossa katemateriaali ei ole palamatonta materiaalia, tulee aurinkopaneelien rungon mahdollinen sulaminen huomioida tulipalotilanteessa. Sulavasta rungosta tippuvat pisarat eivät saa levittää paloa. Tämä tulee estää esimerkiksi palamattomalla alustalla tai pyrkimällä sijoittamaan paneelit niin, ettei pisarointi levitä paloa tai vaikuta sen etenemiseen.
- Suunniteltaessa laajan pinta-alan täyttävää aurinkopaneelientilää, jossa aurinkopaneelit ovat palavatarvikkeisia, voidaan ne tulkita palavina kattopintoina. Tällöin paneeleille tulee vaatimuksia rakennuksen paloturvallisuudesta.
- Aurinkosähköjärjestelmien eri opasteiden ja merkintöjen paikat tulee suunnitella kohtiin, joista on kulku katolle. Opasteet ja merkinnät tulee sijoittaa tikkaiden, ulkoportaiden sekä kaikkien katolle johtavien reittien läheisyydessä. Turvakytkimien sijaintipaikat tulee lisätä kohdekorttiin.

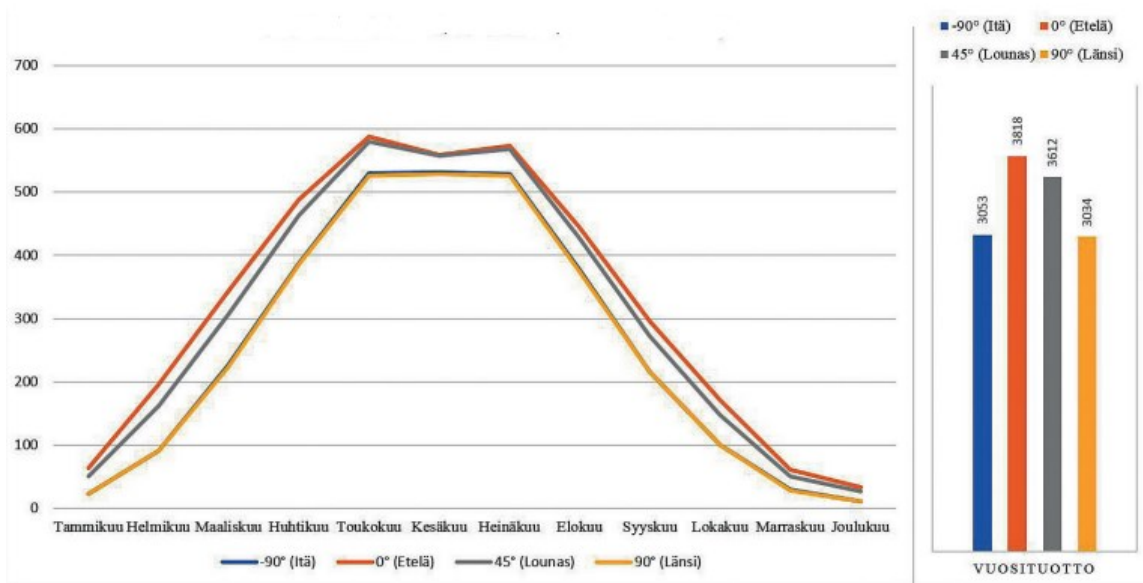
• Katon huolto ja seuranta

- Katto teknisenä rakenteena vaatii huoltoa ja seurantaan, jotta se kestävä sille suunnitellun käyttöajan ajan ongelmitta.
- Säännöllisellä kaks kertaa vuodessa suoritettavilla kattotarkastuksilla ja mahdollisilla huolloilla varmistetaan kaikkien kattojen toimivuus niin kuin ne on suunniteltu toimivaksi kaikilta osiltaan.

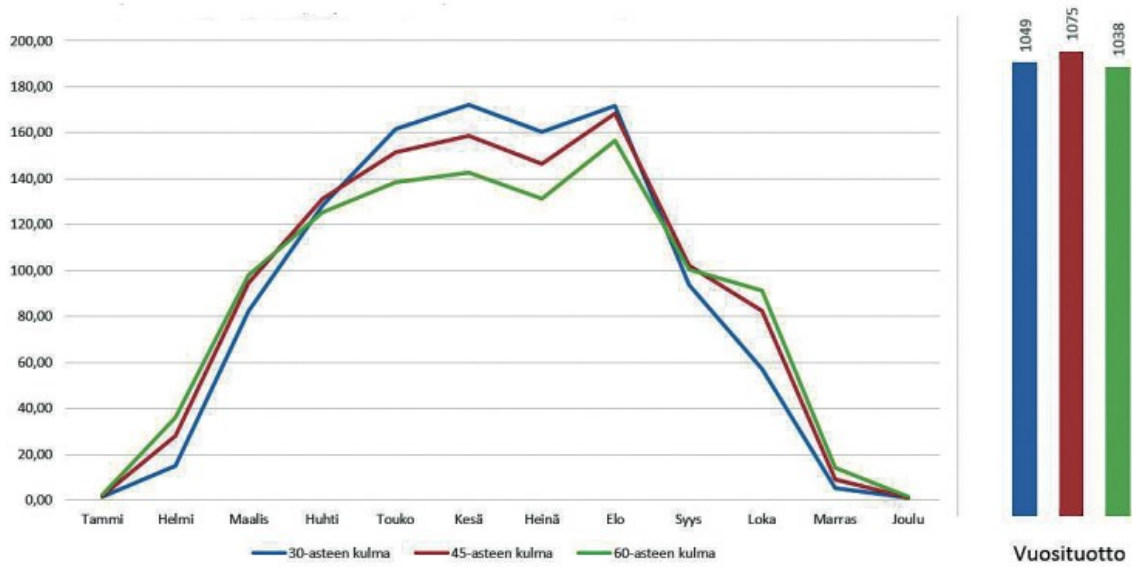
- Katon huollon tulee onnistua ongelmitta aurinkopaneelien asennuksen jälkeen.
- Katon huoltoa helpottaa suunnitteluvaiheessa hyvin suunniteltu aurinkopaneelien sijoittelu ja hyvin toteutettu asennus.
- Kattoliitto on luonut katon huoltoon eri katemateriaaleille tarkoitetut huolto-ohjeet, joiden avulla katon huolto ja tarkastukset on helppo toteuttaa säännöllisesti sekä asianmukaisesti. Huolto-ohjeiden avulla huolto ja tarkastukset tulevat myös dokumentoitua oikein.

- **Aurinkopaneelien huolto ja seuranta**

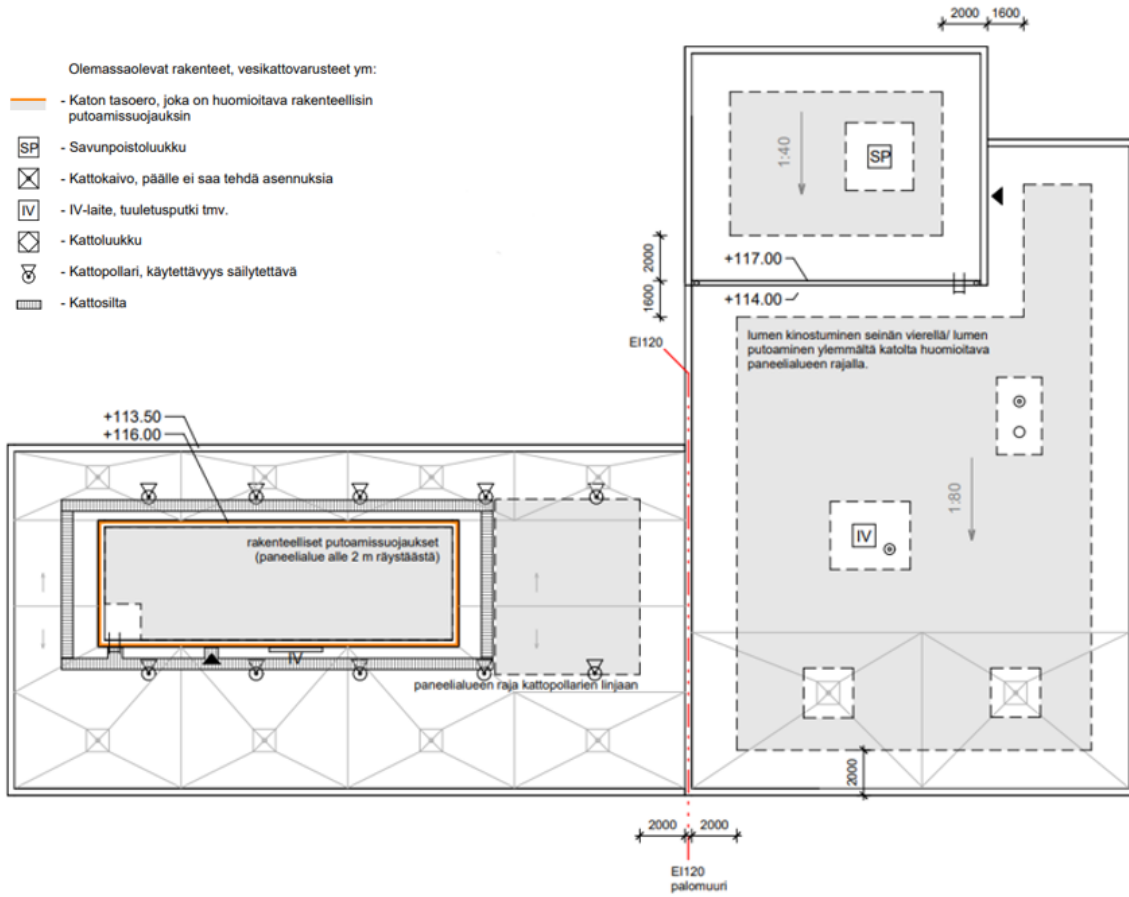
- Aurinkopaneelit ovat teknisiä laitteita ja tarvitsevat huoltoa ja seuranta.
- Kun aurinkopaneelijärjestelmä on asennettu oikein, niin sen pitäisi lähtökohtaisesti toimia ilman jatkuvaa ylläpitoa.
- Huolto ja kunnossapitosuunnitelman laatiminen aurinkopaneeleille on suositeltavaa.
- Aurinkopaneelien säännölliseen vuositarkastukseen kuuluvat muun muassa seuraavat tarkastukset:
 - aurinkopaneelien kunnan tarkistus
 - tarkistus, että paneelit ovat tukevasti kiinni kiinnikkeissään
 - vesien poisjohdatusten toimivuuden tarkistus
 - kattoon mahdollisesti tehtyjen läpivientien tarkastus mahdollisuuksien mukaan sisä- ja ulkopuolelta
 - invertterin ja mahdollisten varoitusvalojen toiminnan tarkistus; käynnistetään invertteri tarvittaessa uudelleen
 - kytkimien, liittimien sekä muiden komponenttien tarkistus mahdolliselta ylikuumenemiselta tai kosteudelle altistumiselta
 - tarkistus, että kaapelit ovat ehjiä ja paikoillaan
 - vuosittaisessa aurinkosähköjärjestelmän mittauksessa selviää, onko järjestelmässä heikkenemää
 - suojalaitteiden ja kytkimien varmistus
 - aurinkopaneelivalmistajan muut vaaditut huoltotoimenpiteet, jotta takuehdot säilyvät.
- Vuositarkastuksessa voidaan käyttää apuna Motivan laatimaa aurinkosähköjärjestelmän vuosihuoltosuunnitelmaa.
- Talvella aurinkopaneelien päälle satanutta lunta ei yleensä ole kannattavaa poistaa. Kattorakenteiden mitoitus voi kuitenkin vaatia, että lumet on talvisin poistettava katon sekä aurinkopaneelien päältä.
- SFS-EN IEC 62446-2 standardin taulukko 3 antaa myös kattavan listan tarkastustehtävistä aurinkosähköjärjestelmän tarkastuksille. Standardi ei kuitenkaan määritä kunnossapidon ja tarkastuksen väliaikojen pituuksia.
- Lisäksi standardin osassa IEC 62446-3 on määritelty aurinkopaneelien infrapuna- eli lämpökuvaustarkastukset.



Kuva 1. Suuntauskulman vaikutus tuottoon.



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015.



Kuva 3. Esimerkki aurinkopaneelialueen rajauksesta loivalla katolla.

Liite 2

Aurinkopaneelien suunnitteluvaiheen ohjeistus – Jyrkille katoille

OHJE

2024

AURINKOPANEELIEN SUUNNITTELUVAIHEEN OHJEISTUS

– Jyrkille katoille

Sisällysluettelo

Johdanto	3
Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu	3
Kattotarkastukset	3
Kuormitukset	4
Tuulikuormat	4
Lumikuormat	4
Aurinkopaneelien omat painot.....	4
Katon rakenteelliset muutokset	5
Kattoremontti.....	5
Kokonaisvaltainen kattoremontti	5
Rakennetekniset luvat ja määräykset	5
Sijainnin valinta	6
Varjostukset	6
Aurinkopaneelien suuntaus.....	6
Aurinkopaneelien kallistuskulmat	7
Lämpötilan vaikutus	7
PVGIS-laskuri.....	7
Sijoittelu	7
Rakenteellinen toimivuus	8
Turvallinen liikkuminen ja huoltokohteet.....	8
Paloturvallinen sijoittelu.....	8
Rivivälit.....	9
Kiinnitysjärjestelmät	9
Turvallisuusnäkökohdat	9
Paloturvallisuus	10
Paloturvallisuusohje	10
Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa.....	11
Katon huolto ja seuranta	11
Aurinkopaneelien huolto ja seuranta	12
Kuvat	
Kuva 1. Suuntauskulman vaikutus tuottoon.	13
Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015.....	13
Kuva 3. Esimerkki aurinkopaneelialueen sijoittelusta jyrkällä katolla.	14

Johdanto

Tämä ohjeistus kokoaa tiivistetysti yhteen tärkeimmät pääkohdat, joilla varmistetaan jyrkille katoille asennettavien aurinkopaneelien laadukas suunnittelu. Ohjeistuksesta tulee ilmi, mitä suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa. Ohjeistus tukee ja antaa myös suosituksia aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluprosessissa mukana oleville toimijoille. Ohjeistus on rajattu enimmäkseen rakenne- ja aurinkosähköjärjestelmien suunnittelijoille mutta myös asentajat ja tilaajat hyötyvät sen sisällöstä.

Ohjeistus on tehty Aurinkopaneelit loiville ja jyrkille katoille -opinnäytetyön pohjalta. Opinnäytetyö on toteutettu kirjallisuuskatsauksena, johon on kerätty yhteen olemassa olevaa tietoa aurinkosähköjärjestelmän laadukkaasta suunnittelusta. Lähdeaineistona on hyödynnetty sekä kotimaisia että kansainvälisiä lähteitä.

Tämä ohjeistus ei vähennä tai muuta suunnittelijan tai muun hankkeen osapuolen vastuita tai velvoitteita.

Aurinkopaneelien asennuksen suunnittelu

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu on monipuolinen prosessi. Seuraavia vaiheita noudattamalla saadaan varmistettua jyrkille katoille asennettavien aurinkopaneelien laadukas suunnittelu.

- **Kattotarkastukset**

- Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee tarkistaa katon kunto, kantavuus sekä käyttöikä. Kattotarkastuksessa katon rakenteet tulee kokonaisuudessaan tarkastaa ennen aurinkosähköjärjestelmän asentamista.
- Kattotarkastuksessa tulee katon kunto arvioida niin, että katon käyttöikä vastaa aurinkopaneelien käyttöikää, eikä suurempia remonttitarpeita syntyisi.
- Katon kattoturvatuotteiden kunto ja kiinnitykset tarkistettava.
- Aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa tulee selvittää mahdollisten takuiden voimassaolo. Erityisesti katto- ja vesikatemateriaalin toimittajan takuehdot ovat tärkeä tarkistaa. Samoin on hyvä perehtyä ohjeisiin, jotka koskevat katoille tehtäviä asennuksia ja muutoksia.

- **Kuormitukset**

Tuulikuormat

- Laske tuulikuormat eurokoodin standardia EN 1991-1-4 soveltaen. Standardissa annetaan rakennusten rakennesuunnittelua varten tuulikuormien määrittämisohteita kunkin tarkasteltavan kuormitetun pinta-alan osalta.
- Huomioi, että aurinkopaneeleihin kohdistuviin tuulikuormien laskentaan ei ole vielä selkeää ohjetta, joten tuulikuormat lasketaan mahdollisimman tarkkaan standardia SFS-EN 1991-1-4 sekä Suomen kansallisia liitteitä soveltaen.
- Tuulikuorman määrittämisessä käytetään apuna standardista sekä Suomen kansallisista liitteistä löytyviä painekertoimia sekä vyöhykekaavioita
- Jyrkillä katoilla aurinkopaneelit asennetaan usein samansuuntaisesti kattopinnan kanssa, jolloin paneelit altistuvat samantyyppiselle tuulikuormalle vesikaton kanssa.
- Tuulikuorman vaikutus kuitenkin korostuu, jos aurinkopaneelit asennetaan jyrkempään kulmaan, kuin katon kaltevuuskulma.

Lumikuormat

- Laske lumikuormat eurokoodin standardia EN 1991-1-3 sekä Suomen kansallisia liitteitä soveltaen. Standardissa annetaan ohjeita rakennusten rakennesuunnittelussa käytettävien lumikuormien arvojen määrittämiseksi.
- Vaikka aurinkopaneelit pyritään jyrkillä katoilla sijoittamaan lähelle harjaa, niin joissain tapauksissa aurinkopaneelien yläpuolelle ja harjan väliin muodostuva lumimassa voi lähteä liukumaan ja näin kuormittaa aurinkopaneeleita sekä niiden kiinnikkeitä.
- Liukuvan lumimassan kuorman kaavaa voidaan soveltaa aurinkopaneelien kuormituksen laskennassa.
- Suomessa aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta hyvän lumikuorman kantavuuden saavuttamiseksi. Tällöin myös standardin IEC 62938:n vaatimukset täyttyvät.

Aurinkopaneelien omat painot

- Suunnittelussa aurinkosähköjärjestelmän oman painon tuoma lisäkuorma otetaan huomioon.
- 80 kennoiset aurinkopaneelit kiinnitystelineineen tuo katolle lisäkuormitusta noin $0,14 \text{ kN/m}^2$.
- Aurinkopaneelien valmistajalta saadaan määritetyt neliöpainot koko aurinkosähköjärjestelmälle (kN/m^2).

- Aurinkopaneelien asennus pienentää katon ripustuskuormia, joita kattorakenteelle on suunniteltu. Asennettujen aurinkopaneelien alueella ei ilman rakennesuunnittelijan hyväksyntää voi lisätä ripustuskuormia.

- **Katon rakenteelliset muutokset**

Kattoremontti

- Suunniteltaessa kiinteistöön aurinkosähköjärjestelmää vastaan voi tulla katon rakenteiden vahvistaminen. Mahdollisilla rakenteiden vahvistamisilla varmistetaan katon kantavuus lisääntyviä kuormia vastaan, joita syntyy aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena.
- Suunnitteluvaiheessa kannattaa olla yhteydessä kattoalan ammattilaiseen, sillä vesikatot ovat yksilöllisiä ja niiden erityispiirteet pitää ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa.
- Katon kantavuus on kattotyypistä ja rakennuksesta riippumatta aina tarkastettava ja pystyttävä todistamaan kestäväksi rakennesuunnittelijan toimesta.
- Rakennesuunnittelija määrittelee katon rakenteiden vahvistukset ja muutokset yhdessä kattoalan ammattilaisen kanssa.
- Nykyisten rakentamismääräysten saavuttamiseksi rakennesuunnittelijan on suunniteltava rakenteelliset vahvistukset niin, että olemassa olevat rakenteet saadaan vastaamaan nykymääräysten mukaiset kuormitukset.

Kokonaisvaltainen kattoremontti

- Katto saattaa olla myös siinä kunnossa, että se vaatii kokonaisvaltaista kattoremonttia. Uutta kattoa suunniteltaessa voidaan tapauskohtaisesti miettiä aurinkosähköjärjestelmän asennuksesta johtuvia rakenteellisia muutoksia.
- Rakenteellisten muutoksien ja katolle tehtävien vahvistuksien tekeminen helpottuu, kun muutokset tehdään kattoremontin aikana.
- Rakennesuunnittelija määrittelee katon rakenteiden vahvistukset ja muutokset yhdessä kattoalan ammattilaisen kanssa.

- **Rakennetekniset luvat ja määräykset**

- Paikallisen kunnan rakennusvalvontaviranomaiselta tulee selvittää, vaaditaanko aurinkopaneelien asennukseen rakennus- tai toimenpidelupaa.
- Alueesta ja rakennuksesta riippuen aurinkopaneelien asentamisen lupakäytännöt ja määräykset saattavat vaihdella.
- Kunnan rakennusjärjestyksessä on usein mainittu, mitä aurinkopaneelien asentaminen vaatii, mutta rakennusjärjestyksen määräykset voivat vaihdella kuntakohtaisesti.

- Ympäristöministeriön asetus kantavista rakenteista pykälän 10 mukaan on rakenteen kuormituksen lisääntyessä kantavien rakenteiden suunnittelussa ja toteutuksessa sovellettava asetuksen pykälää 2–5 uusien ja vahvistettavien rakenteiden osalta.

- **Sijainnin valinta**

- Sijainnin valinta on yksi keskeinen asia, joka tulee ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa.
- Aurinkosähköjärjestelmän sijainnin valinta vaikuttaa oleellisesti järjestelmän sähköntuotantoon. Tämän vuoksi sijainnin valinta, varjostukset, paneelien kallistuskulma ja lämpötilojen vaikutus pitää suunnitella huolellisesti.

Varjostukset

- Asennuskohteen varjostukset on huomioitava tarkasti suunnitteluvaiheessa.
- Varjostuksia voivat aiheuttaa esimerkiksi katoilla olevat rakenteet, viereiset rakennukset, alueen puusto sekä toisen paneelirivin aurinkopaneelit.
- Aurinkopaneelien sijainnin valinnassa on otettava huomioon, ettei yksikään paneeli olisi varjostuksen alla päivän aikana.
- Nykyään aurinkosähköjärjestelmiin saadaan asennettua virran optimoijat. Optimoijien käytöllä aurinkopaneeleita voidaan sijoittaa osittain varjostuville alueille, eikä varjoon jäävät paneelit heikennä muiden paneelien tuottoa.

Aurinkopaneelien suuntaus

- Aurinkopaneelien suuntauksella on suuri merkitys tuotannon näkökulmasta. Suomessa parhaaseen vuosituottoon päästään, kun aurinkopaneelit suunnataan etelään päin.
- Jyrkillä katoilla katon kaltevuus on jo usein valmiiksi hyvä aurinkopaneelien asennukseen.
- Harjakaton lappeiden ollessa itään ja länteen, voidaan aurinkopaneelit jaotella molemmille lappeille.
- Aurinkopaneelien suuntaus etelään päin mahdollistaa suurimman hyötysuhteen keskipäivällä, itään päin suunnattu aamupäivällä ja länteen päin suunnattu iltapäivällä.
- Suuntauksessa tulee ottaa huomioon auringon radan vaihtelu, jolloin varjostustekijöitä voi olla useampia.
- Kuvassa 1 (ks. s.13) kuvataan aurinkopaneelien suuntauksen vaikutusta tuottoon 4,5 kWp -järjestelmällä. Kuvassa tuotto on ilmaistu energian mittayksikkönä kWh kuukautta kohti.

Aurinkopaneelien kallistuskulmat

- Aurinkopaneelien kallistuskulma vaikuttaa aurinkosähköjärjestelmän vuosituotannon vakautumiseen.
- Suomessa tuottoisin asennuskulma on 45–50°:n välillä. Kokonaisvuosituotannon heikentymistä nähdään heti paneelien kallistuskulman ollessa jotain muuta mutta erot ovat pieniä.
- Tuottoisimpiin kallistuskulmiin ei aurinkopaneeleita ole kuitenkaan aina mahdollista suunnitella. Kulman lisäksi on otettava huomioon muitakin seikkoja, joista mainittakoon tuulikuorman kasvaminen jyrkempää kallistuskulmaa käytettäessä.
- Kuvassa 2 (ks. s.13) kuvataan 1,2 kWp aurinkosähköjärjestelmien vuosituottoa kolmella eri kallistuskulmalla.

Lämpötilan vaikutus

- Aurinkosähköjärjestelmän vuosituottoa heikentää paneelin ja ympäristön lämpötilan nousu.
- Lämpötilan liiallisen nousun estämiseksi sijainnin valinnassa otetaan huomioon aurinkopaneelien taustan tuulettumisen mahdollisuus.
- Aurinkosähköjärjestelmän rakenteiden ja vesikaton väliin tulee jättää vähintään 10 cm:n rako, jotta aurinkopaneelien tuuletus toteutuu ja paneelit pysyisivät mahdollisimman viileinä.

PVGIS-laskuri

- Euroopan unionin verkkosivulle on luotu ilmainen PVGIS-laskuri, jolla voi tarkastella esimerkiksi suuntauksen vaikutusta tai laskea vuosituottoennusteen tarkkaan osoitteeseen.
- Laskuriin syötetään kohteen osoite, aurinkosähköjärjestelmän teho, suuntaus ja kallistus.
- PVGIS-laskurin toiminta perustuu auringon säteilyn voimakkuuksiin ja lämpötilastoihin, jotka ovat tehty satelliittimittauksin.

• Sijoittelu

- Aurinkopaneelien sijoittelussa on tärkeää, että paneelit saataisiin suunnattua niin, että auringonsäteet osuvat niihin mahdollisimman pitkään koko päivän ajan.
- Aurinkopaneelien sijoittelun suunnittelussa tulee ottaa myös monia muita asioita huomioon, kuten esimerkiksi varjostukset, katon rakenteellinen toimivuus, paloturvallisuus sekä turvallinen liikkuminen katolla.
- Kuvassa 3 (ks. s.14) on esitetty esimerkinomaisesti aurinkopaneelialueen turvaetäisyyksiä sekä rajauksia, joihin paneelit voidaan jyrkillä katoilla sijoittaa. Aurinkopaneelit tulee jättää vähintään 0,8 metrin etäisyydelle lumiasteista, jotta

mahdollistetaan lumien kertyminen lumiesteiden eteen. Paneelikentän osiin jako ei koske kattoja, joiden kate on vähintään A2-s1, d0 -luokan materiaalista valmistettua.

Rakenteellinen toimivuus

- Jyrkkien kattojen rakenteellinen toimivuus ei saa heikentyä aurinkopaneelien sijoittelun seurauksena.
- Sadeveden esteettömän virtauksen ja katon puhtaanapidon takia tulisi aurinkopaneelien ja vesikaton väliin jättää vähintään 10 cm:n rako.

Turvallinen liikkuminen ja huoltokohteet

- Katolla turvallinen liikkuminen on varmistettava, joten paneelien sijoittaminen on suunniteltava niin ettei liikkuminen hankaloidu.
- Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida katolla sijaitsevat erilaiset huoltokohteet, ilmanvaihdon putket tai laitteet sekä antennit.
- Jyrkillä katoilla olevat kattoturvaluotteet kuten tikkaat ja kulkusillat on otettava sijoittelussa huomioon. Niihin tulee jättää 0,3 metrin etäisyys aurinkopaneeleista.
- Kattokaivoihin tai korkeisiin ilmastointi- tai savuhormeihin tulisi jättää etäisyyttä 0,5–1,0 metriä.
- Vesikaton päätyräystästä aurinkopaneelit tulisi sijoittaa vähintään 0,5 metrin etäisyydelle ja katon harjasta 0,3 metrin etäisyydelle.
- Aurinkopaneelien lisäksi katolla olevien muidenkin huoltotoimenpiteitä vaativien kohteiden huolto tulee säilyttää. Turvallisen huollon varmistamiseksi on kattoturvaluotteita lisättävä, mikäli aurinkosähköjärjestelmän sijoittelu estää huollon suorittamista olemassa olevilla kattoturvaluotteilla.

Paloturvallinen sijoittelu

- Aurinkopaneelien sijoittelussa tulee huomioida paloturvallisuus.
- Katoilla aurinkopaneelien sijoittelussa palomuriin jätetään vähintään 2,5 m vapaata tilaa, ellei pystysuuntainen palokatko ylety 0,5 m aurinkosähköjärjestelmän osien yläpuolelle.
- Palomuurien yli menevät aurinkopaneelijärjestelmän osat on palosuojattava niin, etteivät ne vaikuta palo-osaston toimintaan.
- Aurinkopaneelijärjestelmän osia ei tule sijoittaa katon alueelle, joka on jaettu osiin vaakasuoralla palokatolla.
- Suunnitteluvaiheessa otetaan selvää, onko katolla alueita, joita joudutaan sahaamaan tulipalotilanteessa auki. Mikäli tällaisia kohtia ilmenee, tulee aurinkopaneelien sijoittelua näihin kohtiin välttää.

- Aurinkopaneelien sijoittamista rakennuksen ilmanottoaukkojen läheisyyteen ja niiden alapuolelle tulee välttää. Tällä vältetään mahdollisen tulipalotilanteesta aiheutuvan myrkyllisen savun leviäminen rakennukseen. Mikäli paneelien sijoittamista ilmanottoaukkojen läheisyyteen ei voida välttää, tulisi raitisilmakanavaan lisätä savuun reagoiva palonrajoitin.

Rivivälit

- Jyrkillä katoilla kiinnitysjärjestelmän asennustelineet asennetaan normaalisti 800–1 200 mm jännevälillä riittävän asennuslujuuden saavuttamiseksi.

• Kiinnitysjärjestelmät

- Jyrkille katoille on olemassa erilaisia kiinnitysjärjestelmiä ja kiinnitysmenetelmiä.
- Aurinkopaneelien kattokiinnikkeet kiinnitetään jyrkillä katoilla yleensä mekaanisesti joko katemateriaaliin tai katon tukirakenteisiin kattomateriaalin mukaan.
- Tyypillinen kattokiinnikkeiden jako on 900–1 200 mm.
- Aurinkopaneelien asennusjärjestelmään kohdistuu kinostumisesta aiheutuvia lumikuormia, normaaliolosuhteen lumikuormia ja tuulikuormia, joita vastaan ne tulee kiinnittää tukevasti paikoilleen.
- Jyrkillä katoilla joudutaan katemateriaalista riippuen joskus tekemään vesikatteeseen läpivientejä mekaanista kiinnitystä varten. Läpivientien vesitiiveys tulee olla vähintään katemateriaalin käyttöiän pituinen.
- Aurinkopaneelien kiinnityksessä pitää huomioida sadeveden virtaussuunnat ja varmistaa, ettei vesi pääse patoutumaan katolle paneeliasennuksien takia.
- Aurinkopaneelien kiinnitysjärjestelmää valittaessa kannattaa huomioida niiden asennustekniikka, jotta asennusaikainen työskentely helpottuisi. Katon katevalmistajien mahdolliset edellytykset kiinnitysjärjestelmään on otettava myös huomioon.
- Nykyisen ohjeistuksen mukaisesti aurinkopaneelit tulee kiinnittää niiden pitkältä sivulta, jolloin niiden kuorman kantavuus paranee.
- Kiinnitysjärjestelmät määräytyvät aina tapauskohtaisesti eri asennuskohteiden mukaan. Lähtökohtaisesti on suositeltavaa käyttää valmistajien tarjoamia vakioratkaisuja.

• Turvallisuusnäkökohdat

- Aurinkopaneelien turvallinen asennus katolle tapahtuu laadukkaasti suunnittelun, laadukkaista komponenteista toteutetun ja oikealla tavalla asennetun työn seurauksena.

- Aurinkopaneelien asennukseen katolle on kuitenkin olemassa myös turvallisuuskohdista tarkasteltavia asioita, joista merkittävimpiä ovat paloturvallisuus ja pelastushenkilöstön työturvallisuus.

Paloturvallisuus

- Aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamat tulipalot ovat harvinaisia.
- Väärin mitoitetut sähköjohtimet ja sulakkeet, riittämätön laatu ja yhteensovituksen puutteet asennuksissa sekä sähköliitosten heikko toteutus ovat yleisimpiä syitä aurinkosähköjärjestelmien syttymisille.
- Suunnitteluvaiheessa on tärkeää huomioida, ettei rakennuksen paloturvallisuus heikenny miltään osin.
- Suunnitteluvaiheessa paloturvallisuuden säilyttämiseksi huomioon on otettava esimerkiksi rakenteiden kantavuus, osastoitavuus sekä eristävyys.
- Maankäyttö- ja rakennuslaissa on määritelty, että rakennuksen rakentamisessa käytettävät tekniset laitteet on oltava paloturvallisuuden kannalta soveltuvia rakennukseen.
- Aurinkosähköjärjestelmän tiedot tulee löytyä tieto- /kohdekortista, joka luodaan paikallisten ohjeistuksien mukaan.
- Suunnitteluvaiheessa pelastusviranomaisten vaatimukset hormivaikutuksista tulee selvittää varsinkin kattomateriaalin ollessa helposti palavaa.

Paloturvallisuusohje

- Paloviranomaisten julkaisemat paloturvallisuuden suositukset ja velvoitteet tulisi ottaa huomioon aurinkosähköjärjestelmää suunniteltaessa.
- Pelastuslaitoksen vuonna 2023 julkaistussa aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohjeessa on kattavasti tietoa aurinkosähköjärjestelmiin vaikuttavista paloturvallisuusasioista.
- Ohjeessa on kattavasti kuvattu riskeihin liittyvät turvallisuusmääräykset ja turvallisuusohjeet. Ohjeessa annetaan myös pelastushenkilöstön näkemyksiä pelastustoiminnan mahdollistamiseksi ja hyvän paloturvallisuuden toteutumiseksi aurinkosähköjärjestelmällisissä rakennuksissa.
- Ohjeesta löytyy tietoa myös paloluokittain aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamista paloriskeistä ja riskeihin varautumisesta.
- Ohje on tällä hetkellä kattavin lisäohjeistus aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuuteen liittyen ja ohjeen sisäistäminen on suositeltavaa.

Paloturvallisuuden parantaminen suunnitteluvaiheessa

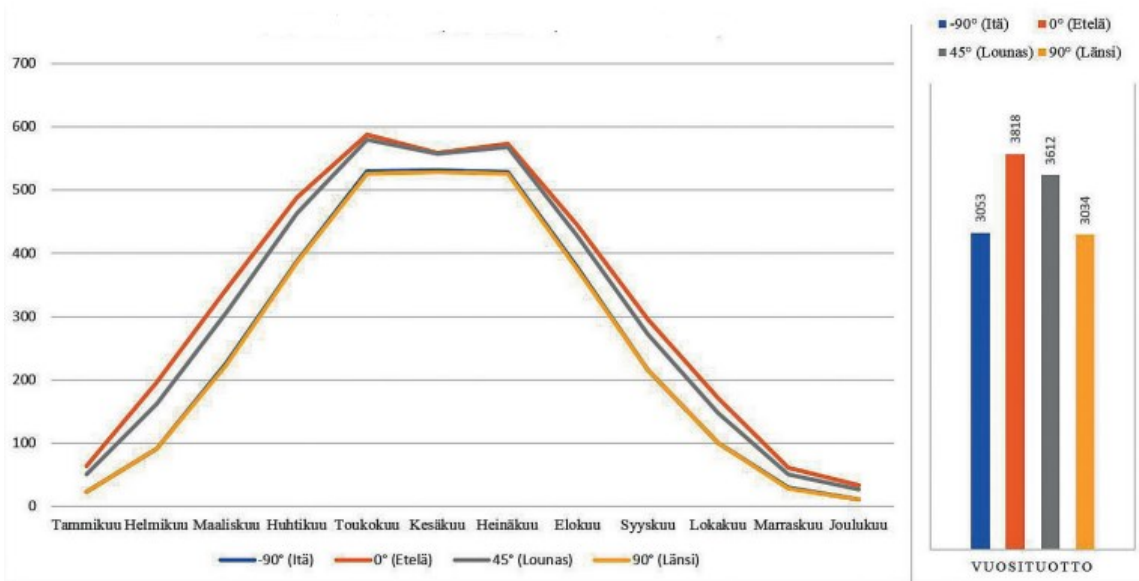
- Suurille paneelientille tulisi suunnitella palon sammutuksen mahdollistamiseksi rajoituslinjoja, joihin palo saataisiin pysähtymään.
- Aurinkosähköjärjestelmä tulee suunnitella niin, että se noudattaa samaa paloturvallisuussyistä tehtyä osiin jakoa kuin kattopinnat. Kattopinnan osiin jako ei saa heikentyä aurinkosähköjärjestelmän asennuksen seurauksena.
- Suuria aurinkosähköjärjestelmiä suunniteltaessa tulee sammutusveden saanti ottaa huomioon. Sammutusvesi tulee olla saatavilla vähintään 40 m:n päästä paneelientän kauimmaisesta pisteestä.
- Suunniteltaessa aurinkosähköjärjestelmää kohteeseen, jossa katemateriaali ei ole palamatonta materiaalia, tulee aurinkopaneelien rungon mahdollinen sulaminen huomioida tulipalotilanteessa. Sulavasta rungosta tippuvat pisarat eivät saa levittää paloa. Tämä tulee estää esimerkiksi palamattomalla alustalla tai pyrkimällä sijoittamaan paneelit niin, ettei pisarointi levitä paloa tai vaikuta sen etenemiseen.
- Suunniteltaessa laajan pinta-alan täyttävää aurinkopaneelienttä, jossa aurinkopaneelit ovat palavatarvikkeisia, voidaan ne tulkita palavina kattopintoina. Tällöin paneeleille tulee vaatimuksia rakennuksen paloturvallisuudesta.
- Aurinkosähköjärjestelmien eri opasteiden ja merkintöjen paikat tulee suunnitella kohtiin, joista on kulku katolle. Opasteet ja merkinnät tulee sijoittaa tikkaiden, ulkoportaiden sekä kaikkien katolle johtavien reittien läheisyydessä. Turvakytkimien sijaintipaikat tulee lisätä kohdekorttiin.

• Katon huolto ja seuranta

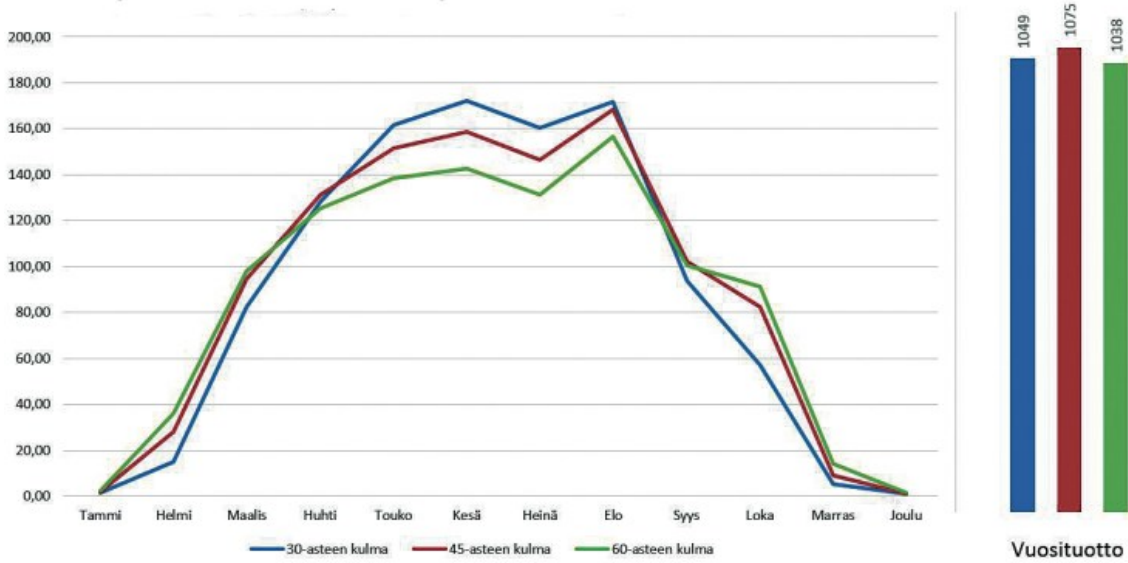
- Katto teknisenä rakenteena vaatii huoltoa ja seuranta, jotta se kestä sille suunnitellun käyttöajan ongelmitta.
- Säännöllisellä kaksi kertaa vuodessa suoritettavilla kattotarkastuksilla ja mahdollisilla huolloilla varmistetaan kaikkien kattojen toimivuus niin kuin ne on suunniteltu toimivaksi kaikilta osiltaan.
- Katon huollon tulee onnistua ongelmitta aurinkopaneelien asennuksen jälkeen.
- Katon huoltoa helpottaa suunnitteluvaiheessa hyvin suunniteltu aurinkopaneelien sijoittelu ja hyvin toteutettu asennus.
- Kattoliitto on luonut katon huoltoon eri katemateriaaleille tarkoitetut huolto-ohjeet, joiden avulla katon huolto ja tarkastukset on helppo toteuttaa säännöllisesti sekä asianmukaisesti. Huolto-ohjeiden avulla huolto ja tarkastukset tulevat myös dokumentoitua oikein.

- **Aurinkopaneelien huolto ja seuranta**

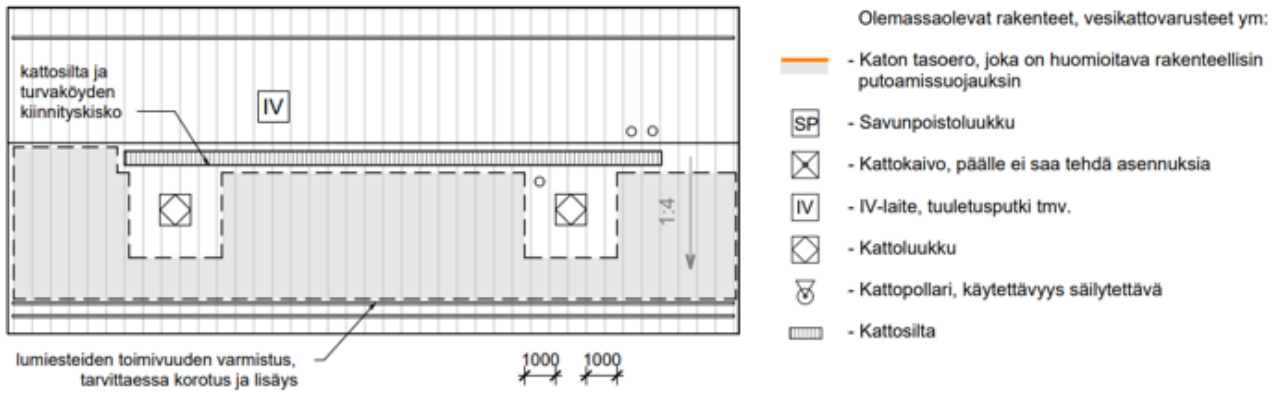
- Aurinkopaneelit ovat teknisiä laitteita ja tarvitsevat huoltoa ja seuranta.
- Kun aurinkopaneelijärjestelmä on asennettu oikein, niin sen pitäisi lähtökohtaisesti toimia ilman jatkuvaa ylläpitoa.
- Huolto ja kunnossapitosuunnitelman laatiminen aurinkopaneeleille on suositeltavaa.
- Aurinkopaneelien säännölliseen vuositarkastukseen kuuluvat muun muassa seuraavat tarkastukset:
 - aurinkopaneelien kunnan tarkistus
 - tarkistus, että paneelit ovat tukevasti kiinni kiinnikkeissään
 - vesien poisjohdatusten toimivuuden tarkistus
 - kattoon mahdollisesti tehtyjen läpivientien tarkastus mahdollisuuksien mukaan sisä- ja ulkopuolelta
 - invertterin ja mahdollisten varoitusvalojen toiminnan tarkistus; käynnistetään invertteri tarvittaessa uudelleen
 - kytkimien, liittimien sekä muiden komponenttien tarkistus mahdolliselta ylikuumentumiselta tai kosteudelle altistumiselta
 - tarkistus, että kaapelit ovat ehjiä ja paikoillaan
 - vuosittaisessa aurinkosähköjärjestelmän mittauksessa selviää, onko järjestelmässä heikkenemää
 - suojalaitteiden ja kytkimien varmistus
 - aurinkopaneelivalmistajan muut vaaditut huoltotoimenpiteet, jotta takuehdot säilyvät
- Vuositarkastuksessa voidaan käyttää apuna Motivan laatimaa aurinkosähköjärjestelmän vuosihuoltosuunnitelmaa.
- Talvella aurinkopaneelien päälle satanutta lunta ei yleensä ole kannattavaa poistaa. Kattorakenteiden mitoitus voi kuitenkin vaatia, että lumet on talvisin poistettava katon sekä aurinkopaneelien päältä.
- SFS-EN IEC 62446-2 standardin taulukko 3 antaa myös kattavan listan tarkastustehtävistä aurinkosähköjärjestelmän tarkastuksille. Standardi ei kuitenkaan määritä kunnossapidon ja tarkastuksen väliaikojen pituuksia.
- Lisäksi standardin osassa IEC 62446-3 on määritelty aurinkopaneelien infrapuna- eli lämpökuvaustarkastukset.



Kuva 1. Suuntauskulman vaikutus tuottoon.



Kuva 2. Aurinkosähköjärjestelmän tuottoja vuodelta 2015.



Kuva 3. Esimerkki aurinkopaneelialueen sijoittelusta jyrkällä katolla.