

Sisekaitseakadeemia

Päastekolledž

Enn Valk

**PÄIKESEELEKTRISÜSTEEMIDE PAIGALDAMISEGA
SEONDUVAD RISKID TULEOHUTUSE KONTEKSTIS**

Lõputöö

Juhendaja: Riina Kroonberg, MA

Kaasjuhendaja: Garri Mölder, BA

Tallinn 2024

ANNOTATSIOON

Päästekolledž	Mai 2024
<p>Töö pealkiri eesti keeles: „Päikeseelektrisüsteemide paigaldamisega seonduvad riskid tuleohutuse kontekstis“</p> <p>Töö pealkiri võõrkeeles: „The risks associated with the installation of solar power systems in the context of fire safety“</p> <p>Lõputöö on koostatud eesti keeles ja koosneb 39 leheküljest ning koos lisadega on 52 lehekülge, lõputöö on kasutatud 39 allikat. Lõputöö on aktuaalne, kuna päikeseenergiasüsteemide paigaldamine hoonetele on jätkuvas trendis ja riigipoolne kohustus võetud minna üle taastuvatele energiaallikatele. Uurimisprobleem on Kas Eestis paigaldatavad päikesepaneelid vastavad tuleohutuse nõuetele? Lõputöö eesmärgiks on selgitada välja, Eestisse toodavate ning ehitistele projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuleohutus. Töö teoreetilises osas antakse ülevaade päikeseenergia süsteemide toimimisest ja tuleohutuse katsetest. Empiirilises osas tutvustatakse töö metoodikat, analüüsitakse välisriikides päikesepaneelide paneelide katustele paigaldamise dokumente, mille alusel koostati küsimustik ekspertintervjuudeks. Intervjuude analüüsist selgus, et päikesepaneelide tuleohutus on küsitletud äriühingutes arusaadav ja tuleohutuse klasse võetakse maale toomisel ja projekteerimisel arvesse. Sellest lähtuvalt on saanud vastuse lõputöö pealkirjas seisnev probleemaatika, et tuleohutuse klassi arvesse võtmine maandab ka riskid tuleohutuse kontekstis. Ala on kiiresti arenev ja turul on uusi alternatiive ohutuse tagamiseks päikeseenergia tootmisel, mis on selles valdkonnas loomulik, uued arengud vajavad uut uuringut.</p>	
Võtmesõnad: päikesepaneel, päikeseenergia, paigaldus, hooldus, taastuvenergeetika, tulekatse	
Võõrkeelsed võtmesõnad: pv-system, solar panel, spread of flame, burnig brand test	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia raamatukogu	
<p>Töö autor: Enn Valk</p> <p>Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjalikest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Annan Sisekaitseakadeemia tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Sisekaitseakadeemia raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni. Annan loa teose üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Sisekaitseakadeemia veebikeskkonna kaudu sealhulgas Sisekaitseakadeemia raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni. Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.</p> <p>Allkiri: (allkirjastatud digitaalselt)</p>	
Vastab lõputöö nõuetele	
Juhendaja: Riina Kroonberg	Allkiri: (allkirjastatud digitaalselt)
Vastab lõputöö nõuetele	
Kaasjuhendaja: Garri Mölder	Allkiri: (allkirjastatud digitaalselt)
Kaitsmisele lubatud	
Kolledži direktor: Janis Otsla	Allkiri: (allkirjastatud digitaalselt)

SISUKORD

ANNOTATSIOON	2
MÕISTETE JA LÜHENDITE SELGITUS	4
SISSEJUHATUS.....	5
1. PÄIKESEELEKTRISÜSTEEMIDE ÜLEVAADE JA NENDE KATUSTELE PAIGALDAMISE TEOREETILISED ALUSPÕHIMÕTTED	9
1.1 Päikeseenergia	9
1.2 Päikeseelektrisüsteemide tehnoloogia ja komponentide kirjeldus	11
1.3 Päikesepaneelide tuletundlikkuse standardid ja tuleohutus	18
2. EMPIIRILINE UURING	22
2.1 Uuringu meetodika, valim ja protsess.....	22
2.2 Dokumendianalüüs.....	23
2.3 Ekspertintervjuude analüüs	29
2.4 Uuringutulemuste järeldused ja ettepanekud	38
KOKKUVÕTE	41
SUMMARY	43
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	45
LISAD.....	50

MÕISTETE JA LÜHENDITE SELGITUS

Taastuvad energiaallikad (lühendatult „taastuenergia“) – energia ressurss, mida saab kasutada lakkamatult või mis taastub ökosüsteemi aineriingete käigus ilma, et selle kogus inimkultuuri eksisteerimise ajamastaapi silmas pidades oluliselt kahaneks. (Eestis: päikesekiirgus, tuul, biomass (sh biogaas), lained, geotermaalenergia, keskkonnasoojus).

Kütusevabad energiaallikad – (päikesekiirgus, tuul, lained, geotermaalenergia)

BAPV – *Building Applied Photovoltaics* – Päikesepaneel, mida kasutatakse ehitiste peal

BIPV – *Building Integrated Photovoltaics* – Päikesepaneel, mis on ehitise osa (näiteks katusekattepaneel, kuhu on tehases juba pealmiseks kihiks päikeseelemendid)

PES – Päikeseenergiasüsteem

TÜV Rheinland - juhtiv rahvusvaheline tehniliste teenuste pakkuja

MCS - Microgeneration Certification Scheme

Off-grid – süsteem, mis ei ole ühendatud välisesse elektrivõrku

Grid-hybrid – süsteem, mis on ühendatud tootja akupanka ja on ühendatud ka elektrivõrguga

On-grid – süsteem, mis on ühendatud otse välisesse elektrivõrku

Roof-top - hoonete katustel asetsevad süsteemid

SISSEJUHATUS

Käesolev töö käsitleb päikeseenergiasüsteeme, mis peaksid tulevikus muutma igapäevaseks osaks arhitektidele hoone projekteerimisel, ehitajatele paigaldamisel, tehnikutele hooldamiseks ja kasutajale tarbimiseks. Vabariigi Valitsuse 20.10.2017 - korraldusega nr 285 heaks kiidetud „Energiamajanduse arengukava aastani 2030“ eesmärgid näevad ette:

- taastuvatest energiaallikatest elektri tootmine moodustab 50% sisemisest elektri lõpptarbimisest;
- läbi rekonstrueerimistegevuse on suurenenud hoonete energiatõhusus (väikeelamutest 40% = C või D energiatõhususarvu klass; korterelamutest 50% = C; mitteelamud 20% = C).

Kütusevabade energiaallikate osakaal lõpptarbimises peab moodustama aastal 2030 vähemalt 10%. Päikeseenergia kasutus väikelahendustes suureneb arengukava prognooside järgi kuni 100 MW võrra aastaks 2050 (Vabariigi Valitsus, 2017, lk 7, 8).

Sellest tingitult hakkab riik soodustama elektri tootmises taastuvate energiaallikate kasutamist ja hoonete renoveerimisel seatakse ette energiatõhususklassid, mille saavutamiseks tiheasustuspiirkondades on päikesepaneelide kasutamine üks alternatiive.

Rahvusvaheline energiaagentuur (edaspidi IEA) uuris taastuvenergia tehnoloogiaid, mille eesmärk on vähendada kasvuhoonegaaside heitmeid aastaks 2050 Selle tulemusena saab ülemaailmselt vähendada süsinikuheitmeid umbes 70%, kasutades taastuvenergia allikaid puhta elektri tootmiseks (Choudary, *et al.*, 2019, p. 590). Samuti leiavad Messenger ja Ventre (2005, p. 6), et maailma energiavajadus on pidevalt kasvamas ja suurenev energiatarbimine avaldab tugevat survet traditsioonilistele energiaallikatele (naftaproduktid, gaas, süsi). Fossiilkütuseid on piiratud koguses ja nad põhjustavad keskkonnareostust, mistõttu tuleb inimkonnal leida tee alternatiivsetele energiaallikatele.

2022. aastal esitas Euroopa Komisjon REPower EL-i kava, eesmärgiga pakkuda lahendusi Venemaa sissetungist Ukrainasse põhjustatud probleemidele ja selletõttu ülemaailmsel energiaturul tekkinud kriisile. Kava kohaselt on Euroopa energiasüsteem vaja ümber kujundada kahel põhjusel: Venemaa fossiilkütustest olid sõltuvad paljud EL riigid, mida

kasutati majandusliku ja poliitilise relvana importivate riikide vastu, ning teiseks võidelda üleilmse kliimakriisiga. Taastuvenergia kiirem ja ulatuslikum kasutuselevõtt suurendab energiasõltumatust, annab hoogu rohepöördele ja alandab aja jooksul elektri hinda. Ambitsioonikam eesmärk on aluseks ka järgmistele algatustele:

- ELi päikeseenergia strateegia, mis aitab 2025. aastaks kahekordistada päikeseelektri tootmisvõimsust ja paigaldada 2030. aastaks 600 GW ulatuses lisavõimsust.
- päikesekatuste algatus, millega kehtestatakse järkjärguline juriidiline kohustus paigaldada päikesepaneelid uutele üldkasutatavatele- ja ärihoonetele ning uutele eluhoonetele. (Elering, 2022, lk 70)

Fotogalvaaniliste (PV) jaamade arv ja paigaldatud võimsus on maailmas viimase aastakümne jooksul suurenenud. Selle kasvuga kaasnevad suurenevad riskid, mille hulgas on tuleohutusrisk pälvinud nii ametiasutuste, jaamade omanike kui ka teiste sidusrühmade (näiteks kinnisvaraomanike) tähelepanu, kuna päikeseelektrijaamade tulekahjude arv on tõusmas. 2012. aastal toimus Itaalias ligikaudu 600 päikeseelektrijaama tulekahju (Fiorentini, *et al.*, 2016, p. 428). Sarnaselt on Aram, *et al.*, (2021, p. 1) viidanud juhtumile kus vähemalt seitsmes Walmarti poes, milledele olid paigaldatud päikesepaneelid oli toimunud paneelide põlengud. Aram, *et al.*, (2021, pp. 2-14) viisid läbi süstemaatilise ülevaade päikesepaneelide tulekahjustest ja nende põhjustest; tulekahjude karakteristikutest ja leevendusstrateegiatest, ning kehtivatest normidest ja standarditest, eesmärgiks saada ülevaade, mis aitaks tuvastada teaduslikke tühimikke PV-süsteemide tuleohu mõistmisel ja aitaks kaasa PV-süsteemide laiale ja ohutule kasutamisele hoonetes.

Eelnevast tuleneb töö **aktuaalsus**: Eesti riik on võtnud endale kohustuse aastaks 2030 üle minna 50% ulatuses taastuvenergiale ja suurt potentsiaali nähakse selles päikeseenergia kasutamises. Seega on alust arvata, et päikesepaneelid katustel saavad normaalsuseks üldkasutatavates äri- ja eluhoonetes ning tööstusettevõtetes. Teisalt, kuna päikesepaneel on elektripaigaldis, võib sellega kaasneda suurenenud tuleohu risk.

Sisekaitseakadeemias on päikesepaneelide teemal koostanud lõputöö Karel Soosaar (2015), kus ta käsitles kustutustöödega seonduvaid ohte päikesepaneelidega hoonetes. Kokkuvõttes on autor edaspidiseks seadnud mõtte uurida milliseid päikesepaneelide Eestis kõige enam kasutatakse ja millised ohud võivad nende põlemisel kaasneda. Tallinna

Tehnikaülikoolis on kirjutatud töö päikeseenergia kasutamise eelistest ja probleemidest (Hermann, 2018, „Päikeseenergia kasutamise võimalused“), kuid tuleohutuse riske selles töös ei tooda välja.

Kustutustööd ja põlengud päikeseenergiasüsteemidega (edaspidi PES) varustatud hoonetes on väga oluline teema, samuti on oluline süsteemide tuleohutumaks muutmine hoonetes, sest Päästeameti vaates on tegemist ennetustegevusega. Eestis paigaldatavatele päikeseenergiasüsteemidele ei kehti praegu ühtseid ja selgeid nõudeid, sisuliselt saab paigaldada igasuguseid (Euroopas ja mujal) tunnustatud ja tunnustamata süsteeme. Käesoleva töö **uudsus** seisneb selles, et autorile teadaolevalt pole Eestis PES tuleohutuse teemat selle vaatenurga alt veel uuritud.

Uurimisprobleem: kas Eestis paigaldatavad päikesepaneelid vastavad tuletundlikkuse nõuetele?

Uurimisküsimused:

- Milline on päikeseenergiasüsteemide ülesehitus ja toimimise põhimõtted?
- Millisteks tuletundlikkuse klassidesse jagunevad päikesepaneelid, ning millised katsed neid määravad?
- Kas katusele paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkuse nõuded on Eestisse tarnitavatel seadmetel võrreldavad uuritavates riikides kehtestatud nõuetega?

Töö **eesmärk** on välja selgitada Eestisse toodavate ning ehitistele projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkus ning nõuete võrdlus teiste riikidega.

Uurimisküsimustele vastamiseks püstitati töös järgmised **uurimisülesanded:**

- analüüsida ja anda ülevaade päikeseelektrisüsteemide olemusest ja toimimise põhimõtetest;
- selgitada välja meetodid, kuidas päikesepaneelide tuletundlikkust mõõdetakse;
- anda ülevaade Saksamaal, Ühendkuningriigis, Soomes ja USA-s kehtivatest nõuetest päikeseenergiasüsteemide paigaldusele koosmõjus Eestis olemasolevate nõuete võrdluses.

Kasutatav metoodika:

Lõputöös kasutatakse kvalitatiivset andmete kogumise- ja analüüsimetodeid. Kvalitatiivselt teostatakse dokumendianalüüs, sest sellega saab täiendada teisi andmekogumismeetodeid, nt intervjuusid (Laherand, 2008, lk 258), mida on küsimustiku koostamisel kavandatud. Valim on eesmärgist lähtuv, sest uuritakse ainult ehitusnõudeid ja standardeid ning saadud andmeid analüüsitakse, mida töös esitatakse tabelina. Empiirilises osas viiakse läbi lõputöö eesmärgi saavutamiseks kvalitatiivne uuring eksperdiintervjuudena, sest intervjueeritavad ei paku uurijale huvi mitte niivõrd inimestena, kuivõrd ekspertidena teatud valdkonnas (Laherand, 2008, lk 199). Eesmärgist lähtuv valim (Õunapuu, 2014, lk 143) on moodustatud PES projekteerijatest, maaletoojatest ja päikesepaneelide paigaldajatest, kellel on vastav oskusteave PES süsteemidest. Eksperdiksid on valimis spetsialistid, kellel on oma eriala kutsetunnistus. 2009. aasta „Eesti keele seletav sõnaraamat“ annab sõna eksperdile tähenduse: „Mingi ala asjatundja, keda rakendatakse eriteadmisi nõudvate küsimuste lahendamiseks“. Eesmärk on saada ülevaade millistele tuleohutusnõuetele vastavaid päikesepaneelide praegu paigaldatakse, mille alusel valik tehakse ning kas ja kuidas nõuetega katusele paigaldamisel arvestatakse. Andmete analüüsimiseks kasutatakse analüüsimetodina kvalitatiivset sisuanalüüsi.

Lõputöö koosneb kahest peatükist, mis omakorda jagunevad alapeatükkideks. Esimeses peatükis antakse ülevaade päikeseelektrienergia tootmise suurendamise vajaduse tagamaadest, päikeseenergiasüsteemide tehnoloogiast ja selle komponentidest ning päikesepaneelide tuleohutuse nõuetest ja paigaldamisest katustele. Teises peatükis viiakse läbi empiiriline uuring süsteemide projekteerijate, maaletoojate ja paigaldajate seas, saamaks ülevaate Eestis maale toodavate, projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuleohutuse klasside hetkeseisust. Empiiriline uuring hõlmas laiemalt omavahelist suhestumist tuleohutuse klasside ja tuleohutuse vahel.

1. PÄIKESEELEKTRISÜSTEEMIDE ÜLEVAADE JA NENDE KATUSTELE PAIGALDAMISE TEOREETILISED ALUSPÕHIMÕTTED

1.1 Päikeseenergia

Rahvusvaheline energiaväljavaade (International Energy Outlook, 2019) ennustab, et taastuvenergia saab üle maailma juhtivaks primaar-energia allikaks aastaks 2050, tõrjudes vähemusse fossiilkütused ja muud energiaallikad. Päikeseenergia on üks roheenergia parimaid tootmisvõimalusi, kuna seda on ohtralt ja lõpmatult, seni kuni päike paistab. (Mohd Nizam Ong *et al.*, 2022, p. 2)

Päike toodab kiirgust, soojust ja valgust, mida saab koguda ja muuta elektrienergiaks mitmesuguste tehnoloogiate abil. Päikeseenergia tehnoloogiaid jagatakse passiivseks ja aktiivseks. Passiivne tehnoloogia hõlmab termilise energia imendumist ja salvestamist, ilma, et energiat muudetakse teistesse vormidesse. Aktiivsel tehnoloogia puhul kogutakse päikeseenergiat ja kasutatakse mehaanilisi- ja elektrisüsteeme päikeseenergia muundamiseks elektrienergiaks. (Kabir *et al.*, 2018, p. 896)

- Päikesekiirguse toimetel töötav soojuselektrijaam, päikeseenergiaga kuumutatakse vett keemiseni, vee aur paneb turbiini tööle, millega omakorda toodetakse elektrit.
- Fotoelektrilistel moodulitel põhinev jaam, milles toimub fotogalvaaniline protsess, mille käigus muundatakse päikesevatereide abil päikesevalgus otse elektriks.

Antud töös keskendutakse fotoelektriliste (*PV-photovoltaic*) moodulitega varustatud hoonetele, mis toodavad elektrienergiat nii oma tarbeks, kui ka müümiseks elektrivõrku.

Fotoelektriline efekt on füüsikaline nähtus, mis tekib siis, kui valgus langeb materjalile ja põhjustab elektronide emissiooni. Alexandre Edmond Becquerel avastas esmakordselt PV efekti aastal 1839. (Mohd Nizam Ong *et al.*, 2022, p. 3). Selle efekti olemuse selgitas Albert Einstein 1905. aastal ja tema teoreetiline seletus tõi talle 1921. aastal Nobeli füüsikaauhinna (Pinn, *et al.*, 2012, p. 152).

Eleringi andmetel toodeti Eestis 2021. aastal taastuvatest allikatest 2578 elektrienergiat, mis moodustab 27% elektrienergia kogutarbimisest Eestis (Eesti Taastuvenergia koda, lk 17).

Arvestades võimalust tiheasustusel (linnades) paigaldada päikeseenergia süsteeme, on enamlevinud paneelide paigutamise asukoht hoonete katused. Paneelide kõrgema energiatootlikkuse saavutamiseks peavad nad olema paigaldatud kohtadesse, kuhu ei teki päikesevarje (puud, kõrgemad kõrvalhooned, jne). Shabbir, *et al.*, (2022, p. 2), väidab, et olulised on ka paneelide paigaldamisel kalded, milleks optimaalne Eesti tingimustes on 38 - 40 kraadine nurk. Oluline on suunatus päikese suhtes ja eelistatud on lõuna suund (Pinn, *et al.*, 2012, p. 155). Antud töös keskendutakse katustele paigaldatud (*roof-top*) süsteemidele.

Päikeseenergia peab üha enam leidma kasutust elektrienergia kogutoodangust. Viimasel kümnendil on päikeseenergia kasutuselevõtmisega seonduvad kulud langenud, seda ilmestab päikesepaneelide tootmise tehnoloogia areng, nende hindade langus ja efektiivsuse tõus. Suurima päikesepargi võimsus Eestis on 4,5 MW, keskmiseks päikeseelektrijaama võimsuseks on ca 40 kW. 2022. aasta keskel oli Eestis jaotusvõrkudega ühendatud tootmisüksusi kokku 13 113 jaama ja päikesejaamade kogutootmine aastas oli 474 MW. (Elering, 2022, lk 74)

Eesti taastuvenergeetika koja hinnangul pole elektrivõrku müüdnud päikeseelektri kogus päris objektiivne – tegelik päikeseelektri toodang Eestis on suurem, osa toodetud elektrist tarbitakse kohapeal, ning ei jõua arvestiteni. Kohapeal tarbitud päikeseelektri hulga kohta andmed puuduvad, see toodetud üldkogus on raskesti mõõdetav. Lisaks on energiavõrgu välised (*off-grid*) tootjad, kelle elektritoodang tarbitakse vaid kohapeal, mis statistikas ei kajastu. Seega on kõigi tootjate koguarvu lõplikku täpsust keeruline hinnata. Eesti päikeseenergia potentsiaali saab võrrelda Saksamaaga, kus aastane päikesest tulenev kiirguse hulk on suurem kuid võrreldav Eestiga. Vastukaaluks saame arvestada Eesti kliima madalamaid temperatuure, mis teistpidi tõstavad paneelide efektiivsust. Saksamaa on maailma üks enim päikesest energiat tootev riik. (Eesti Taastuvenergia koda, lk 23)

Eesti asub Euroopa põhjaosas, kus on päikese kiirgus vahemikus 900 kuni 1100 kWh/m². Päikeseenergia potentsiaali hindamisel võetakse arvesse, et Eestis on talv oluliselt pikem võrreldes suveperioodiga. Talvine päevavalgusaeg on tavaliselt umbes 6–7 tundi ja suvel umbes 18–20 tundi. Kuigi päikeseenergia potentsiaal ei ole suur, on see siiski piisav, et varustada väikeseid majapidamisi ja eluhooneid. (Shabbir, *et al.*, 2022, p. 3)

Päikesepaneelide paigaldamine on viimastel aastatel üle ootuste populaarseks osutunud, kuna protsess on muutunud suhteliselt lihtsaks ja kiireks. Enamik olemasolevaid

päikesajaamu on võimsuselt alla 50 kW ning eelkõige on paigalduse eesmärk olnud oma võrgust tarbitava elektrienergia koguse vähendamine. (Elering, lk 74)

Eleringi andmetel ei ole juba tänasel päeval elektrivõrkudes mahtu, et kõiki soovijaid ühendada, ning kuna päikesetoodangu maht Eestis hakkab soodsal tootmisperioodil ületama tarbimist, siis perspektiivis võib päikeseparkide kasumlikkus hakata vähenema. Selle vältimiseks on päikesetootmisüksused mõistlik paigaldada eelkõige tarbijate juurde, samuti on võimalik tootmistippe hajutada elektrisalvestite abil. Seoses ambitsioonikate taastuveneeriatootmise eesmärkidega saab salvestitel eeldatavalt olema oluline roll taastuveneeria turule mahutamisele kaasaitamisel ja nii tootmis- kui tarbimistippude tasakaalustamisel. Seega muutuvad salvestid oluliseks ja kasulikeks kõikidele turuosalistele kas tulude suurendamiseks, kulude vähendamiseks, süsteemi tasakaalustamiseks või lihtsalt abivahendiks võimaliku rikke või katkestuse korral. (Elering, 2022, lk 82)

1.2 Päikeseelektrisüsteemide tehnoloogia ja komponentide kirjeldus

Räni - fotoelemendid

Esimese tööstusliku räni fotoelemendi leiutasid 1954. aasta aprillis The Belli labori teadlased, mille kasutegur oli 6%, mis kiirelt tõusis 10%-ni. Päikesepatareide tehnoloogia arengule tuli kasuks räni kasutus juba sellel ajal hästi arenenud transistorite tootmisest. Välja oli töötatud monokristalse räni tootmistehnoloogia, mis oli lihvitud vajaliku tasemeni. Räni (erineva kristallstruktuuriga) on tänaseni üks kalleimaid komponente päikesepaneeli ehituses. (Goetzberger & Hoffmann, 2005, p. 2, 3) Rahvusvaheline Energiaagentuur (IEA) määratleb integreeritud päikeseelektrijaama (*BIPV*) moodulid päikeseelektrimoodulitena, mida loetakse hoone konstruktsiooni osaks, ning mida tuleks demonteerimise korral asendada teise ehitusmaterjaliga, erinevalt hoonetele kinnitatud päikesepaneelidest (*BAPV*), mida ei loeta ehitusmaterjaliks. (Stolen, *et al.*, 2024, p. 1)

Kristallilise räni elemendid

Päikesepaneelide turu alustala alates nende leiutamise algusest kuni tänaseni on kristallilise räni päikesepaneelide tehnoloogia. Esimese põlvkonna tehnoloogiate hulka kuuluvad kristallilise räni (C-Si) päikesepaneelid, mis on turul 95%-lise osakaaluga kogu maailma PV paneelide tootmisest. Kristallilise räni tehnoloogia jaguneb edasi polü-kristallilisteks ja

mono-kristallilisteks päikesepaneelideks. Aastal 2020 läbi viidud uuringu käigus selgus, et 95% C-Si PV moodulite tootmisest toimus Aasias, kus peamiseks tootjaks oli Hiina 67%-lise osakaaluga ning, Euroopa andis 3% ja USA 2% C-Si põhise PV tehnoloogia osakaalust. Mono-kristallilise tehnoloogia osakaal oli 84% kogu C-Si toodangust. C-Si tehnoloogia peamine arendussuund seisneb efektiivsuse suurendamises, materjalide tarbimise vähendamises, uuenduslike rakukontseptsioonide väljatöötamises ja odavamas tootmises. Lisaks efektiivsusele on C-Si mooduli eluiga oluline parameeter. Tootmisettevõtted pakuvad klaasi-substraat päikeseelement moodulitele 25-aastast ja klaas-klaas PV moodulitele 30-aastast garantiid. Monokristallilist räni toodetakse Czochralski meetodiga. (Kumari, *et al.*, 2022, pp. 2523-2524) Kristallilise räni PV-tehnoloogia eelisteks teiste ees on eelkõige räni omadused:

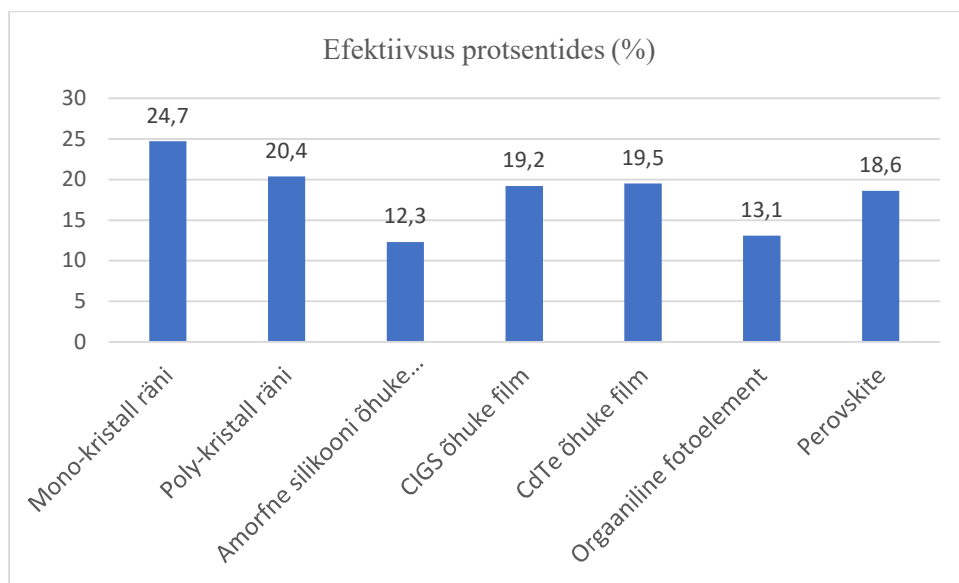
- leidub looduses rikkalikult;
- on looduses mittetoksiline;
- kristallilise räni päikeseelement on pikaajaliselt väliskeskkonnas stabiilne, mis on oluline hinnavõit;
- parem energiasalvestamise efektiivsus, mis viib süsteemi kulude vähenemiseni ja võimaldab suure võimsusega süsteemide paigaldamist piiratud alaga kohtades, näiteks katustel;
- olemas on hea oskusbaas viilutamisele, dopeerimisele ja muustriloomisele.

Edasiarendatud C-Si tehnoloogiatest tuleks ära märkida: *Passivated Emitter rear cell* (PERC); *Heterojunction cell* (HIT) ja *Bifacial cell* tehnoloogiad. (Kumari, *et al.*, 2022, pp. 2523-2524)

Amorfse räni elemendid

Esimene amorfse räni baasil toodetud õhukesekihiline film oli Gul, *et al.*, (2016, p. 493) andmetel 2,4% kasuteguriga. Amorfse räni (A-Si) tehnoloogia paneelid on palju madalama efektiivsusega võrreldes kristalse räni tehnoloogiaga. A-Si tehnoloogiat valmistatakse õhukese kihina, mitte viiluna, kuna amorfne räni ei oma kristallilist struktuuri. Kuna õhukese kiletehnoloogia puhul on lõigatav kile viiludest oluliselt õhem, siis pinna aluskiht valmistatakse klaasist, metallist või plastikust. Amorfset räni toodetakse plasma abil tugevdatud keemilise aurutamise meetodil. Õhukese kile tehnoloogiate eelisteks on vähem pooljuhtmaterjali kasutamist tootmisel, mis vähendab tootmise energiakulu ja

materjalikulusid. Fotogalvaaniliste päikeseelementide valdkonnas on valdavalt kolm põlvkonda – esimene põlvkond hõlmab kristallilise räni päikeseelemente, teine põlvkond hõlmab amorfset ränipõhist päikeseelementi ja mitte-ränipõhiseid päikeseelemente, näiteks *CdTe* ja *CIGS*, ning kolmas põlvkond koosneb uutest arenevatest päikeseelementidest nagu *DSSC*, perovskiit-päikeseelement ja *OPV*. (Kumari, *et al.*, 2022, p. 3524) Kolmanda põlvkonna päikeseelektri tehnoloogia kasutab fotosünteesi nähtusel põhinevaid polümeere ja värvaineid, mille rakud koosnevad nanorakkudest. Nanorakud sisaldavad oma struktuuris sünteetilist värvainet, mis sarnaneb teatud määral klorofülliga, on läbipaistvad ja vastupidavad survele ning neid saab kasutada kohtades, mis ei ole otseste päikese kiirte käes. Selle tehnoloogia puuduseks on madal efektiivsus ja selle tootmiseks on vaja plaatina, mis tõstab olulisel määral nende hinda. Lisapuuduseks on sellisel tehnoloogial rakkude eluiga, mis on palju lühem kui esimese ja teise põlvkonna päikeseelementidel. (Borawski, *et al.*, 2023, p. 4)



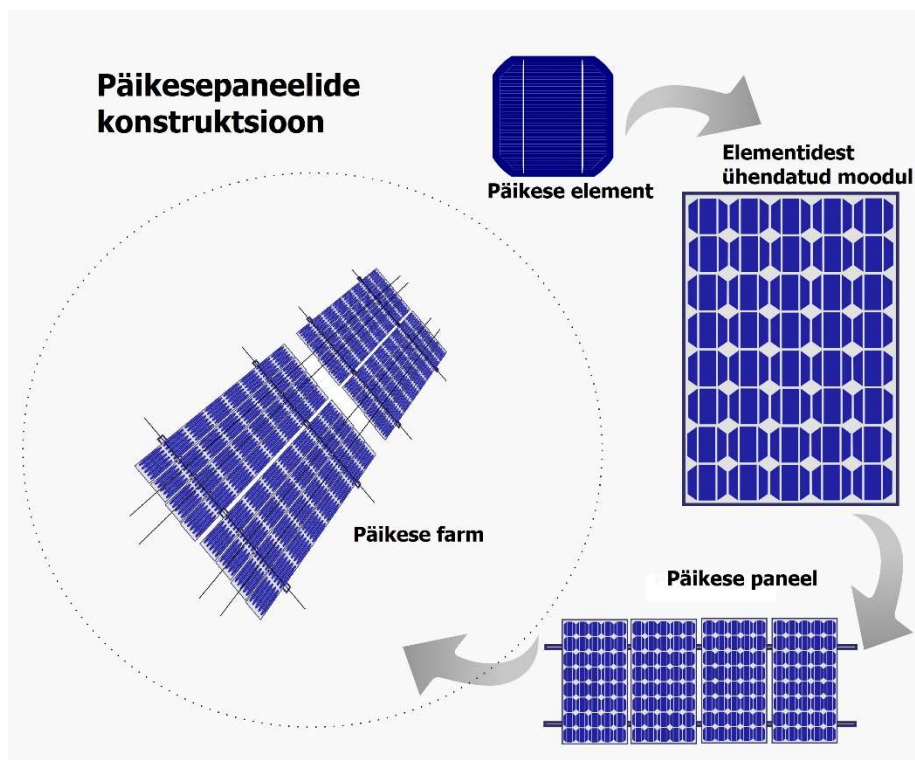
Joonis 1. Päikesemoodulite erinevate tehnoloogiate efektiivsus (Green, *et al.*, 2023, p. 7; autori koostatud)

Fotogalvaaniline element

Fotogalvaanilised süsteemid koosnevad mitmetest elementidest. Kuna tüüpiline fotogalvaaniline element toodab alla 3 vati umbes 0,5 voldise alalisvooluna, peavad elemendid olema ühendatud järjestikku või paralleelselt, et toota suurema võimsusega rakenduste jaoks piisavalt energiat. Selleks, et saavutada piisav väljundpinge, ühendatakse

päikeseelemendid mooduli loomiseks seeriasse. Kuna päikeseelektrisüsteeme opereeritakse mitmese 12-voldise süsteemina, on moodulid tavaliselt kavandatud optimaalseks toimimiseks süsteemides. Disaini eesmärk on ühendada piisav arv elemente seeriasse, hoidmaks mooduli V_m (pinge maksimum) mugavas vahemikus akusüsteemi pingega tavapärase kiirgustingimuste korral. Kui see on saavutatud, saab mooduli võimsus lähedaseks maksimumile. See tähendab, et suurima võimaliku päikesevalguse tingimustes peaks V_m olema ligikaudu 16–18 V. Kuna V_m on tavaliselt umbes 80% VOC-st (avatud ahelapinge), viitab see mooduli kavandamisele VOC-ga umbes 20 volti. Kuna rüni ühe elemendi avatud ahelapinge on tavaliselt vahemikus 0,5–0,6 volti, tähendab see, et moodul peaks koosnema 33–36 elemendist, mis on ühendatud seeriasse. Kuna iga üksik element suudab genereerida umbes 2–3 vatti, peaks moodul suutma genereerida 70–100 vatti. (Messenger, *et al.*, 2005, p. 52)

Joonis 2 näitab, kuidas elemendid on konfigureeritud mooduliteks ja kuidas moodulid on ühendatud paneelideks.

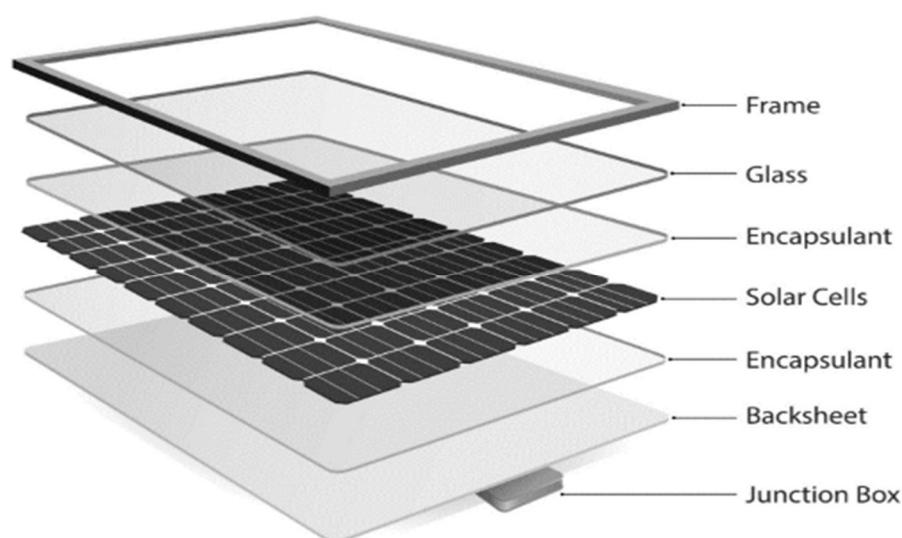


Joonis 2. Päikesepaneelide konstruktsioon (Anon, 2017)

Fotogalvaaniline moodul

Fotogalvaaniline moodul on päikesepaneeli peamine komponent, mis on pakitud, suletud, turvatud ja ühendatud kogum päikeseelementidest. Mooduli osad võib liigitada kolme laiemasse kategooriasse: võimsust tootev osa; voolukogumise ja edastamise osa; tihendus- ja/või kaitseosa. (Akram *et al.*, 2022, p. 3)

Fotogalvaanilise mooduli erinevad kihid on laotud üksteise peale, moodustades pakitud, suletud ja kaitstud mooduli. Levinuim konfiguratsioon mooduli kihtide järjestuses on näidatud joonisel 3



Joonis 3. Päikesepaneeli konfiguratsioon (Peacock, 2018, p. 133)

Mooduliraam (*frame*) – ristküülikukujuline komponent, mis kaitseb moodulit servadest, raam kinnitub või ümbritseb mooduli esiosa ülemiselt küljelt ja tagumist osa altpoolt. Valmistatakse tavaliselt alumiiniumist või plastikust. (Akram, *et al.*, 2022, p. 4)

Esiosa (*glass*) - Klaas on moodulites kõige tavalisemalt kasutatav esikate, kasutatakse ka termoplastilisi vaike, aga harva. Esiosa pakub kaitset mooduli esiküljele, mehaanilist stabiilsust, kaitset elektriisolatsiooni ahelale ja vastupidavust löökoormustele. (Akram, *et al.*, 2022, p. 4)

Kapselduskiht (*encapsulant*) - Mooduli kapseldusmaterjal pakub päikeseelementidele kaitset keskkonnategurite, nagu ultraviolettkiirgus, niiskus jne, eest. Tavaliselt on see valmistatud etüleen-vinüülataetaadi (EVA) kopolümeerist. (Akram *et al.*, 2022, p. 3)

Fotogalvaaniline element (*solar cell*) - fotokeemiline energia teisendusseade, mis muundab valgusenergia elektrienergiaks, kasutades fotoelektrilist efekti. (Akram *et al.*, 2022, p. 3)

Tagumine osa (*backsheet*) - Tagumist lehte tuntakse ka substraadina. Ta asub mooduli taga- või alumisel küljel mooduli kapselduskihi all, et pakkuda kaitset niiskuse, liiva, tolmu, keemiliste muutuste jms eest; kaitseb mooduli elektroonikakomponente ja tagab ohutuse. Tavaliselt on valmistatud polüvinüülfluoriidist, mida tuntakse turul ka Tedlar-filmina. Lisaks kasutatakse PV-turul ka polütetrafluoroetüleeni, klaasi ja muid materjale. (Akram *et al.*, 2022, p. 4) Klaasi kasutamine alumise lehena pakub Afridi, *et al.*, (2023, p. 467) väitel suuremat energiatootlust, vastupidavust rasketele ilmastikuoludele, on happekindlam ja suurema tulekindlusega, mis omakorda võimaldab suurendada moodulite tootmisvõimekust üle 30 aasta.

Ühenduskarp (*junction box*) - Mooduli tagakülje alaosa, paigaldatakse ühenduskarp elektriliste ühenduste tegemiseks. Erinevatest rakukeeltest kogutud vool suunatakse stringidevaheliste ühendusribade kaudu mooduli terminalidesse ühenduskarbis. Ühenduskarbid on tavaliselt valmistatud polüetüleentereftalaadist (Akram *et al.*, 2022, p. 4).

PES süsteemi osad

Inverterit peetakse PES ajuks, mis muudab alalisvoolu vahelduvvooluks ja vajadusel sünkroniseerib elektrivõrguga. Inverteri asupaik: sise- või välitingimustes asetsev ja teda ümbritsev keskkond (ümbritsev temperatuur, niiskus, ümbritsev tolm, ventilatsioon jne) on määravad tema jõudlusele. Tootjad näevad sageli ette tingimused, millistes neist inverter peab asuma. Sageli on inverteeris ka ülepingekaitse, mis aitab kaitsta süsteemi välgu eest. (Santhakumari, *et al.*, 2019, p. 85) Eestis kehtestatud nõuded inverterile: Inverter peab vastama Euroopa Parlamendi ja Nõukogu direktiividele 2014/35/EU ja 2014/30/EU ning omama vastavusmärgist vastavalt määrusele (EC) nr 765/2008. Inverter või muu tootmiseade peab täitma Euroopa Komisjoni määruse 2016/631/EU artikkel 13 nõudeid ning võimaldama Vabariigi Valitsuse määruse „Elektrisüsteemi toimimise võrgueeskiri“ nõuete täitmist. (Elektrilevi)

Laadimiskontroller ehk MPPT ehk alalisvoolumuundur, mille peamine kasutus on akude laadimine, kontrollib ja korrigeerib päikesepaneeli väljundpinget, saavutamaks

maksimaalset võimsust. Seade kontrollib ka aku pinget ja korrigeerib muundurit saavutamaks efektiivsemat laadimisvoolu. (Santhakumari, *et al.*, 2019, p. 85)

Energia salvestina kasutatakse tavaliselt akupanka, mis aitab ületada päikseenergia sesoonsust. Aku eluiga sõltub peamiselt tema komponentidest, laadimismeetoditest, ümbritsevast temperatuurist, tühjenemiste sagedusest ja kogu päikeseelektrisüsteemi planeerimisest. (Santhakumari, *et al.*, 2019, p. 85)

Kaabeldus: PV-kaablid on ühesuunalised elektrijuhtmed, mis ühendavad päikesepaneelide teiste elektrikomponentidega päikeseelektrisüsteemis. Õige kaablite valik ja nende perioodiline hooldus on päikeseelektrisüsteemi järjepideva toimimise kohalt oluline. PV-kaablid peavad olema paindlikud, veekindlad, UV-kindlad ning vastupidavad temperatuurikõikumistele, mis tulenevad nende asukohast välitingimustes. (Santhakumari, *et al.*, 2019, p. 85) Standardis EN 50618 kirjeldatakse, milliseid kaableid kasutatakse fotoelektrilise süsteemide alalisvoolupoolel.

PES süsteeme saab jagada kolme kategooriasse elektrivõrku ühendamise kohalt:

- *On-grid* - elektrivõrguühendusega süsteem, kus toodetud elekter läheb otse läbi inverteri tarbimisse. Tarbimisest üle jääv elekter suunatakse (üldjuhul müüakse) elektrivõrku. Süsteemi eeliseks on kulutõhusus, lihtne ülesehitus ja vajab võrreldes teiste süsteemidega vähem hooldust. Miinuspooleks on elektri tootmise võimekus ainult valgel ajal. Tüüpiline näide on maapinnal asetsevad päikesepargid, millel ei ole tarbijat taga. (Awasthi *et al.*, 2020, p. 394)
- *Off-grid* - ilma elektrivõrguühenduseta süsteem, kus paneelide toodetud elekter läheb tavaliselt läbi laadimiskontrolleri akupanka ja edasi läbi inverteeri tarbimisse. Süsteemi kasutatakse sageli kohtades, kus elektriliinide toomine ei tasu majanduslikult ära. Akupank võimaldab tarbida elektrit ka siis, kui päikesepaneelid enam piisavalt elektrit ei tooda (nt: öösel või pilves ilma puhul). Süsteemi positiivne külg on sõltumatus võrguelektrist ja selle hinnast, ning võimalus optimeerida energiakulusid. Miinusena saab välja tuua süsteemi sõltuvust päikeselistest päevadest, kuna pahatihti ei suuda paneelid toota piisavat varu meie kliimas pilves ilmaga. Sellised süsteemid ehitatakse tavaliselt kokku generaatoritega, mis toodavad puuduva energia taastumatutest allikatest (bensiin, nafta jne). (Awasthi, *et al.*, 2020, p. 394) Tüüpiline näide on ilma elektrivõrguühenduseta elamud.

- *Grid/Hybrid* - süsteem, mis on elektrivõrku ühendatud ja omab ka akupanka energia salvestamiseks. Süsteem on parimaks lahenduseks klientidele, kes on juba ühendatud võrgusüsteemiga ja soovivad akuvarundust. Sellel süsteemil on eelised nii võrguühendusega kui ka võrgust eraldi oleva süsteemi ees, kuna süsteem aitab vähendada igapäevaseid kommunaalkulusid ja kui peaks tekkima elektrikatkestus, saab oma akupangast pärit energiat vajadusel kasutada. Süsteemi miinuseks on selle soetamise kõrge hind. (Awasthi, *et al.*, 2020, p. 395)

1.3 Päikesepaneelide tuletundlikkuse standardid ja tuleohutus

Tule ja leegi levik katusele mõjutab tugevalt katuse- ja hoonekonstruktsioone ning kasutusel olevaid ehitismaterjale. Tuletundlikkus on ehitise materjali omadus tulega kokku puutudes süttida, tuld levitada, eraldada soojust, suitsu, mürgiseid gaase või põlevaid või kuumi tilku (Siseminister, 2021).

Euroopas tuleb päikesepaneelid toota vastavalt Euroopa standarditele IEC/EN 61730 "Päikesepaneelide ohutusstandard", osa 1 ja 2, mis vastavalt määratlevad ehituslikud- ja testimisnõuded paneelidele. Põhja-Ameerika standardit UL 1703 kasutati varem USA-s föderaalasel tasemel, kuid 2018. aastal harmoneeriti see IEC/EN 61730-ga ja nimetati ümber UL 61730-ks. Kahe standardi ühtlustamise tulemusel muutusid tootenõuded sarnaseks nii Põhja-Ameerikas kui ka Euroopas, mis on kasulik tootjatele, kes turustavad päikesepaneele mõlemal turul. (Kristensen, 2022, p. 9) CE-märgis on õiguslik nõue, mis võimaldab toodete vaba liikumist ELi / EMP-siseselt. See tähistab tootja deklaratsiooni, et toode vastab kõigi asjakohaste ELi direktiivide minimaalsetele tooteohutuse, tervise ja keskkonnanõuetele. (Khokher, 2022, p. 1)

IEC/EN 61730-2 sisaldab testi nimetusega MST 23 tuleleviku test (*spread of flame*) ja MST 24 katsekeha test (*burning brand test*), need on kaks peamist testi, mis määravad päikesepaneeli tuletundlikkuse klassi. Tuleklassi reitingu saamiseks läbitakse mõlemad tulekatsed, mis peavad olema kõigis parameetrites läbitud edukalt. (Kristensen, 2022, p. 9)

Esimese testi puhul suunatakse leek paneeli otsa peale (*Spread-of-flame test*).

Mooduli või paneeli ükski osa ei tohi testil kasutatava tuule mõjul lenduda, ega kukkuda testplatvormilt lahtise leegi või hõõgivate tükkidena; Katuseplaadi osad või hoone

katusekonstruktsiooni paigaldamiseks mõeldud mooduli või paneeli osad ei tohi eralduda hõõguvate osakestena; (TÜV Rheinland., 2011, pp, 5-6)

Tuletundlikkuse klassid jagunevad mõõdetuna paneeli esiservast:

- A – 10 min jooksul leek levis vähem kui 1,82 m
- B – 10 min jooksul leek levis vähem kui 2,4 m
- C - 4 min jooksul leek levis vähem kui 3,9 m

(Burning-brand) test katse puhul asetatakse päikesepaneelile vastavalt klassile põlevana puidust katsekeha. Katsekeha suurus sõltub paneelile eesmärgiks seatud klassist, katsekehade suurused on järgmised (Underwriters Laboratories Inc., 2008, pp, 19-20) :

- Klassi A bränd koosneb võrest, mille küljepikkus on 300 mm ja paksus ca 57 mm, valmistatud kuivatatud kasepuust, mis on vaba oksakohtadest ja vaigutaskutest. Katsemoodul koosneb 36 puidust kandilisest ribast, millest igaüks on 19,1 mm lai ja 19,1 mm paks ning 300 mm pikk, paigutatud kolme kihti, igaühes 12 riba, ribad asetsevad üksteisest 6,4 mm kaugusel. Need ribad asetatakse risti naaberkihtide ribadega ning need kinnitatakse naeltega, kasutades 38 mm pikki, nr 16 mõõdus naelu. Valmis katsekeha kuivkaal peab olema katsethetkel 2000 ± 150 grammi.
- Klassi B bränd koosneb võrest, mille küljepikkus on 150 mm ja paksus ca 57 mm, valmistatud kuivatatud kasepuust, mis on oksavaba ja vaigutaskutest. Bränd koosneb 18 puidust ribast, millest igaüks on 19,1 mm lai ja 19,1 mm paks ning 150 mm pikk, paigutatud kolmesse kihisse, igaühes kuus riba, ribad asetsevad üksteisest 6,4 mm kaugusel. Need ribad asetatakse risti naaberkihtide ribadega ning need kinnitatakse naeltega, kasutades 38 mm pikki, nr 16 mõõdus naelu. Valmis brändi kuivkaal peab olema katsethetkel 500 ± 50 grammi.
- Klassi C bränd koosneb kuivatatud vaiguvabast valgest männipuidust tükist, mis on oksavaba ja vaigutaskud puuduvad. Katsekeha mõõtmed on 38,1 mm lai, 38,1 mm pikk ja 19,8 mm paks ning mõlemale üla- ja alapinnale lõigatakse saega 3,2 mm laiusega ja sügavusega sooned. Valmis katsekeha kuivkaal peab olema katsethetkel 9 ± 1 grammi.

Katusepaigalduseks mõeldud moodulil või paneelil, mis on ette nähtud paigaldamiseks hoone katusekonstruktsiooni peale või on ise konstruktsiooni osa ning mille pinnakate koosneb A, B või C klassi katusekattematerjalist, tuleb sooritada süttivate tükide test

vastavalt katusekattematerjalide tulekindluse testile, UL 790. Moodul või paneel ei läbi testi, kui katseplatvormilt lendub põlevaid või hõõguvaid sädemeid, katsekeha põletab moodulisse augu või moodul või paneel jääb pärast katse lõppu põlema. (Underwriters Laboratories Inc., 2008, pp, 21-22)

Nii leegi leviku kui ka süttivate tükkide testide puhul peab testis kasutatav alusmaterjal (klass A, B või C) olema kooskõlas ettenähtud katusekattematerjali klassiga. Nii leegi leviku kui ka süttivate tükkide testide puhul tuleb moodul või paneel paigaldada vastavalt paneeli tootja juhistele. Testimiseks tuleb kasutada mooduli või paneeliga kaasasolevat kinnitusmaterjali või juhistes soovitatud paigaldusmeetodeid. Mooduli või paneeli kalle horisondi suhtes peab olema vähemalt paigaldusjuhistes määratletud miinimumkalle. Simuleeritud katuseplaadi kalle ei tohi ületada 416 mm/m. Pärast katse läbimist ei pea moodul või paneel olema enam töokorras. (Underwriters Laboratories Inc., 2004, pp, 38-38A)

BAPV-süsteemid on paigaldatud hoone lõpetatud katustele või seintele, mängides hoone struktuuris mingit struktuurilist rolli. Vastupidiselt sellele paigaldatakse BIPV-süsteemid katusepaneelidena, fassaadi kattematerjalidena ja klaasist kardinaseintena, mõjutades otseselt osa hoone funktsioonist, võttes traditsiooniliste hoonekomponentide – nagu katus või fassaad – koha. Mõlemad, nii BAPV kui ka BIPV süsteemid, esitavad tuleohutuse kohalt väljakutseid hoonetele. Kuigi tulekahjud võivad saada alguse PV-raku rikestest, võib tuleoht suurendada tule leviku tõttu PV-paneelide kaudu ja lõpuks liikuda hoone sisse. Põleva päikesepaneeli poolt tekitatud tulekahju suits võib tungida hoonetesse akende ja katuseavade kaudu (nt korstnad ja ventilatsiooniavad), mis võib kujutada inimestele hoonete sees ja selle ümbruses ohtu, põhjustades suitsumürgistusi, kuna päikesepaneelid ja akud sisaldavad mürgiseid kemikaale. Seetõttu tuleb praegused hoone tulekaitsesüsteemid (nt suitsu avastamise ja suitsu juhtimise süsteemid) üle vaadata võimalike täiendavate nõuete osas PV-tulekahjude puhuks. (Aram, *et al.*, 2021, p. 1)

Kuna PV-süsteem on elektrisüsteemi üks osa, võib see osutada kaheks elektritulekahju peapõhjuseks – ülekoormuse ja lühise. PV-süsteemi tulekahju saavad põhjustada kas sisemised või välised tegurid. Olenemata tulekahju tekkepõhjusest, suurendab PES paigaldamine hoonele olemasolevat tulekahju riski taset ja suurendab tulekahju tõsidust võrreldes hoonega, millel PV-süsteemi pole. Peamised põhjused, mis aitavad kaasa PV-tulekahjudele, on „hotspot“ fenomen PV-moodulites, PV-komponentide ülekuumenemine

ja alalisvoolu (DC) kaarleegi tekkimine PV-komponentides. Need tegurid on otseselt seotud vigadega projekteerimisel või ebakvaliteetse PV-süsteemi paigaldusega. (Mohd Nizam Ong, *et al.*, 2022, pp. 2-3)

Levinuim PV-moodulitega seotud probleem on tuntud kui „hotspot“ fenomen. PV-moodulid koosnevad PV-rakkudest, mis on omavahel ühendatud järjestikuste või jadasüsteemidena. „Hotspot“ tekib siis, kui mingil paneeli osal kaob rakkudel võime toota energiat kuid ümbritsevad rakud jätkavad elektri tootmist, mille tulemuseks on mittetoimiva päikesepaneeli kuumenemine. „Hotspotist“ tekkiv liigne kuumus võib süüdata läheduses olevaid süttivaid materjale. Päikesepaneeli võimetus elektrit toota võib olla põhjustatud mitmesugustest asjaoludest: näiteks PV-moodulite sobimatust või valest paigutusest, kahjustatud PV-moodulist või ootamatust moodulite varjutusest: nagu mustuse kogunemine paneelile, langenud lehed või lindude väljaheidet. Lisaks võib PV-süsteemi ebakorrektne või pingutamata kaabliühendus tekitada elektriühenduses liigset soojusenergiat, mis võib kõrge temperatuuri korral olla piisav, et põhjustada isesüttimist või põhjustada alalisvoolu kaarleegi PV-süsteemi komponentides. (Mohd Nizam Ong, *et al.*, 2022, p. 3)

2. EMPIIRILINE UURING

2.1 Uuringu meetodika, valim ja protsess

Lähtuvalt töö eesmärgist viidi empiirilise uuringu esimeses osas läbi dokumendianalüüs, koostati kategooriad ja koodid ning analüüsiti Eestis, Saksamaal, Soomes, USAs ja Ühendkuningriigis kehtivaid tuleohutusnõudeid ning -standardeid päikeseelektrisüsteemide katustele paigaldamisel. Antud analüüsimeetod on parimat ülevaadet andev, kuna dokumendid kätkevad endas andmeid, mida on neid kogudes tähtsaks peetud (Laherand, 2008, lk 259).

Analüüsist ja teooriast lähtuvate tulemuste põhjal koostati poolstruktureeritud küsimustik (Lisa 1). Empiirilise uuringu teises osas viidi läbi ekspertintervjuu ning juhindudes püstitatud uurimisküsimustest, moodustati andmete kogumiseks eesmärgist lähtuv valim (Õunapuu, 2014, lk 143). Valim moodustati sihipärase valimi meetodi strateegia alusel. Selle meetodi eesmärgiks on valida tüüpilised küsitletavad, kes omavad uuritavas valdkonnas nii teadmisi kui kogemusi (Cohen, *et al.*, 2007, pp. 115-117). Intervjuudega saadud andmed transkripeeriti ning kasutati kodeerimist ja kategoriseerimist nende analüüsimisel. Ekspertideks on valitud kaks arhitekti - projekteerijat, kaks paigaldajat ja kaks paneelide maaletoojat. Arhitekto-projekteerijaid saab eksperdiks pidada, kuna nad tegelevad igapäevaselt alaga ja omavad vastavat diplomit, paigaldajaid saab eksperdiks pidada, kui intervjuueeritaval on elektriku kutsetunnistus. Maaletoojad on oma ala asjatundjad ja kuna on valdkonnas tegutsenud mitmeid aastaid, siis on turul toimuvaga hästi kursis.

PES tundvaid eksperte intervjueriti eesmärgiga saamaks ülevaade millistele tuleohutusnõuetele vastavaid päikesepaneeli paigaldatakse, mille alusel valik tehakse ning kas ja kuidas sellega katusele paigaldamisel arvestatakse.

Kvalitatiivse uurimuse lähekohtaks Hirsjärvi jt, (2007, lk 152) on tegeliku elu kirjeldamine ja püüdlus eelkõige leida ja tuua avalikkuse ette tõsiasju. Intervjuu võimaldab Hirsjärvi jt, (2007, lk 192) arvates saada põhjalikku teavet ja vajadusel lasta intervjuueeritaval oma seisukohti põhjendada.

Meetodi puuduseks võib saada „retooriline intervjuu“, mida Laherand (2008, lk 200) kirjeldab kui eksperdi loenguna oma teadmistest. Puuduseks võib olla ka Hirsjärvi jt, (2007, lk 193) poolt pakutud variant: sotsiaalselt soovitatavate vastuste saamine.

Uuringu lõppeesmärgiks on välja selgitada Eestisse toodavate ning ehitistele projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkus.

Intervjuude läbiviimise eesmärgil koostati küsimustik ja viidi läbi intervjuud teoreetilise käsitluse ja dokumendianalüüsi põhjal ning töö eesmärgist ja uurimisülesannetest lähtuvalt. Küsimustik koosneb kaheksast küsimusest (Lisa 1)

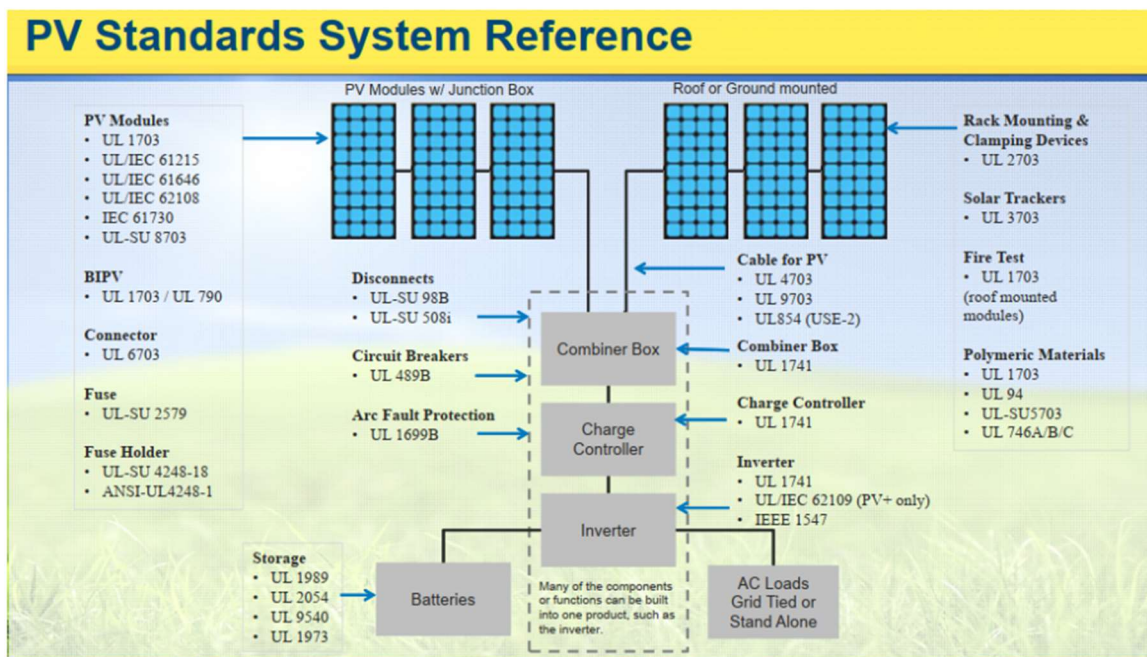
Enne planeeritavaid intervjuusid helistati eelnevalt intervjuueeritavale ja lepiti kokku vestluse täpne kuupäev ning kellaaeg, selgitati vastajale kohtumise eesmärki ja tähtsust, ning vältimaks arusaamatusi - valesti mõistmist. Kõik läbiviidud intervjuud salvestati, transkribeeriti ning konfidentsiaalsuse eesmärgil eemaldati üleskirjetest isikute ja ettevõtete nimed. Analüüsimeetodina kasutati kvalitatiivset sisuanalüüsi. Tavapäraselt sisuanalüüsi kasutatakse siis, kui soovitakse midagi kirjeldada (Laherand, 2008, lk 290).

2.2 Dokumendianalüüs

Analüüsis on aluseks võetud Eestis, Saksamaal, Soomes, USAs ja Ühendkuningriigis välja antud vabavaralised juhendmaterjalid, milles käsitletakse nõudeid ja - standardeid päikeseelektrisüsteemide katustele paigaldamisel. Antud töö kontekstis võrreldi loetletud riikide sisulisi aspekte Eestis kehtivate juhendite ja standarditega. Lõputöö autor on teinud valiku antud töö konteksti arvestades. Võrreldi valitud riikides välja antud materjalides sisalduvaid juhiseid päikeseenergiasüsteemide paigaldamise kohta.

Usaldusväärne ja ohutu toode on igasuguse investeeringu alus. Toote sertifitseerimine võib tõendada või iseloomustada toote kvaliteeti, vastupidavust, ohutust ja kasutusiga. Toode peab sertifitseerimisel läbima testid, mis kinnitavad, et toode on saavutanud lubatud jõudluse või kvaliteedi vastavalt rahvusvahelistele standarditele. Seetõttu peavad päikesepaneelid vastama mitmele eeskirjale ja standardile enne, kui neid võib müüa või paigaldada. Kui PV-moodulid vastavad olemuselt ja kvalifitseeruvad vastavale standardile, peab ka paigalduspraktika järgima aktsepteeritud tavaid või koode. Lisaks peavad päikesepaneelid ja kaasaegsed päikeseelektriijaamad ning nendega seotud seadmed (näiteks

inverterid) toetama elektrivõrku nii normaalsel toimimisel kui ka elektririkete korral. Kuigi igal riigil või kohalikul regulatsiooniorganil on õigus seada oma nõuded või standardid, mida tuleb järgida on mõned üldiselt nõutavad tootesertifitseerimise tüübid näiteks CE-märgistus. (Khokher, 2022, p. 1) Päikesepaneelid (BAPV) liigituvad madalpinge paigaldiste alla, millele kohalduvad LVD (*low voltage directive*) 2014/35/EU nõuded. CE märgise puhul on eelpool nimetatud direktiivi ohutusosa täitmiseks päikesepaneelidele standard EN IEC 61730 - osad 1 ja 2. Päikeseelektrisüsteem koosneb paljudest komponentidest ja kuna enamus neist seotud elektriga, siis on kasutusel standardid, mis peaks nende töökindluse tagama. Joonisel 4 on näitlikult ära toodud põhilised komponentide standardid PES paigaldamisel ja hilisemal kasutamisel USA-s. Antud joonis on näitlikustamiseks ja sobiks ka üldjuhul kõigile teistele võrreldavatele riikidele.



Joonis 4. PES standardid (Khokher, 2022)

Eestis on päikesepaneelide tuleohutust reguleerivateks normideks Siseministri määrus nr 17 „Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded“ ja Eesti Vabariigi Standard (EVS) 812-7:2018 Ehitise tuleohutus Osa 7: Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded peatükk 14.5.

Vastavalt töö spetsiifikale toob autor välja olulisemad võrdlusmomendid antud töö kontekstis Tabel 1.

Tabel 1 Dokumendianalüüsis käsitletavat kategooriad ja koodid (autori koostatud)

Kategooriad	Kood= standard (Eesti)	Kood= standard (Saksamaa)	Kood= standard (Ühendkuningriik)	Kood= standard (Soome)	Kood= standard (USA)
I. Nõuded paneelidele-tuletundlikkuse standardid	CE-märgis	DIN EN IEC 61215 DIN EN IEC 61646 DIN EN 61730	IEC 61215 IEC 61646 IEC 61730 CE-märgis	CE- märgis	UL 1703/UL 790 UL/IEC 61215 UL/IEC 61646 IEC 61730
II. Nõuded katusematerjalile	puuduvad	B2 DIN 4102 või E klass EN 13501 järgi	A1,A2-s1-d0	Broof,t2	Paneeli tuletundlikkus = katuse tuletundlikkus
III. Paigaldus, hooldus ja kaabeldus	100 A - elektrikäit kohustuslik, peakaitse alla 35A , kaabeldus	DIN EN 62446 DC osad välised, DC osa pingevabastus	BS EN IEC 62446-2:2020 BS EN IEC 62446-1:2016 DC pingevaba	SFS-EN IEC 62446-1 SFS-EN IEC 62446-2 DC väljaspidine	kvalifitseeritud paigaldajad, Rapid-shutdown
IV. Päksepaneelipark, tsoonide suurus katustel	300m ²	40*40m	Info puudub	20x20m	45,7*45,7m
V. Kaugused tuletõkke tsoonidest	Tsoonide vahe 1m ja käiguteed 0,8m	2,5m tuletõkkeseksioonist, tsoonide vahe ja katuseäärest 1m	2,5m tuletõkketsoonide vahe	2,5m tuletõkkesein, käiguteed 900mm laius 300mm kõrgus, 2m katuseäärest ja tsoonide vahe	Elamud: käigutee 2tk ca 0.9m, hooned pikkus kuni 76,2m ca 1,2m suuremad hooned 1,8m tsoonide vahed 1,2m
VI. Korsten + suitsueemaldusluuk	Suitsueemaldusluugist 1m, korstnast 1m	1m vaba ala viilkatustel	Info puudub	Suitsueemaldus 1,2 m, käsitsi töötavad luugid 2m	Suitsueemaldusluuk 1,2m

Kategooria I: nõuded päiksepaneelidele, tuletundlikkuse standard

Eestis müüdavatele päiksepaneelidele on CE märgi kohustus, seega saab väita, et meil müüdavad paneelid peavad vastama standardile IEC 61730, mis on (Sepanski, *et al.*,2015, p. 14) järgi CE märgistuse andmise aluseks. (vaata lk 18) Võrreldavates riikides on Saksamaal (Sepanski, *et al.*,2015, pp. 14-15), Ühendkuningriigis (MCS, 2012, p. 24) ja USA-s (Khokher, A, 2022, p. 1) kõigil ära toodud oluliste standarditena: IEC 61215 - tüübi heakskiit kristallilistele moodulitele vastavalt paneeli elukaarele; IEC 61646 - tüübi heakskiit õhukesele filmkilemoodulitele vastavalt paneeli elukaarele; IEC 61730 - PV

moodulite tuleohutuse standard: Osa 1: konstruktsiooni nõuded; Osa 2: Nõuded testimisele. USA puhul on ära toodud veel standardid UL 790 ja UL 1703, mis on olemuselt sarnased nõuded IEC 61730-ga. Ühendkuningriigis nõutakse paneelidel ka CE märgistust ja riigis kasutatavad paneelid peavad olema MCS (*Microgeneration Certification Scheme*) registris. (MCS, 2012, p 24) Seega osad riigid peavad registreid päikesepaneelidele, mida tohib paigaldada riigi siseselt. Saksamaal on probleemiks integreeritud süsteemide puhul, et BIPV-moodulitele pole olemas konkreetseid tootmist reguleerivaid eeskirju (standardeid), mida saaks kasutada ehitustehniliste tõendite esitamiseks. Ehitusmäärus klassifitseerib PV-moodulid tehniliseks hoonevarustuseks, millel on küll CE-märgistus, kuid mitte ehitustoodete määruse järgi, vaid on ainult ELi madalpingedirektiivi (2014/35/EL) kohaselt loetav elektrilise seadmena. Seega ei taga CE-märgistus PV-moodulite paigaldamisel hoonetesse ehitustoodete määruse põhiliste nõuete täitmist (sh mehaaniline tugevus ja stabiilsus, tuleohutus, aga ka kasutusohutus ja ligipääsetavus). Sest CE-märgistuse aluseks on elektrotehniline standard DIN EN IEC 61730-1 ja -2, mis ei võimalda PV-moodulite hindamist mehaanilise tugevuse ja stabiilsuse ning tuleohutuse osas ehitustööstuse väljakujunenud ohutus- ja tõenduskontseptsioonide alusel. Seega pole PV-moodulite CE-märgistusega tagatud olulised ehitustoodangu tootomadused, nagu tugevus ja purunemiskäitumine või tulekäitumise klassifikatsioon spetsiifiliselt määratletud ja põhimõtteliselt on vaja eraldi kasutatavusnõuet. See olukord jätab kasutajad, st ehitajad või nende alltöövõtjad, ilma vajalikest teadmistest ja võimalusest esitada kõik hoone ohutust puudutavad tõendid. (Allianz, 2020, pp. 3-4; DIBt, 2012, p 4)

Kategooria II: nõuded katusematerjalile

Eestis on katusekattematerjalidele, millele päikesepaneelid paigaldatakse seatud tuletundlikkuse nõuded, minimaalne on Broof (t2). (Siseminister, 2021) **Saksamaal** on Sepanski *et al.*, (2015, pp. 214-215) järgi katuse tuletundlikkuse klass B2 DIN 4102 järgi või E klass EN 13501 standardi järgi. **Ühendkuningriigis** on paneelide paigaldamisel nõudeks katusekattematerjalile A¹,A²-s1-d0 vastavalt standardile BS EN 13501 (FPA, 2023, p.16). **Soomes** on katustele, millele paneelid paigaldatakse seatud tuletundlikkuse nõue Broof, (t2) (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023, p. 20) **USA-s** on nõudeks, et katusekattematerjal ja paigaldatav päikesepaneel ei tohiks erineda oma tuletundlikkuse poolest.

Kategooria III: paigaldus, hooldus ja kaabeldus

Antud analüüsi osa käsitleb paigaldust ja hooldust. (vaata lk 17, 20-21)

Eestis reguleerib hooldust päikeseelektrisüsteemidele Seadme ohutuse seadus, mille § 6 lg 4 sätestab: seadme kasutamise ja korrashoiu (käidu) nõuete täitmist. Elektrikäidu nõue, laieneb kõigile madalpingepaigaldistele, mille peakaitsme nimivool on üle 100 ampri (TTJA, 2024, lk 13), sama juhendmaterjal määrab ka ära auditi fotoelektriliste süsteemidele (päikeseelektrijaamad): Fotoelektriliste süsteemide kontrollimisel tuleb arvestada lisaks standardis EVS-HD 60364-7-712 toodud nõuetele ka standardis EVS-EN 62446-1 toodud nõudeid. Eluruumi, sealhulgas suvila, ja elamu teenindamiseks vajaliku ehitise elektriseadme puhul ei ole elektripaigaldise korraline audit kohustuslik. (TTJA, 2024, lk 27) **Soomes, Saksamaal ja Ühendkuningriigis** reguleerivad paigaldust ja hooldust samad standardid (*on-grid*) süsteemid vastavalt IEC 62446-1:2016 ning IEC 62446-2:2020. Standardid näevad ette enne päikeseenergiasüsteemi kasutuselevõttu kontrolli: vaatlemise, mõõtmise ja testimise teel. Kontroll hõlmab süsteemi visuaalset kontrolli vastavalt standardiga määratud kriteeriumidele ning kõikide komponentide vastavuse kontrolli läbi üldtunnustatud ohutusnõuete. Sama standard sisaldab ka hoolduse ja puhastamise soovitusi, siiski ei ole määratletud konkreetseid hooldusvälpasid. Šveits on näiteks määratletud elektrienergiat tootvate seadmete (sh PV-süsteemide) hooldusintervallid seadusega. (Sepanski, *et al.*, 2015, p. 37) Elektriseadmeid võib kasutusele võtta alles pärast seda, kui on kontrollitud selle vastavus asjakohastele ohutusnõuetele. Elektriohutuse tagamiseks tuleb alati enne seadme kasutuselevõttu teha elektriseadmetele kasutuselevõtukontroll. Seadme tootja peab hoolitsema elektriseadme kasutuselevõtu kontrollimise eest ja koostama ülevaatusse protokollid kasutamiseks elektriseadme omanikule. Protokollid peavad olema märgitud objekti identifitseerimisandmed, elektriseadme ehitaja ja elektritööde juhi nimi ja kontaktandmed, kinnitus elektriseadme eeskirjadele ja normidele vastavuse kohta, kohaldatavad standardid, ülevaade kasutatud kontrollimeetoditest, ning ülevaatusse ja testide tulemused. (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023, p. 23) Auditi kohustus vastavalt standardile tekib üle 35 A peakaitsmega. Elektriseadme valdaja (omanik või rentnik) vastutab seadme ohutuse, hooldamiseks vajaliku hoolduse ja selle eest, et seade vastaks elektriohutusseaduse nõuetele. Samuti peab elektriseadme omanik tagama seadmete korrasoleku ja ohutuse jälgimise ning avastatud puuduste ja rikete piisava kiire kõrvaldamise. Elektripaigaldiste hooldust täiendavad kohustuslikud perioodilised

kontrollid töö ajal. Elektriohutuse tagamiseks näeb seadus ette elektriseadmete perioodilise kontrolli elektriseadmete klassifikatsiooni järgi. Perioodilise kontrolli kohustus kehtib mitteeluhoonetele, kus liigvoolukaitse nimivool on üle 35 A. Ülevaatuse intervall on elektriajaotusvõrkudel viis aastat ja teistel kontrollikohustusega hõlmatud süsteemidel kümme aastat. (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023, p. 24) Hooldust ja paigaldust tohivad kõigis uuritavates riikides teostada vaid vastava pädevuse ja kutsetunnistusega isikud.

Antud osa analüüs käsitleb kaabeldust, kus välja toodud riikide vastavad nõuded. **Eestis** on päikesepaneelide alalisvoolu kaabeldus ära märgitud määruses 17 § 20 lisa 10 (Siseminister, 2021), kus määratakse alalisvoolu osa kaabelduse tulekindluse nõuded ja EVS 812-7:2018 osas 14.5.7, kus määratakse: potentsiaalselt (võimalikult) pingele alla jäävad kaablid peavad olema kogu nende kulgemise tee jooksul olema paigutatud kas kõrisse, renni või kaabliredelisse. **Saksamaal** on Sepanski, *et al.*, (2015, pp. 218-219) kohaselt alalisvoolu kaabeldus hoonetes soovitatavalt väline, üle meetri pikkused kaabeldused sisetingimustes peavad olema tulekindlad, välitingimustes peavad alalisvoolukaablid olema ilmastikukindlad (UV-kindlad). Alalisvoolukaabeldus ei ole lubatud hoonete sissepääsudes ega evakuatsioonipääsudel. Inverterid peavad olema välised või paigaldatud nii, et alalisvoolukaablid ei ulatuks siseruumidesse. Inverterid peavad olema paigaldatud mittepõlevale alusele ja soovituslikult ei tohiks läheduses olla põlevmaterjali. Saksamaal on nõutud, alalisvoolu osa väljalülitamise võimalus rikke korral „*rapid swich off*“ (Sepanski, *et al.*, 2015, p. 240).

Soomes soovitatakse alalisvooluosa isolatsiooniseadmed paigutada hoonest väljapoole nii, et hoone sisemus oleks ülalmainitud eralduslülititest tulekahju korral pingevaba. Juhtumipõhiselt, vastavalt päästeametiga kokkulepitule, saab need paigutada ka sobivasse tehnilisse ruumi inverterite lähedusse. Vältida tuleks alalisvoolukaablite paigutamist tuleohtlikesse konstruktsioonidesse ja nii pikkade paigalduste paigaldamist hoone sees. (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023, p. 28) **USA-s** on nõutud „*rapid shutdown*“ süsteem, mida saab teostada 3 viisil: läbi mikroinverterite, optimeerijate või moodulitele lahutusseadme paigaldamise. NFPA 70 National Electric Code (2020) artikkel 690.12 selgitab süsteemi järgmiselt: kõik päikesepaneelidega süsteemid, mis on ehitisega seotud peavad olema varustatud „*rapid shutdown*“ süsteemiga. Väljalülitusüsteem peab asuma eramutes ja paarismajades väljaspool hoonet. „*Rapid shutdown*“ aktiveerumisel ei tohi alalisvoolu osas olla kaabelduses üle 80V. Lülitit peab andma infot jaama töötamise või

mittetöötamise kohta. Seega osades riikides on katustel alalisvoolu elektripinge alandamise nõue seadustesse sisse kirjutatud.

Kategooria IV: päiksepaneelipark, tsoonide suurus katustel

Antud kategooria all käsitleb töö autor koos kolme kategooriat, (Kategooria V: kaugused tuletõkke tsoonidest; Kategooria VI: Korsten + suitsueemaldusluuk) koos käsitlemine on ratsionaalne, kuna nende parameetrid on kõik mõõdetavad suurused.

Riigiti erinevad lubatud päikeseparkide tsoonide suurused suurematel katustel. **Eestis** on lubatud tsooni suuruseks 300m², tsoonide vahe peab olema sellel juhul 1m ja käigutee teiste katusel paiknevate seadmeteni vähemalt 0,8m laiune. Suitsueemaldusluukide ja korstnate ümber peab jääma 1m laiune vaba ala. (Päästeamet, 2023) **Saksamaal** on suurim lubatud päiksepaneelide tsoon kuni 40*40m, tsoonide vahele peab jääma 1m laiune kuja, samuti peab jääma 1m kuja ka katuse rinnatise ja paneelide vahele hoone servades. Viilkatustel peab olema hoone harjani pääsemiseks 1m kuja. (Sepanski, *et al.*, 2015, pp. 215-217) **Soomes** on lubatud maksimaalne päikesepargi tsoon 20*20m, tsoonide vahele ning katuserinnatise ja paneelide vahele peab jääma vähemalt 2m laiune ala, käigutee laius peab olema vähemalt 0,9m. Soome eripäraks on lamekatuste puhul käigutee kõrgus: 0,3m, eesmärgiks lamekatusele võiva kogunevast veest elektrilöögi vältimine. Automaatsete suitsueemaldusluukide ümber peab jääma Soomes vähemalt 1,2m kuja ja käsitsi avanevate ümber 2m ala. (Pelastuslaitosten kumppanusverkosto, 2023, pp. 33,39) **Saksamaal, UK-s ja Soomes** on ühesugused nõuded tulemüürile, kuja peab olema 2,5 meetrit. **USA-s** on maksimaalsed lubatud tsooni mõõtmed katustel 45,7*45,7m, tsoonide vahe on 1,2m. Hooned, mis on pikemad kui 76,2m peab kuja laius olema 1,8m. Ühe- ja kahepereelamutel peab olema kaks ca 0,91m käiguteed katustele, samuti on piiratud katuseharjale paneelide paigaldus 0,91m käigutee laiusega. Suitsueemaldusluukide ja muule infrastruktuurile juurdepääs peab olema 1,2m laiune.

2.3 Ekspertintervjuude analüüs

Ekspertintervjuudele vastas kuus eksperti: kaks arhitekt-projekterijat; üks paigaldaja, üks paigaldaja-hooldaja ja kaks maaletoojat. Arhitekt-projekterijate puhul oli intervjuude käigus selgelt arusaadav, et inimesed tegelevad projekteerimisega. Märksõnadeks, mis intervjuude käigus läbi käisid: vajaminev energia hulk, kehtivad nõuded ja paneelide paigaldusvõimalused katustel. Maaletoojad eristusid teistest intervjuueeritavatest, kuna

intervjuerija arvates teadsid „kõigest kõike“, neil olid laiad teadmised alates tarnitavatest paneelidest, süsteemi toimimisest kuni hilisema hoolduseni. Sarnaselt eristusid vastajatest ka paigaldajad, kellest ühel oli lisaks hooldaja taust. Intervjuudes eristusid nemad teadmistega, mis puudutasid paneelide katustele paigaldamisel ette tulevaid probleeme ja hilisemal hooldamisel tihemini esinevaid puuduseid.

Vastavalt lõputöö uurimisküsimustele ja dokumendianalüüsi tulemustele koostatud küsimustiku vastustest on loodud koodipuu. Kategooriad loodi arvestades esitatud küsimust ja intervjueritavate vastuseid küsimustele (Tabel nr 3).

Tabel 2 Intervjuude läbiviimise aeg (autori koostatud)

Intervjueritav	Läbiviimise kuupäev	Intervjuu kestvus	Intervjuu vorm
Nr 1 projekteerija	08.04.24	00:21:15	Vestlus
Nr 2 projekteerija	05.04.24	00:16:01	Telefon
Nr 3 paigaldaja	03.04.24	00:14:11	Telefon
Nr 4 paigaldaja	08.04.24	00:30:37	Telefon
Nr 5 maaletooja	17.04.24	00:32:58	Telefon
Nr 6 maaletooja	24.04.24	00:52:00	Google meet

Intervjuude puhul (Tabel 2) esimeste salvestiste 1-3 puhul pandi diktofon tööle intervjuude küsimuste esitamise hetkest ja salvestamine lõpetati pärast küsimustele vastuste saamist.

Intervjuude 4-6 puhul pandi diktofon tööle varem, st pärast intervjueritavalt nõusoleku saamist lindistamiseks. Seepärast on ka intervjuude ajalised kestused erinevad. Intervjuud sujusid lodusalt, vestlused olid sisutihedad ja lõputöö tarbeks saadi uusi teadmisi.

Kategooria I: Paneelide tuletundlikkuse klass, katsed

Intervjuu küsimus: IEC 61730-2 või UL 1703 (selgitus lk 18) *spread of flame* test ja *burning brand* testiga määratakse päikesepaneelide tuletundlikkuse klassi, olete Te sellest teadlik?

Küsimuse ajendiks oli teooria osas (lk 18) kirjeldatud testide olemus, teada saamaks kas ja millisel moel ollakse teadlikud paneelide tuletundlikkuse klassides ja neid määravates katsetes. Ekspertide vastused jagunesid nelja vastusevariandi vahel: Üks vastaja on ise

analoogset katset läbi viinud Eestis (kood 4) Päästeameti esindajatega, põhjuseks tõendamisvajadus katusele paigaldamisel: „*Katse tulemusena B klassi paneel põles läbiviidud katsetuse käigus aeglasemalt ja kehvemini (kustus kiiremini ära) kui A klassi paneel*“ (Vastaja 5, 2024), teine ekspert oli uurinud katse olemust (kood 3) internetist, kuna standardi number on tootelehel. Projekteerijad ja üks hooldaja teadsid mõlemad standardi olemasolust ja tuletundlikkuse klassist paneelidele, aga ei olnud süüvinud testiprotseduuri sisusse (kood 2). Intervjuueritavatel ette saadetud küsimustik oli piisavat huvi tekitanud ühes projekteerijas, seega uuris viimasel ajal enda poolt projekteeritud paneelide tuletundlikkuse klassid järgi. Intervjuerijale tuli üllatusena väide, et PÄA on määranud tuletundlikkuse klassi nõude ühes dokumendis. Sama nõuet mainisid hiljem oma intervjuus veel kaks vastajat. Üks vastaja (kood 1) polnud teadlik päikesepaneelide tuletundlikkuse klasside liigitusest ega katsetest, teadis tuletundlikkuse mõistet ja olemust. Intervjuude käigus kirjeldati lühidalt katsete käiku ja tekkis arutelu katse osas: „*Burning brand*“ test (lk19), arvamus oli, et: „*Pigem tuleks mõõta tule levikut katusekatte ja paneeli vahelt, sest sinna koguneb tunduvalt rohkem põlevat materjali, kui paneelide peale*“. (Vastaja 1, 2024) „*Selline katse läheb ka ilmselt projekteerija pädevusest välja, kuna kõik tooted, mis Euroopas turule tulevad ja paigaldatakse peavad läbima tüübikatsed, et saada omale CE märgistust. Ilmselt Inspecta või Kiwa – laboris on spetsialistid, Eestis tõenäoliselt väga head pädevust (hinnangu andja) sellisele katsetusele leida pole*“. (Vastaja 4, 2024) „*Enamus tulekahju tekitada võivad protsessid algavad paneeli alt kaabeldusest või diodi errorist, oluline on kuidas backsheet käitub põlengu korral*“. (Vastaja 6, 2024)

Kategooria II: Paneelide paigaldus katustel

Intervjuu küsimused: Millest sõltub paneeli kaldenurga valik? Millised on teie valikud olnud tänaseni? Kas projekteerimisel, paigaldamisel kasutatakse paneelile tootja poolt soovitatud (ette nähtud) montaaži süsteemi?

Ideaalne kaldenurk (kood 1) Eestis on lõunasuunaline 40 kraadi lähedane nurk, katustele paigaldamisel (selgitus lk 10). Eelkõige lähtutakse tarbija soovidest: milline on tema energiavajadus; millisel kellaajal on tarbimine kliendi poolelt kõige suurem; milline on kogu süsteemi ülesehitus (*on-grid* süsteem, energiasalvestusvõimekus, jne). „*Enne paigaldamist tehakse toodangu prognoosid, vastavalt sellele valitakse ka nurgad*“ (Vastaja 4, 2024) Lamekatustel (kood 4) kasutatakse tihti madalamaid kaldeid kui on ideaal, põhjuseks väiksemad varjutused paneelidel, võimalus rohkem paneele katusele paigaldada,

lamedama nurgaga asetatud paneelid vajavad vähem ballasti katustel (lume -ja tuulekoormus). Lõuna-põhi suunal on tavaliseks kujunenud ca 15 kraadine nurk ja ida-lääs suunal on kaldenurk 10 kraadi. „Hoonetele sõltuvalt suunast, kuhu paneeli suuname: kui lõunasse paneme 15 kraadi ja kui ida-lääs on nurk 10 kraadi. Kõrgema nurgaga oleks tootlikus parem, aga kuna katusel on ruum piiratud, siis peame varju nurka vähendama ja paneme väiksema nurgaga. Optimaalne kalle on 40 ligidal, aga kasutegur paneelidel väheneb sellise nurgaga suhteliselt vähe. Põhjus, sellisel valikul on katusele paigaldatavate paneelide arv suurem ja konstruktsioonide puhul võidavad neid paigal hoidvate ballasti vajaduses ja kaalus.“ (Vastaja 1, 2024) Paneelide poolt toodetava arvestatava võimsuse saab Eesti tingimustes kätte märtsi keskpaigast kuni oktoobri alguseni. Probleemkohaks on toodetava elektri hind suvel päikesepaistelisel päevadel: müügihind madal, kuna toodetakse rohkem, kui tarbida jõutakse. Ida-lääne suunal paigaldatud paneelid võimaldavad rohkem toota elektrit hommikul ja pealelõunasel ajal, kui elektri hind börsil on üldjuhul kõrgem kui keskpäeval ajal. „Lõunasuunalised paigaldused pole enam atraktiivsed, taastuenergia tootmine suvel on ca 800 MW, ja üle jääva energiaga pole eriti midagi teha (võrku müümine ei tasu alati ära), majanduslikult tasuvates salvestusseadmetes pigem täna probleem.“ (Vastaja 4, 2024)

Viilkatuste (kood 3) puhul paneelide kaldenurki ei muudeta, „Viilkatustel paigaldatakse paneelid vastavalt viilu nurgale, kõik sõltub suunast, kuhu katus suunatud on. Põhja suunas üldjuhul järsema viilu puhul paneele ei paigaldata ega projekteerita“. (Vastaja 2, 2024) Integreeritud süsteemide puhul tehakse vajadusel roovitise parendusi või täiendusi ja soovituslikult paigaldatakse BIPV paneele 20+ kaldega katustele. „Kõik sõltub kliendi soovist, me küll projekteerime parima võimaliku tulemuse järgi, aga kui kliendil on soov siis paigaldame paneelid ka põhja suunaliselt, mis omakorda meile ehituslikult ja ka rahakoti mõistes on parem“. (Vastaja 6, 2024)

Montaaži (kood 2) puhul erinevatele viilkatusetüüpidele pakutakse erinevaid katusekinnitusi (üldjuhul kinnituvad roovitise või sarikate külge), neile paigaldatakse railid mis on suhteliselt standardsed, neile omakorda paigaldatakse juba päikesepaneelid. Lamekatustel kasutatakse tavaliselt alusraame, mis kinnituvad katusele ballastiga. Ettenähtud kinnitusi kasutatakse: „Üldjuhul küll, ma tean praegu ainult ühte juhtumit Eestis, kus ei ole kasutatud paneelide paigaldamiseks ettenähtud paigaldusviise vaid on ise põlve otsas väänatud mingid plekist „asjad.“ (Vastaja 4, 2024) „Tavaliselt on kasutusel raamid, mis on vastavalt katusetüübile ette nähtud, paneelitootja seda ette ei kirjuta, mis

raamile sa võid paneeli paigaldada, pigem ütleb raamitootja millise kinnituslahendusega paneeli sa võid raamile ja kuidas paigaldada.“ (Vastaja 1, 2024) „Peame jälgima kahte aspekti, esiteks kuhu paneeli installeeritakse, siis peame vaatama mis paneel sinna sobib ja see paneel panna vastavusse kinnitustootja ettekirjutustele“ (Vastaja 5, 2024)

Kategooria III: Tuleohutus katustel

Intervjuu küsimused: Millisele tuletundlikkusele (A, B, C, ei oma klassi) vastavaid paneele olete projekteerinud, maale toonud või paigaldanud? Mille alusel valik toimub? Integreeritud süsteem (BIPV), kas toote maale, olete projekteerinud, paigaldanud? Millisele tuletundlikkusele klassile vastavad, kus ja miks olete kasutanud?

Lõputöös on aktuaalseks teemaks PES varustatud hoonete tuleohutuse tõstmine, üks võimalus on teha seda läbi päikesepaneelide tuletundlikkuse klassi. (selgitus lk 11,19) Intervjueeritavad, kes olid seotud päikesepaneelide sisse ostmise või paigaldamise valikute langetamisel olid kõik veendunud, et nende pakutavas valikus on kõik tuletundlikkuse klassi omavad tooted, seega ilma klassita paneele ei tarnita ega paigaldata vähemalt nende puhul. Paneelide ostmisel on valiku peamiseks kriteeriumiks (kood 2) paneeli sobivus, kuhu paigaldada tahetakse, seejärel paneeli tootlikkus, ning paneeli hind. „Müüme CE märgistusega paneele, meie valikus on esindatud kõik tuletundlikkuse klassid (kood 1), hind on tavaliselt see, mille järgi valik tehakse, seega valdav enamus müüdavatest paneelidest omavad C klassi“. (Vastaja 3, 2024) „Enamus müüdavatest ja paigaldavatest paneelidest olid varem C klassi paneelid, aga nüüd oleme üritanud sisse osta ka A klassi paneele, aga nad on mõnevõrra kallimad ja kõik tootjad ei paku seda A klassi“ (Vastaja 5, 2024) *Otsesest nõuet, et tootelehel peab olema tuletundlikkuse klass märgitud ei ole. „...aga ma tahaks kindlasti mainida intervjuusse, et on väga palju tootjaid, kellel ei ole neid märgiseid (ilmselt mõtles teste tehtud- autori arvamus) tegelikult juures ja samas ei ole otseselt ka konkreetset nõuet riikide poolt, et peavad olema 61215 või 61730 tehtud.“ (Vastaja 6, 2024) Intervjueeritav teadis, et selline test läheb maksma umbes 60000 EUR ja sertifitseeritud laboratooriumitesse, kus teste tehakse on ootejärjekord pikk. BIPV paneelide puhul on neile sobivate toodete valik paneelitootjate seas tunduvalt kitsam, toode peab vastama alusmaterjali suurusele.*

Üks intervjueeritud projekteerija on oma valikutes siiani olnud vaba, kuna tema annab ainult soovitusi paneeli tüübile, lõpliku valiku teeb ostja. Teine projekteerija annab

üldjuhul tellijale ette konkreetse paneeli tüübi ja kasutab projekteerimisel suuremate maaletoojate toodangut, mis valdavalt on C klassi paneelid.

Integreeritud süsteeme kasutatakse üldjuhul viilkatustel, rinnatistel ja hoonete seintel, selliste paneelide tootlikus võib olla väikesem kui tavapaneelidel lk 12 (kui kasutatakse amorfsel ränil põhinevat filmi). Autori poolt küsitletud maaletooja BIPV süsteemi paneelid vastavad CE standardile ja tuletundlikkuse testid on läbitud. Enamus paneele vastab C tuletundlikkuse klassile, valikus on ka A klassi paneele. BIPV paneele kasutatakse turul vähem, kuna hind ja paigalduskulu on kõrgem kui BAPV paneelidel, samas täidab seda tüüpi paneel kahte ülesannet korraga: on katusekate ja toodab elektrit. „*Nende paneelide efektiivsus on väikesem, aga hinnad on kõrgemad.*“ (Vastaja 4, 2024) BIPV paneel on ehituskonstruksiooni osa ja seepärast on neil ka standarditega kehtestatud rangemad nõuded kui BAPV paneelidel. BIPV paneelide miinuseks on alalisvoolu kaabeldus, mis asub hoones sees. „*Mõne hoone puhul on tulnud jutuks, et jõuda energiamärgisega A klassi, osadel hoonetel on katusepinda väga vähe, siis uuritakse kuhu saab veel panna paneele. Võimalused on olnud rõdude klaasilahendus ja fassaadile paigaldatavad paneelid, aga lõpuks on kõik sellised lahendused ära jäänud. Arvatavasti on põhjuseks selliste lahenduste hind*“ . (Vastaja 1, 2024)

„*Seda tüüpi paneelidele turg on Eestis marginaalne.*“ (Vastaja 3, 2024) „*Minimaalselt oleme kasutanud...tooteid, projekteerinud ja paigaldanud, aga kuna me ise keskendume rohkem äriklientidele, siis neid integreeritud süsteeme on äriklientidel pigem vähem, et mõned projektid võib-olla tulevad pilvelõhkujatesse, kus on klaasfassaadiga läbipaistvad paneelid, aga see on tuleviku projekt.*“ (Vastaja 5, 2024)

Paneelide tuletundlikkuse tõstmise alternatiividena pakuti intervjuueeritavate poolt sageli välja optimeerijate ja või mikro-inverterite kasutamist. „*Minu arust kõik integreeritud süsteemid pigem eeldavadki, et paigaldatakse optimeerijad, et oleks turvalisem.*“ „*...me lahendasime selle nii, et me panime igale paneelile alla optimeerija, (kood 3) millega tekitasime iga paneeli pingetuks tegemise paneeli tasandil, millega ka sädeluskaitse on parem.*“ (Vastaja 5, 2024) Kaasaegsemad inverteerid on osad kaarleegi kaitsega, mis tähendab, et kui inverter tuvastab kaarleegi, siis lülitatakse kogu stringi ahel inverteeris välja. „*Kui nüüd lisada optimeerijad veel juurde, siis pole vahet kus sa seadmed pingetuks teed kas liitumiskilbis, alt inverteeri kaitse lükkad välja, et ükskõik millises punktis vahelduvvoolu välja võtad, siis kõik on pingetu inverter on pingetu, paneel on pingetu.*

Pigem ma näengi, et tundlike hoonete puhul: lasteaiad, koolid, haiglad võiks mõelda optimeerijate kohustuse peale. (Vastaja 5, 2024) Ühe intervjuueeritava asutuses kontrollivad nad regulaarselt erinevaid seadmeid, intervjuu päeval põrus katsel ühe tuntud tootja inverter. Lubatud kaarlegituvastajaga inverter ei suutnud kaarleeki tuvastada, loodeti, et tegemist on äkki erandina, aga edaspidi pööratakse selle tootja toodetel rohkem tähelepanu. *„Mikroinvertereid kasutame meie autvarjualuse lahenduse puhul, mujal me ei kasuta, kuna hind sellise lahenduse puhul on kõrge.“* (Vastaja 6, 2024) Ühe intervjuueeritava arvates oleks eelpool toodud lahenduste: optimeerijad ja mikroinverterid kasutamine samm edasi võrreldes tuletundlikkuse nõude kehtestamisele päikesepaneelidele.

Kategooria IV: Hooldus

Intervjuu küsimus: Päikeseenergiastüsteemi hilisem hooldus: kas realselt rakendatakse ja kuidas on lahendatud?

Ekspertide arvamuse kohaselt on paigaldusejärgne hilisem hooldus tõsine probleem, seadusega otseselt väiketootjatel nõutud ei ole ja hooldust ka tihti ei tehta. (selgitus lk 21) PES süsteeme reklaamitakse kui hooldusvabasisid kuid realselt vajaksid süsteemid regulaarset hooldust korra aastas (vähemalt elektriosa). Suurtootjad üldjuhul hooldavad päikeseparke, kuna siis on võimalik maksimeerida toodangut, suuremad päikesepargid luuaksegi energia tootmiseks. Lisaks seadusest tulenevalt (elektri käit) on suurtootjatel kohustus hooldada oma elektriseadmeid. Firmades, kus sellist teenust pakutakse kuulub hoolduse sisse visuaalne kaablite kontroll katustel, lisaks mõõdetakse kaabeldus testritega üle stringides. Elektriosas pingutatakse üle kaablite kinnitused, kontrollitakse inverteerite tööd. Lisaks on võimalik paneele kontrollida termokaameratega, avastamaks rikkeid paneelides. Tüüpilisemateks vigadeks paneelidel (kood 3) on mikropraod, *hot-spotid*, mustus paneelidel, jootevead jne. Üks intervjuueeritav julges välja öelda, et päikeseenergiastüsteemid on kahjuks nagu „tikuvad kellapommid“ ja lähima kümne aasta jooksul kusagil me veel kuuleme hooldamata PESist tekkinud tulekahjust.

„Elektriosale üldiselt tehakse hooldust, kord aastas (kood 1) võiks teha ka paneelide pesu, männitolm on paneelide tootlikkusele paras nuhtlus.“ (Vastaja 2, 2024)

„Viilkatustel on suhteliselt raske paneelidele endile hooldust teha, süsteemi hooldusel pole vahet, kuhu paneel paigaldatud on.“ (Vastaja 1, 2024)

„Rakendavad üldjuhul suuremate päikeseparkide omanikud, põhjuseks toodangu maksimeerimine.“ (Vastaja 3, 2024)

„Me ise alati pakume oma kliendile, kui ta soovib, siis sõlmime käiduhoiduslepingu, meil on päris arvestatav maht lepingus, enamasti äriklient võtab, osad erakliendid ka...meil on erinevad kavad, esimene on miinimumpakett kus käime korra aastas kohal, teeme käidu hoolduse käiduhoiduskava järgi, pakett 2 on kus me reaajas jälgime veateateid, kui midagi on siis likvideerime need...vängem versioon on veel termokaameratega droonidega lendamine vigade avastamiseks...vajalik tegevus tegemist siiski elektrijaamaga.“ (Vastaja 5, 2024)

Väiksemad tootjad, alati ei osta omale hooldusteenust, küsimusele miks oli ekspertide arvamus sarnane: sellise teenuse hind. *„Miinimum asi, mis tuleks igal juhul ära teha on elektriühenduste pingutamise inverteeris ja kilbis...iga kümne aasta tagant seda teha nagu seadus vist ette näeb on ilmselgelt liiga vähe.“ (Vastaja 5, 2024)*

„Eratarbijatele pakuvad tavaliselt hooldust paigaldusfirmad, paljudel paigaldust pakkuvatel firmadel pole tööl vastava pädevusega töötajaid, kes seda teenust suudaks vastavalt kehtivale standardile pakkuda.“ (Vastaja 4, 2024)

„Seadmeohutuse seadusest tulenevalt on elektripaigaldise käit kohustuslik, elektripaigaldisel peab olema käidukorraldaja kui peakaitse suurus seda kohustab, tavaliselt selle tõttu, aga langevad sellise kohutuse alt välja eramute omanikud. Mina olen seda meelt küll, et päikeseelektri süsteeme peaks hooldama iga-aastaselt (kood 1), tulekahjud on kerged tekkima termilise koormuse tõttu, tippkoormuse ajal on süsteemis temperatuur ca 60-70 kraadi, öösel võib temperatuur langeda 0 ligidale (delta on 70). Temperatuuri kõikudes kontaktühendused lähevad kehvemaks, kehv kontaktühendus omakorda tähendab kuumenemist, sest seda pinda, kust elekter läbi läheb on vähem ja kui ta juba kuumenema hakkab siis on protsess ajas progresseeruv ja eksponentsiaalselt progresseeruv, ehk ühel hetkel läheb kontakt kuumaks ja toimub põlemine. Minu jaoks on enamus põlenguid alguse saanud just kontaktühendustest. Üldjuhul vahet pole kas on tegemist poltühendusega, vedruklemmliistuga või kruviklemmliist ühendusega – hooldamist ja tähelepanu vajavad nad kõik.“ (Vastaja 4, 2024)

„Iga aastast hooldust on jube raske kohustuseks teha, sest alla 32A on madalpinge paigaldis ja siis peaks hakkama seadust muutma.“ (Vastaja 5, 2024)

„Me kunagi ju ei tea, kuhu näiteks orav on omale pesa teinud, närinud juhtmeid, mis ei ole meist sõltuv olukord ja kui juhtub, et hoones tekib selle tõttu tulekahju, siis ju keegi ei süüdistata oravat kõik süüdistavad meid.“ (Vastaja 6, 2024)

Eraldi teemana tõstatus üles hooldus katustel talvisel perioodil. Katustel on lund vaja aeg ajalt lükkamas käia, et lumekoormus katusele ohtlikuks ei muutuks. Katusele paigaldatud päikesepaneelid muudavad lumelükkajate töö keerukamaks ja ka vastupidi: lumelükkajad võivad paneelidele ja kaabeldusele tõsist kahju tekitada. *“Eks see ole valikute koht, keda üles katusele lund (kood 4) lükkama saadad“ (Vastaja 3, 2024)* Päikesepaneelide tootlust võib mõjutada katustel lenduv muu praht näiteks puulehed, mis satuvad paneelidele ja sellega võivad katta paneelide mingeid sektoreid.

Kategooria V: Normid paigaldusele Eestis

Intervjuu küsimused: Kas Eestis on maale toodavatele ja paigaldatavatele paneelidele seatud tuletundlikkuse nõuded? On see Teie arvates vajalik? Kas päikesepaneelide projekteerimisele, maale toomisele, paigaldamisele sätestatud normid on liiga ranged ja/või tuleks norme muuta praktilisele vajadusele lähtuvalt ?

Projekteerija viitas taaskord PÄA dokumendile kus on C klassi nõue päikesepaneelidele (PÄA poolt välja antud juhendmaterjal *„Päikeseelektripaigaldiste ehitus ja kasutuselevõtt“* (20.12.23) on tõesti ära toodud ühe nõudena : 3.5. Päikesepaneelide sertifikaat - tuletundlikkus peab minimaalselt vastama C -tuletundlikkusele), ülejäänud vastajad olid ühel meelel, et konkreetset nõuet seatud ei ole *„Tegelikult määrust või nõuet (kood 4) kui sellist tegelikult ju pole“* (Vastaja 5, 2024), kuigi osad vastajad viitasid CE märgistuse kohustuslikkusele. Vajalikuks sellist nõuet pidasid kõik vastajad, kahe intervjuueeritava puhul viidati katusekatte tuletundlikkuse nõudele.

„Ma arvan, et nõuded liiga ranged ei ole, lihtsalt peaks olema nii, et pole vahet kas oled Tallinnas, Tartus või Viljandis (Kood1) need samad tingimused kehtivad peaks kehtima üle Eesti“ (Vastaja 5, 2024) *„Tallinnas on näiteks nii, et lamekatuste puhul me peame tegema katuse kandevõime arvutused ja lisaks peame tegema hoone konstruktsioonile ekspertiisi, seda kusagil mujal pole kui ainult Tallinnas (kood 2) on nii, raske on kuidagi nii, et üks omavalitsus teeb oma reeglid, minu lähenemine on igal pool oleks reeglid samad.“* Kaitseministeerium Jõhvist ida poole on kõik päikesejaamad, mis on üle 40 kW kinni pandud (Vastaja 5, 2024)

„Ma ei ütle, et kehtivad seadused on karmid või leebed, kui mõtet seaduse taga otsida, siis on ta väga karm, pigem järelevalve TTJA poolt võiks olla rangem: mõned mehed teevad näiteks elektriauditid laua taga ära, usaldades projekteerijat ja süsteemi ehitajat.“ (Vastaja 4, 2024)

Välja on tulnud uus standard EVS 920-5:2023 „Lamekatused“ mis toob kaasa muudatused päikesepaneelide paigaldusele katustel võrreldes varem kehtinud standarditega.

„Lamekatuse uus standard (kood 3) on välja tulnud, mis hakkab piirama päikesepaneelide arvu katustel ja teeb paneelide paigalduse kulukamaks“ (Vastaja 2, 2024) Katuseleidi kodulehel on näha, et peagi on muutumas veel mõni standard. „...aga see on kohati nagu kehv lamekatuste puhul, kuna lamekatused on niigi juba igasugu seadmeid täis: katusetuulutused, vent. seadmed jne, kui sinna tuleb infrat veel juurde, siis meile jääb ruumi vähem.“ (Vastaja 5, 2024)

„USA teeb inseneri töö, Hiina toodab ja Euroopa reguleerib. Üheltpoolt ma ütleks, et on väga tore kui on turvaline ja hea, aga teiselt poolt kui me teeme ainult paberimajandust, piirame ja loome takistusi, siis ma ei imesta kui Euroopa paneelitootjad on välja suretatud ja kõik tootmine on Hiinas“ (Vastaja 6, 2024)

„Mida rangemaks nõuded lähevad järjest, seda puhtamaks läheb õhk.“ (Vastaja 3, 2024)

2.4 Uuringutulemuste järeldused ja ettepanekud

Alapeatüki eesmärk on teooriale ja uurimistulemustele tuginedes teha järeldused ja ettepanekud Eestis paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkuse nõuete osas.

Esimene uurimisküsimus oli välja selgitada päikeseenergiasüsteemide ülesehitus ja toimimise põhimõtted. Kogutud uurimismaterjali põhjal võib teha järelduse, et põhialused päikeseenergia tootmisel päikesepaneelidega on jätkuvalt samad, paneelide põhikomponent on räni ja põhiliselt kasutatakse monokristallset paneeli. Paneelid ise muutuvad aasta-aastalt järjest võimsamaks, tehnoloogiliselt on lisandunud komponente, mis muudavad energia tootmise ohutumaks (optimeerijad, sädelustuvastusega inverterid).

Päikeseenergiasüsteemide paigaldusel katustele kasutatakse ettenähtud kinnitusviise. Lamekatustel kasutatakse põhiliselt ballastkinnitust ja viilkatusel spetsiaalseid kinnituskonkse, mis kinnituvad kas sarikatele või roovitisele. Erijuhtudel valatakse

katustele päikesepaneelide tarbeks ankurpoldid. Katusele paigaldatavad paneelid asetatakse vastavalt kliendi soovidele, ei kasutata ideaalset (meie tingimustes) kaldenurka. Põhjuseks saab tuua vähese pinna katustel, mis paneb leidma lahendusi võimalikult palju paneele katusele ära mahutada paneelide tootlikkuse maksimeerimiseks. Teiseks põhjuseks on päevase aja energia madal hind ja üldjuhul päikeselisel keskpäeval on omatarve väike. Päikeseenergia tootmisel on tekkimas ette piir, tänased tootmisvõimsused on piisavad Eesti energiavajaduse katmiseks päikeselisel päeval päevasel ajal, tootmisvõimsus on üle 800 mW. Kõige kasumlikumad on omatarbeks rajatavad päikesejaamad tõhusate energiasalvestusseadmetega, mis võimaldaks energiasõltumatust. Hilisem hooldus on võimalik probleemkoht PES jätkusuutlikkusele. Jaamad vajaksid iga-aastast kontrolli pädevate isikute poolt. Probleemid võivad alguse saada kõigist elektrikomponentidest, kõige ohtlikumaks saab pidada alalisvoolu osa. Ekslik on reklaam päikesepaneelidest kui hooldusvabast süsteemist, spetsialistide hinnangul vajab päikeseпарк iga aastast hooldust. Elektriosa kaabliühendused vajaksid pingutamist, vältimaks kaarleegi teket, mille temperatuur ületab 1000 kraadi Celsiuse järgi. Hooldajatel on olemas vahendid, millega on võimalik tuvastada katkiseid päikesepaneele, kaabliühendusi ja muid tõrkuvaid või katkiseid komponente.

Teine uurimisküsimus oli välja selgitada millisteks tuletundlikkuse klassidesse jagunevad päikesepaneelid, ning millised katsed neid määravad. Tuletundlikkus oli kõigile vastajatele teada teema, konkreetselt päikesepaneelidele tehtavate katsete olemus oli teada pooltele ekspertidest, kellest üks on ise juures olnud katsete läbiviimisel.

Päikesepaneelid, mida Eestis maale tuuakse ja müüakse peavad omama CE märgist, küsitletud ekspertidest maaletoojad on tuletundlikkuse temast teadlikud ja toovad maale ainult kas A,B või C klassi paneele. Põhiliseks paneelitüübiks, mida Eestis müüakse ja paigaldatakse on C tuletundlikkuse klassi paneel. Põhiliseks valiku kriteeriumiks mille järgi paneele ostetakse on tema energia tootmisvõimsus ja hind. Integreeritud paneelide osakaal Eestis on väike, põhjuseks nende suhteliselt kõrge hind meie turul. Integreeritud süsteemi puhul on puuduseks nende DC kaabelduse suhteliselt pikk osa ja tavaliselt hoone sees.

Suurimaks ohuks ja väljakutseks täna päikeseenergiasüsteemide puhul: väga keeruline on paneelide välja lülitamine, et nad ei toodaks valguse käes elektrit. Optimeerijad ja mikro-inverterid on üks võimalus katuste ohuolukorras pinge alandamiseks. Ühe eksperdi soovitus oli tundlike hoonete puhul muuta optimeerijad kohustuslikuks.

Kolmas uurimisküsimus on kas katustele paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkuse nõuded on Eestisse tarnitavatel seadmetel võrreldavad uuritavates riikides kehtestatud nõuetega. Eri riigid kohandavad nõudeid endi jaoks ise, USA-s on igal osariigil võimalus enda seadustele, mida päikesepaneelide paigaldamisel ka näiteks California kasutab, kehtestades rangemad reeglid kui mujal osariikides. Šveitsis on näiteks päikeseparkidele kehtestatud iga-aastane hoolduskohustus.

Eestis ei leidnud ükski ekspert, et nõuded oleks kas liiga leebed või liiga karmid. Normid ja reeglid võiks Eesti riigis ühesugused olla oli üks kõlama jäänud mõtteid. See, et päikesepaneelidega seoses on kavas muudatusi nõuetes teadsid kõik ja arvatakse, et nõuded lähevad karmimaks. Eestis nõuded päikesepaneelide tuletundlikkusele puuduvad, seega ei saa seda väga karmiks nõudeks pidada. Kehtivat standardit ei saa pidada nõudeks, st see ei saa olla kohustuslik, kuni standardi järgimine pole konkreetselt riigi või omavalitsuse poolt mingisse nõudesse sisse kirjutatud või ehitaja-tootja pole vastavat standardit oma konstruktsiooni aluseks võtnud.

Toetudes teoorias käsitletud kirjandusallikatele ning uuringu tulemuste analüüsile ja järeldustele, teeb lõputöö autor järgmised ettepanekud:

1. Päikesepaneelide tuletundlikkuse klass peab vastama katusekatte tuletundlikkuse klassile (juhul kui see on määratud). Ilma tuletundlikkuse klassita päikesepaneel ei tohi katustele paigaldada. Päikesepaneelide eeldatav tööiga on täna ca 30 aastat, katustele paigaldamisel peab arvestama olemasoleva katusekatte uuendamise vajadusega kohe, hiljem on katte vahetus oluliselt vaeva- ja rahanõudvam.
2. Hoolduskohustuse nõude kehtestamine väikesematele päikeseparkidele (vähemalt elektriosale), mis oleks kontrollitav. Tsükli pikkus võiks jääda ekspertide otsustada. Muuta päikesepaneelide paigaldamise nõuet katustele nii, et oleks võimalik paneele ka hooldada vajadusel (tekiksid hoolduskujad).
3. Kõige ohtlikum on katkine päikesepaneel või mu PES komponent katusel tootvas tsüklis, paneelid toodavad elektrit seni, kuni nad saavad valgust (päikesevalgust, kunstlikku valgust või tule valgust), seisma panna neid valguse käes on väga keeruline ja ohtlik. Ohuolukordades peab saama päikesepargi alalisvoolu osa katustel alandada inimeste eludele ohutule tasemele, kasutades selleks täna mikroinvertereid, optimeerijaid, sädeluskaitsega inverteerid, vms lahendusi.

KOKKUVÕTE

Käesolevas töös uuriti Eestisse toodavate ning ehitistele projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkust ning võrreldi nõudeid teiste riikidega.

Lõputöö autor sõnastas uurimisprobleemi: kas Eestis paigaldatavad päikesepaneelid vastavad tuletundlikkuse nõuetele ning töö autori eesmärk oli välja selgitada Eestisse toodavate ning ehitistele projekteeritavate ja paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkus.

Selleks, et täita eesmärki püstitas töö autor alljärgnevad uurimisküsimused:

- Milline on päikeseenergiasüsteemide ülesehituse ja toimimise põhimõte?
- Millisteks tuletundlikkuse klassidesse jagunevad päikesepaneelid, ning millised katsed neid määravad?
- Kas katusele paigaldatavate päikesepaneelide tuletundlikkuse nõuded on Eestisse tarnitavatel seadmetel võrreldavad uuritavates riikides kehtestatud nõuetega?

Autor sõnastas järgmised uurimisülesanded:

- Analüüsida ja anda ülevaade päikeseelektrisüsteemide olemusest ja toimimise põhimõtetest;
- Selgitada välja meetodid, kuidas päikesepaneelide tuletundlikkust mõõdetakse;
- Anda ülevaade Eestis, Saksamaal, Soomes USA-s ja Ühendkuningriigis kehtivatest nõuetest päikeseenergiasüsteemide paigaldusele koosmõjus Eestis olemasolevate nõuete võrdluses.

Uurimisküsimustele saadi teadusallikatele, dokumendianalüüsile ja ekspertintervjuudele tuginevalt vastused, et:

- Põhialused päikeseenergia tootmisel on jätkuvalt samad, paneelide põhikomponent on räni ja põhiliselt kasutatakse monokristallset paneeli. Paneelid ise muutuvad aasta-aastalt järjest võimsamaks, tehnoloogiliselt on lisandunud komponente, mis muudavad energia tootmise ohutumaks;
- Päikesepaneelid jagunevad kolme tuletundlikkuse klassi: A, B ja C, lisaks on turul ka paneelid, mis ei oma tuletundlikkuse klassi, st pole teste nõuetekohaselt läbinud või on

vastavad katsed tegemata. Tuletundlikkus määratakse päikesepaneelidel kahe katsega: spread of flame ja burning brand test, vastavalt tule levikule paneeli all ja peal hinnatakse paneelide tuletundlikust ja mida vähem paneel tules põleb, seda kõrgema klassi paneel testide tulemusena saavutab;

- Tuletundlikkuse nõuded on Eestis üle võetud Euroopa Liidus kehtivate standardite kaudu. USA on oma nõuete ja standarditega paljus sarnane EL kehtivate nõuete ja standarditega (neid on ka omavahel püütud ühtlustada), kuigi suurimad erinevused on uuritud riikide seas just USA-s. Paljudes riikides on riik ise kehtestanud erinevad nõuded päikesepaneelide paigaldamisel ja müümisel. Eestis üheselt kehtestatud standardid päikesepaneelide tuletundlikkusele puuduvad. Sellest saab järeldada, et riiklikult kehtestatud nõudeid tuleks oluliselt täiendada.

Kokkuvõtvalt on oluline välja tuua, et kuna ka Eestis on energiatootmine kasvav trend, ei saa jätta kogu vastutust arhitektidele ja paigaldajatele, kes püüavad täna erinevate riikide, tootjate ja isikliku kogemuse alusel töid teostada ja tarbijat nõustada. Läbimõeldud ja ekspertidega koostöös välja töötatud juhendid on tuleohutuse vaates vajalikud projekteerimisel, paigaldamisel, hooldamisel ja tarbimisel.

SUMMARY

In this study, the fire sensitivity of solar panels imported to Estonia and designed and installed on buildings was examined, and the requirements were compared with those of other countries.

The author of the thesis formulated the following research problem: do the solar panels installed in Estonia meet the requirements of fire resistance? The author's aim was thus to find out the fire resistance of solar panels imported to Estonia and later tailored and installed on buildings.

In order to achieve this objective, the author of the thesis set the following research questions.

- What is the principle behind the design and operation of solar energy systems?
- What are the classes of fire resistance of solar panels and what tests determine these classes?
- Are the fire resistance requirements for roof-mounted solar panels in Estonia comparable to those in the examined countries?

The author formulated the following research tasks:

- analyse and give an overview of the nature and principles of operation of solar energy systems;
- identify methods for measuring the fire resistance of solar panels;
- provide an overview of the requirements for the installation of solar energy systems in Estonia, Germany, Finland, the USA, and the UK, together with a comparison of the requirements in Estonia.

Answers to the research questions, based on scientific sources, document analysis, and expert interviews, were as follows:

- the fundamentals of solar power generation remain the same, with silicon as the main component of the panels and monocrystalline panels being the most commonly used. The panels themselves are becoming more powerful each year, with the addition of technological components that make energy production safer;

- solar panels are divided into three classes of fire resistance: A, B and C. In addition, there are panels on the market that do not have a fire class, i.e. have not been properly tested or have not been tested. Fire resistance is determined by two tests: the spread of flame test and the burning brand test. The fire resistance of the panels is assessed according to the spread of flame below and above the panel: the less the panel burns in the fire, the higher the class the panel achieves in the tests;

- In Estonia, the requirements for fire safety have been transposed through the standards in force in the European Union. The USA requirements and standards are very similar to those of the EU (and efforts have been made to harmonise them), although the biggest differences between the countries studied are in the USA. In many countries, the country itself has set different requirements for the installation and sale of solar panels. In Estonia, there are no unambiguously established standards for the fire resistance of solar panels. It can therefore be concluded that nationally established requirements should be substantially improved.

In conclusion, it is important to point out that since energy production is a growing trend in Estonia, too, the responsibility cannot be left entirely to architects and installers who today try to conduct works and advise the consumer based on the experience of different countries, manufacturers as well as their own. Well thought-out guidelines, developed in cooperation with experts, are necessary from the point of view of fire resistance in design, installation, maintenance, and consumption of solar panels.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Afridi, M., Kumar, A., Mahmood, F. & Tamizhmani, G., 2023. Hotspot testing of glass/backsheet and glass/glass PV modules pre-stressed in extended thermal cycling. *Solar Energy*, 249, pp. 467-475.

Akram, W., Li, G. & Chen, X., 2022. Failures of Photovoltaic modules and their Detection: A Review. *Applied Energy*, 313, pp. 1-45.

Allianz Bauwerkintegrierte Photovoltaik e.V., 2020. *Technische Bestimmungen BIPV als Bauprodukt* [Võrgumaterjal] Leitav: https://allianz-bipv.org/wp-content/uploads/2020/12/Allianz-BIPV_Techn-Baubestimmungen_151220.pdf [Kasutatud 02.03.2024].

Anon, 2017. *Fotoefekti rakendused: päikeseplatari, fotoelement, CCD element* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://vara.e-koolikott.ee/taxonomy/term/3921> [Kasutatud 22.03.2024].

Aram, M., Zhang, X., Qi, D. & Ko, Y., 2021. A state-of-the-art review of fire safety of photovoltaic systems in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 308, pp. 1-13.

Awasthi, A., Shukla, A.-K., Manohar, M., Dondariya, C., Shukla, K.N., Porwal, D. & Richhariya, G., 2020. Review on sun tracking technology in solar PV system. *Energy Reports*, 6, pp. 392-405.

Borawski, P., Holden, L. & Beldycka-Borawska, A., 2023. Perspectives of photovoltaic energy market development in the european union. *Energy*, 270, pp. 1-19.

Choudhary, P. & Srivastava, R.-K., 2019. Sustainability perspectives- a review for solar photovoltaic trends and growth opportunities, *Journal of Cleaner Production*, 227, pp. 589-612.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K., 2007. *Research methods in education*. London: Routledge

Deutsches Institut für Bautechnik, 2012. *Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen* [Vörgumaterjal] Leitav: [https://wirtschaft.hessen.de/sites/wirtschaft.hessen.de/files/2021-](https://wirtschaft.hessen.de/sites/wirtschaft.hessen.de/files/2021-07/hinweise_fuer_die_herstellung_planung_und_ausfuehrung_von_solaranlagen.pdf)

[07/hinweise_fuer_die_herstellung_planung_und_ausfuehrung_von_solaranlagen.pdf](https://wirtschaft.hessen.de/sites/wirtschaft.hessen.de/files/2021-07/hinweise_fuer_die_herstellung_planung_und_ausfuehrung_von_solaranlagen.pdf)

[Kasutatud 22.03.2024].

Eesti taastuenergia koda, 2021. *Taastuenergia aastaraamat 2021*. [Vörgumaterjal]

Leitav: <https://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2022/08/Taastuenergia-aastaraamat-2021.pdf> [Kasutatud 22.01.2024].

Elering AS, 2022. *Elektrituru käsiraamat*. [Vörgumaterjal] Leitav:

<https://elering.ee/sites/default/files/public/Elektrituru%20k%C3%A4siraamat/Elektrituru%20k%C3%A4siraamat.pdf> [Kasutatud 22.01.2024].

Fiorentini, L., Marmo, L., Danzi, E. & Puccia, V., 2016 Fire Risk Assessment of Photovoltaic Plants. A Case Study Moving from two Large Fires: from Accident Investigation and Forensic Engineering to Fire Risk Assessment for Reconstruction and Permitting Purposes. *Chemical Engineering Transactions*, 48, pp. 427-432.

FPA, 2023. *RC62: Recommendations for fire safety with PV panel installations*

[Vörgumaterjal] Leitav: <https://www.thefpa.co.uk/advice-and-guidance/free-documents?q=RC62%20Recommendations%20for%20fire%20safety%20with%20PV%20panel%20installations> [Kasutatud 12.03.2024].

Green, M., Dunlop, E., Yoshita, M., Kopidakis, N., Bothe, K., Siefer, G. & Hao, X., 2023. Solar cell efficiency tables (Version 63). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 32,(1), pp. 3-13.

Goetzberger, A. & Hoffmann, U., 2005. *Photovoltaic Solar Energy*. Berlin Heidelberg New York: Springer.

Gul, M., Kotak, Y. & Muneer, T., 2016. Review on recent trend of solar photovoltaic technology. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(4), pp. 485-526.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P., 2007. *Uuri ja kirjuta*. Tallinn: Medicina.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., A. Adelodun, A. & Kim, K., 2018. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp, 894–900.

Khokher, A., 2022. *Introduction to Solar PV Standards and Certifications*. [Võrgumaterjal]
Leitav: <https://www.linkedin.com/pulse/introduction-solar-pv-standards-certifications-asif>
[Kasutatud 23.03.2024]

Kristensen, J. S., 2022. *Fire risk associated with photovoltaic installations on flat roof constructions*. [Võrgumaterjal] Leitav:
https://www.researchgate.net/publication/369141515_Fire_risk_associated_with_photovoltaic_installations_on_flat_roof_constructions_Experimental_analysis_of_fire_spread_in_semi-enclosures [Kasutatud 11.02.2024].

Kumari, N., Kumar Singh, S. & Kumar, S., 2022 A comparative study of different materials used for solar photovoltaics technology. *Materials Today: Proceedings* 66, pp, 3522-3528.

Laherand, M.-L., 2008. *Kvalitatiivne uurimisviis*. Tallinn: Infotrükk.

MCS, 2012. *Guide to the Installation of Photovoltaic Systems*. [Võrgumaterjal] Leitav:
<https://static.solartricity.ie/wp-content/uploads/2014/07/MCS-guide-to-installation.pdf>
[Kasutatud 11.03.2024].

Messenger, R. & Ventre, J., 2005. *Photovoltaic systems engineering 2nd ed*. Taylor & Francis e-Library.

Mohd Nizam Ong, N.-A.-F., Mohd Tohir, M.-Z., Md Said, M.-S., Nasif, M.-S., Alias, A.-H. & Ramali, M.-R., 2022. Development of fire safety best practices for rooftops grid-connected photovoltaic (PV) systems installation using systematic review methodology. *Sustainable Cities and Society*, 78, pp. 1-21.

Peacock, F., 2018. *The Good Solar Guide: 7 Steps To Tiny Bills for Australian Homeowners*. Rethink Press

Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, 2023. *Aurinkosähköjärjestelmien paloturvallisuusohje*. [Võrgumaterjal] Leitav:
<https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023->

[01/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6j%C3%A4rjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf](#) [Kasutatud 12.04.2024].

Päästeamet, 2023. *Päikeselektripaigaldiste ehitus ja kasutuselevõtt*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.rescue.ee/files/Materjalid/2023-12-20-paikseelektripaigaldiste-tuleohutuse-juhend.pdf?97b54fa1df> [Kasutatud 01.05.2024]

Santhakumari, M. & Sagar, N., 2019. A review of the environmental factors degrading the performance of Silicon wafer-based photovoltaic modules: Failure detection methods and essential mitigation techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, pp. 83-100.

Shabbir, N., Kütt, L., A.Raja, H., Jawad, M. & Allik, A., 2022. Techno-economic analysis and energy forecasting study of domestic and commercial photovoltaic system installations in Estonia. *Energy* 253, 124156, pp.1-17.

Sepanski, A., Reil, F., Vaasen, W., Janknecht, E., Hupach, U., Bogdanski, N...Halfmann, M., 2015. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung*. [Võrgumaterjal] Leitav: http://www.pv-brandsicherheit.de/fileadmin/downloads_fe/Leitfaden_Brandrisiko_in_PV-Anlagen_V01.pdf [Kasutatud 17.02.2024]

Siseminister, 2021. *Ehitisele esitatavad tuleohutusnõuded. Määrus nr 17, RT I, 23.02.2021, 13*.

Stolen, R., Li, T., Wingdahl, T & Steen-Hansen, A., 2024. Large- and small-scale fire test of a building integrated photovoltaic (BIPV) façade system. *Fire Safety Journal*, 144, pp.1-11.

TTJA, 2024. *Elektripaigaldiste auditi juhendmaterjal ver12.1*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://ttja.ee/media/1605/download> [Kasutatud 11.05.2024].

TÜV Rheinland, 2011. *Requirements for Photovoltaic Modules Tested Under Fire Conditions According to IEC 61730-2* [Võrgumaterjal] Leitav: https://energiaoffgrid.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/04/iec_61730-2_firetest_tuv-solar-modules.pdf [Kasutatud 17.03.2024].

Pinn, M., Pinn, R. ja Pinn, M., 2012. *Elekter päikesest ja tuulest*. Tallinn: MTÜ Kolm Kobrastr.

Underwriters Laboratories Inc., 2008. *Standard for Standard Test Methods for Fire Test of Roof Coverings*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://yiqi-oss.oss-cn-hangzhou.aliyuncs.com/aliyun/900101567/technical_file/file_132012.pdf [Kasutatud 11.02.2024].

Vabariigi Valitsus, 2017. *Energiamajanduse arengukava aastani 2030*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://energiatalgud.ee/ENMAK%3AEesti_pikaajaline_energiamaajanduse_arengukava_2030%2B?category=808 [Kasutatud 17.01.2024].

Õunapuu, L., 2014. *Kvalitatiivne ja kvantitatiivne uurimisviis sotsiaalteadustes*. Tartu: Tartu Ülikool.

LISAD

LISA 1. Ekspertintervjuu küsimustik:

1. IEC 61730-2 või UL 1703 (selgitus lk 18) *spread of flame* test ja *burning brand* testiga määratakse päikesepaneelide tuletundlikkuse klassi, olete Te sellest teadlik?
2. Kas Eestis on maale toodavatele ja paigaldatavatele paneelidele seatud tuletundlikkuse nõuded? On see Teie arvates vajalik?
3. Millisele tuletundlikkusele (A,B,C, ei oma klassi) vastavaid paneele olete projekteerinud, maale toonud, hooldanud või paigaldanud? Mille alusel valik toimub?
4. Kas projekteerimisel, paigaldamisel kasutatakse paneelile tootja poolt soovitatud (ette nähtud) montaaži süsteemi?
5. Millest sõltub paneeli kaldenurga valik? Millised on teie valikud olnud tänaseni?
6. Integreeritud süsteem (BIPV), kas toote maale, olete projekteerite, paigaldanud? Millisele tuletundlikkusele klassile vastavad, kus ja miks olete kasutanud?
7. Päikeseenergiasüsteemi hilisem hooldus: kas realselt rakendatakse ja kuidas on lahendatud?
8. Teie arvamus: Kas päikesepaneelide projekteerimisele, maale toomisele, paigaldamisele sätestatud normid on liiga ranged ja või tuleks norme muuta praktilisele vajadusele lähtuvalt ?

Tabel nr 3 Intervjuuküsimustiku jaotus uurimisküsimuste vahel (autori koostatud)

Uurimisküsimus	Intervjuu küsimus
<p>1. Milline on päikeseenergiastüsteemide ülesehitus ja toimimise põhimõtted?</p>	<p>1. Kas projekteerimisel, paigaldamisel kasutatakse paneelile tootja poolt soovitatud (ette nähtud) montaaži süsteemi?</p> <p>2. Millest sõltub paneeli kaldenurga valik? Millised on teie valikud olnud tänaseni?</p> <p>3. Päikeseenergiastüsteemi hilisem hooldus: kas reaalselt rakendatakse ja kuidas on lahendatud?</p>
<p>2. Millisteks tulekindluse klassidesse jagunevad päikesepaneelid, ning millised katsed neid määravad?</p>	<p>4. IEC 61730-2 või UL 1703 (selgitus lk 18) <i>spread of flame</i> test ja <i>burning brand</i> testiga määratakse päikesepaneelide tulekindluse klassi, olete Te sellest teadlik?</p> <p>5. Millisele tulekindlusele (A,B,C, ei oma klassi) vastavaid paneele olete projekteerinud, maale toonud, hooldanud või paigaldanud? Mille alusel valik toimub?</p> <p>6. Integreeritud süsteem (BIPV), kas toote maale, olete projekteerinud, paigaldanud? Millisele tulekindlusele klassile vastavad, kus ja miks olete kasutanud?</p>
<p>3. Kas katusele paigaldatavate päikesepaneelide tulekindluse nõuded on Eestisse tarnitavatel seadmetel võrreldavad uuritavates riikides kehtestatud nõuetega?</p>	<p>7. Kas Eestis on maale toodavatele ja paigaldatavatele paneelidele seatud tulekindluse nõuded? On see Teie arvates vajalik?</p> <p>8. Teie arvamus: Kas päikesepaneelide projekteerimisele, maale toomisele, paigaldamisele sätestatud normid on liiga ranged ja või tuleks norme muuta praktilisele vajadusele lähtuvalt ?</p>

LISA 2. Koodipuu

Kategooria „Tuletundlikkuse klass, katsed“	Kategooria “Paigaldus katusel”	Kategooria “Tuleohutus katustel”	Kategooria “Hooldus”	Kategooria “Normid paigaldusele Eestis”
<p>Kood1 Ei tea</p> <p>Kood2 Tean standardit, ei tea katse olemust</p> <p>Kood3 Tean standardit, ja tean katse olemust</p> <p>Kood4 Tean standardit, olen läbi viinud katset</p>	<p>Kood 1 Kaldenurgad</p> <p>Kood 2 Montaažialus</p> <p>Kood 3 Viilkatus</p> <p>Kood 4 Lamekatus</p>	<p>Kood 1 Tuletundlikkuse klass</p> <p>Kood 2 Valikukriteeriumid</p> <p>Kood 3 Paneelide tuletundlikkuse alternatiivid</p>	<p>Kood 1 Hooldustihedus</p> <p>Kood 2 Kaabeldus, inverterid</p> <p>Kood 3 Paneelid</p> <p>Kood 4 Lumi, sodi katustel</p>	<p>Kood 1 ühtlus kogu Eesti nõuetele PÄA poolt</p> <p>Kood 2 Linnade, regioonide erinevad nõuded</p> <p>Kood 3 Uued standardid</p> <p>Kood 4 Paneelide tuletundlikkuse nõue</p>