

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Karel Soosaar

**KUSTUTUSTÖÖDEGA SEONDUVAD OHUD
PÄIKESEPANEELIDEGA HOONETES**

Lõputöö

Juhendajad:
Priit Pikk, MsC
Mart Sild, MA

Tallinn 2015

SISEKAITSEAKADEEMIA LÕPUTÖÖ ANNOTATSIOON

| | |
|---|------------|
| Päästekolledž | Juuni 2015 |
| <p>Töö pealkiri: Kustutustöödega seonduvad ohud päikesepaneelidega hoonetes</p> <p>Töö pealkiri: Fire Risks in Buildings with Solar Panels</p> <p>Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ja koosneb 48 leheküljest. Lõputöö teema on aktuaalne, sest Eestis ei ole Päästeametil vastavat väljaõpet, kuidas toimida päikesepaneelidega varustatud hoonete kustutamisel ning puudub vastav ohutusjuhend ja praktika. Lõputöö eesmärgiks oli töötada välja soovitud ohutusjuhendi koostamiseks päikesepaneelidega hoonete kustutamisel. Töö eesmärgi saavutamiseks püstitati järgnevad uurimisülesanded:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Anda ülevaade päikeseenergia olemusest, päikesejaama struktuurist ja peamistest komponentidest. 2. Analüüsida päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riske USA ja Saksamaa uurimustööde ning ekspertintervjuude põhjal. 3. Tuua välja olulised tähelepanekud, et parandada Eesti Päästeameti valmidust vastavas olukorras käitumiseks. <p>Analüüsitud materjalide põhjal toodi välja olulised tähelepanekud, mida päästjad peaksid kustutustöid teostades jälgima. Päästja ohutuse tagamiseks tuleks kasutada elektrit maandavaid tööriistu ja varustust; süsteemi puhul tuleks akude kustutamisel kasutada süsihappegaasi kustutit; võimalusel katta paneel valgust mitteläbilaskva materjaliga; veega kustutamisel jälgida vee joa pihustatavust.</p> | |
| Võtmesõnad: päikesepaneel, fotoelektrilised süsteemid, elektriolt, reageerimine | |
| Võõrkeelsed võtmesõnad: Solar panel, Photovoltaic systems, electric danger, fire response | |
| Lõputöö seos riiklike arengukavade ja prioriteetidega: Päästeameti strateegia 2015-2025 | |
| Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia raamatukogu | |
| <p>Töö autor: Karel Soosaar</p> <p>Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, seisukohad, kirjalikest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.</p> <p>Allkiri:</p> | |
| Vastab lõputöö nõuetele | Allkiri: |
| Juhendaja: Priit Pikk | |
| Vastab lõputöö nõuetele | Allkiri: |
| Kaasjuhendaja: Mart Sild | |
| Kaitsmisele lubatud | Allkiri: |
| Kolledži direktor: Ain Karafin | |

SISUKORD

| | |
|---|----|
| MÕISTED JA LÜHENDID | 4 |
| SISSEJUHATUS | 6 |
| 1. PÄIKESEENERGIA | 8 |
| 1.1 Päikeseenergia olemus | 8 |
| 1.2 Päikesejaama struktuur ja komponendid | 12 |
| 1.3 Päikeseelektrijaamade paigaldusviisid | 17 |
| 1.4 Elektrivoolu mõju inimesele | 19 |
| 2. KUSTUTUSTÖÖDEGA SEOTUD RISKID PÄIKESEPANEELIDEGA ELAMUTES JA ETTEPANEKUD OHU VÄLTIMISEKS EESTIS | 22 |
| 2.1 Uuringu metodoloogia ja valim | 22 |
| 2.2 Päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riskid USA ja Saksamaa näitel | 24 |
| 2.3 Intervjuude tulemused..... | 28 |
| 2.4 Järeldused ja ettepanekud..... | 31 |
| KOKKUVÕTE | 35 |
| SUMMARY | 37 |
| VIIDATUD ALLIKATE LOETELU | 38 |
| LISA 1. PÄIKESEPATAREI TEHNOLOOGIATE PEREKOND..... | 45 |
| LISA 2. VÕRGUINVERTER JA MIKROINVERTER..... | 46 |
| LISA 3. ALALISVOOLU KAABELDUS FOTOELEKTRILISTE KAABLITE KARAKTERISTIKAST FIRMA HELUKABEL NÄITEL..... | 47 |
| LISA 4: INVERTERI JA ELEKTRIKILBI MÄRGISTUS FOTOELEKTRILISTE SÜSTEEMIDE KORRAL..... | 48 |

MÕISTED JA LÜHENDID

Alalisvoolu kaabel - Fotoelektrilise sektsiooni väljundkaabel või –juhe, mille kulgemistee on moodulitest kuni inverterini. (EVS 7-712, 2006)

Alalisvoolu pool - fotoelektrilise paigaldise osa alates fotoelektrilistest elementidest kuni vaheldi alalisvooluklemmideni. (EVS 7-712, 2006)

Alarõhustamine, negatiivne ventilatsioon – hõrenduse tekitamine ruumi, millest eemaldatakse suits. (Päästekolledž, 2011)

Fotoelektriline element - fotoelektriline ühikseadis, mis võib genereerida elektrit, kui elemendile langeb valgus. (EVS 7-712, 2006).

Fotoelektriline moodul – fotoelektriline ühikseadis, mis genereerib elektrit, kui sellele langeb valgus, näiteks päikesekiirgus. (EVS 7-712, 2006).

Fotoelektriline paigaldus – fotoelektriliste toiteallika paigaldatud seadmestik. (EVS 7-712, 2006)

Fotoelektriline paneel - fotoelektriline moodul mehaaniliselt integreeritud, kokku laotud ja elektriliselt ühendatud. (EVS 7-712, 2006).

Fotoelektriline sektsioon - Fotoelektriliste moodulite ja komponentide mehaaniliselt ja elektriliselt terviklik kooste. (EVS 7-712, 2006)

Fotoelektrilise generaatori vaheldi/inverter - seade, mis muundab alalispinge ja –voolu vahelduypingeks ja –vooluks (EVS 7-712, 2006)

Fotoelektrilise mooduli ühenduskarp (IP67 kaitsega) - ümbris, millest fotoelektrilise sektsiooni kõik moodulijadad on elektriliselt ühendatud ja milles võivad vajaduse korral paikneda kaitseseadmed. (EVS 7-712, 2006)

Fotoelektrilise sektsiooni kaabel või juhe - fotoelektrilisi mooduleid ühendav kaabel või juhe, mille abil moodustatakse fotoelektriliste moodulite jada. (EVS 7-712, 2006)

Jootmine - kahe või rohkem metallide ühendamine sulatamise ja siduva materjali (nt tina) lisamine. (Wikipedia, 2015)

Mikrotootja - elektritootja, kes toodab elektrit peamiselt oma majapidamise või ettevõtte tarbeks. Mikrotootja toodab elektrit taastuvatest energiaallikatest ning tema tootmiseseadmete võimsus on alla 11 kW. (Eesti energia, 2015)

Nimipinge - elektripaigaldist iseloomustav suurus, mis on paigaldise ettenähtud tööpinge.

NIOSH - rahvusvaheline tööohutuse ja tervise instituut (CDC, 2015).

Pn-siire - pooljuhtkristallis tekitatakse kaks erineva juhtivusega piirkonda: aukjuhtivusega piirkond ehk p-piirkond ja elektronjuhtivusega piirkond ehk n-piirkond, nende kahe piirkonna kokkupuute ala nimetatakse pn-siirdeks (Elektroonika alused, 2011).

Vahelduvoolu pool - fotoelektrilise paigaldise osa alates vaheldi vahelduvvooluklemmidest kuni väljundkaabli või – juhtme ühenduspunktini toodetavas elektripaigaldises. (EVS 7-712, 2006)

Vooluring – laiem mõiste vooluahel. Võib vaadelda kahes osas: sisemine osa ehk siseahel, milleks on toite allikas ja välisahel, milleks on tarvitid, ühendusjuhtmed, lülitid, mõõteriistad jne (Lahtmets, 2002, p.4).

SISSEJUHATUS

Taastuvad energiaallikad on energiakandjad, mis saadakse ja mis täienevad looduslike protsesside kaudu ning kasutamisel ei ammendu. Taastuvateks energiaallikateks on päike, kuu külgetõmbejõud ja maa tuuma soojus. Tuult, biomassi, vee tõusu - mõõna ning nende saadusi nimetatakse samuti taastuvateks. (SEI, 2000)

Taastuenergia tootmise ja tarbimise suurendamine on vajalik keskkonnasaaste vähendamiseks. Euroopa Liit, ja Eesti selle liikmena, tähtsustab taastuenergia tootmise ja tarbimise osakaalu suurendamist (Kommunikatsiooniministerium, 2010, p.8).

Elektriäriaga tegeleva firma Elering 2014. aasta taastuenergia statistika kohaselt oli taastuenergia tootjate hulgas 175 päikesepaneelide abil elektri tootjat ja enamik neist mikrotootjad (Elering, 2015). Autor tegi Eleringile päringu, millele vastati, et mikrotootjaid, kelle elektrienergia tootmisallikaks on päikesepaneelid, on 06.05.2015 seisuga 357. Statistikast nähtub, et aastaga on päikesepaneelide abil elektritootjate arv kahekoristunud. Eraldiseisvate süsteemide kohta puudub statistika.

Üha laialdasem päikesepaneelide kasutuselevõtt tingib olukorra, kus päästjad võivad tulekahjudel kokku puutuda päikesepaneelidega. Päikesepaneelid ammutavad energiat kõikidest valgusallikatest, olgu selleks tänavavalgustus või lamp, seega võivad need tulekahju korral olla ohuks tuletõrjajatele. Eestis puudub vastav ohutusjuhend, kuidas päästjad peaksid reageerima.

Tulekahju korral on päikesepaneelide liigutamine väga ohtlik ja pinges olevate kaablite purunemisel võib saada surmava elektrilöögi. Ameerika Ühendriikides Philadelphia linnas põles tööstushoone 29 tundi, kuna tuletõrjajad ei saanud katusele, sest see oli kaetud elektrit tootvate päikesepaneelidega (CBS Los Angeles, 2014).

Lõputöö teema on aktuaalne, sest päikesepaneelidega varustatud elamute tulekahju korral võib kaasneda lisaohte päästjatele ja Eestis ei ole Päästeametil vastavat väljaõpet.

Lõputöö eesmärk on töötada välja soovitud ohutusjuhendi koostamiseks päikesepaneelidega hoonete kustutamisel.

Eesmärgist lähtuvalt uurib lõputöö autor päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riske USA ja Saksamaa praktika põhjal. Lõputöö raames tuuakse välja olulisemad ohud, mis võivad tekkida ka Eestis ning võimalikud lahendused ohtude ennetamiseks. Lõputöö eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgnevad uurimisülesanded:

1. Antakse ülevaade päikeseelektri olemusest, päikesejaama struktuurist ja peamistest komponentidest.
2. Analüüsitakse päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riske USA ja Saksamaa uurimustööde ning Eesti ekspertintervjuude põhjal.
3. Tuuakse välja olulised tähelepanekud, et parandada Eesti Päästeameti valmidust vastavas olukorras käitumiseks.

Lõputöö koostamisel kasutatakse kombineeritud kvalitatiivset andmete kogumise- ja analüüsimeetodit. Analüüsimisel kasutatakse USA ja Saksamaa päästetööde uurimustöid. USA-s ja Saksamaal on päikesepaneelid palju levinumad kui Eestis. Autor viis läbi ekspertintervjuud, et saada ülevaade, kas analüüsi põhjal välja toodud ohud võivad ka Eesti tingimustes olla päästjatele ohtlikud. Andmeanalüüsi eesmärgiks on tuua välja päikesepaneelidega hoonete kustutustöödega seotud riskid ning olulised aspektid, mida kustutustöödel jälgida.

Lõputöö koosneb kahest peatükist, mis on omakorda jaotatud kaheks alapeatükiks. Esimese peatüki esimeses alapeatükis antakse ülevaade päikeseenergia olemusest. Esimese peatüki teises alapeatükis antakse ülevaade päikesejaama struktuurist ja peamistest komponentidest, tuuakse välja olulised mõisted.

Teise peatüki esimeses alapeatükis analüüsitakse päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riske USA ja Saksamaa praktika põhjal. Teine peatükk sisaldab ka ekspertintevjuude tulemusi, mis viidi läbi vastava valdkonna ekspertidega.

1. PÄIKESEENERGIA

1.1 Päikeseenergia olemus

Elekter on inimeste igapäevaelus olulisel kohal. Rahvastiku kasvu ja ülemaailmse tarbimise suurenemise tingimustes on oluline leida keskkonnasäästlikke meetmeid energia tootmiseks. Ajalooliselt on energiat saadud nii tuule kui vee abil. Tehnika arenedes on õpitud ära kasutama ka päikeseenergiat. Antud peatükis antakse ülevaade päikeseenergia ajaloost ja olemusest.

Kasutatavast energiast pärineb 98% päikesest. Otsese päikeseenergia kasutamise ajalugu algab seitsmendast sajandist e.m.a, mil tule süütamiseks kasutati suurendusklaasi ja nõguspeegleid. On olemas palju võimalusi, kuidas saada päikeseenergiast elektrit mehaanilise töö kaudu. (Pinn et al., 2012, p.150)

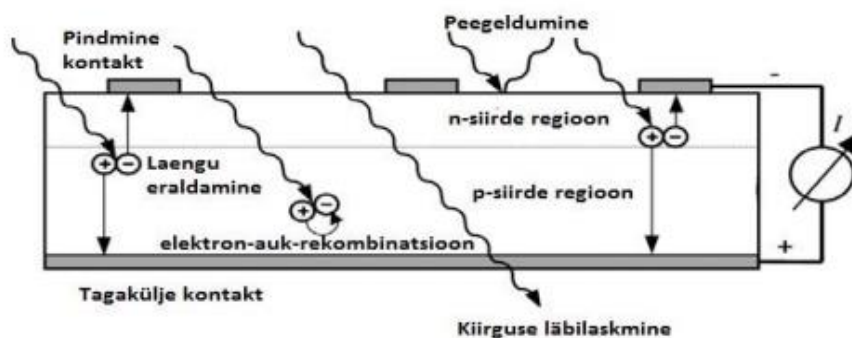
Päike eraldab Maale soojust ja valgust. Päikeseenergia saamiseks kasutatakse peamiselt kahte tüüpi süsteeme. Kasutatakse päikeseenergia termilisi süsteeme, kus kogutud soe vesi soojendatakse kollektoris ja teine tüüp on fotoelektriline süsteem, mis muundab päikesevalguse elektriks. (Energy market, 02.04.2014, p. 4) Antud töös käsitleb autor ainult fotoelektrilist süsteemi.

Fotoelektriline paneel

Esmakordselt vaatles fotoelektrilist efekti prantsuse füüsik Edmund Becuel 1839. aastal, kui ta märkas, et kahe sarnase elektrolüüdi valgustamisel nõrgas ühenduses tekkis pinge. Fotoefekti tahketes materjalides jälgiti esmakordselt 1876. aastal, kui William Grylls Adams ja Richard Evens Day valgustasid seleeni künnlavalguse abil, kuid see ei suutnud piisavalt energiat toota, et varustada elektriseadmeid. Läbimurre toimus 1940-ndate lõpus ja 50-ndate alguses, kui leiutati niinimetatud „Czochralski“ meetod, kus toodeti ühtlase struktuuriga monokristalle. 1954. aastal tootsid Daryl Chapin ja Calvin Fuller Czochralski meetodil ränist

fotoelemendi, mille põhimõttel töötavad enamused päikesepaneelid. (Goetzberger & Hoffmann, 2005, p.1) (Pinn et al., 2012, p.150)

Fotoelektriline efekt on kõige otsesem viis toota päikesekiirgusest elektrit. Päikeseelement on fotoelektriline pooljuhtdiod, mille pn-siire piirkonda langev valguskiirgus genereerib seal laengukandjad - elektron-auk-paare ja toimub nende rekombinatsioon. Siirde elektrivälja eraldab tekkinud elektronid ja augud nii, et viimased kogunevad p-kihti, elektronid aga jäävad n-siirde piirkonda. Seetõttu tekib diodi viikude vahel potentsiaalide vahe, mida nimetatakse elektromootorjõuks. Pooljuhtplaadid on ühendatud omavahel kontaktidega ja nii saab voolu juhtida (Joonis 1) (Abo, 1997, p.136).

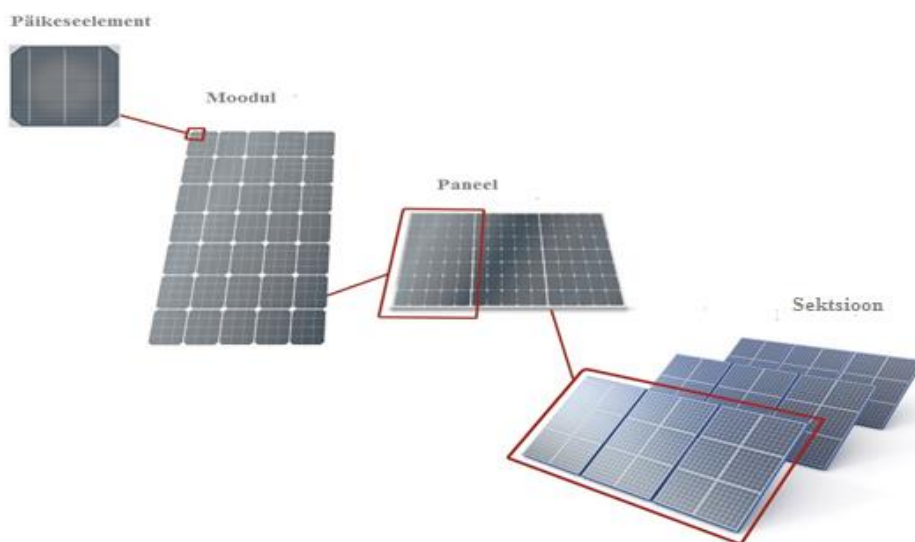


Joonis 1. Fotoelektriline efekt (Kerem, 2014 p.8)

Et vältida kiirguse soovimatut peegeldumist fotoelemendi pinnalt, on see kaetud peegeldumisvastase kihiga, milleks enamjaolt kasutatakse titaanoksiidi (TiO_2). Fotoelemendi kogupaksus on nüüdisajal 0,2 mm kuni 0,3 mm ja pindala ligikaudu 156 mm x 156 mm (Risthein, 2013, pp. 278-279). Füüsikaline fotoelektriline elemendi tööpõhimõte on palju keerulisem ja ei kuulu selle uurimuse raamistikku.

Fotoelement ehk fotogalvaanilistes elektrijaamades muundatakse kiirgus otseselt alalisvoolu elektrienergiaks. Fotoelementidest moodustatakse tavaliselt mõne ruutmeetri suurused moodulid, mis ühendatakse omavahel jadamisi sobiva pinges saamiseks. Moodulijadad moodustatakse rööpühendamise teel sektioonid, mis omakorda ühendatakse vastavalt soovitavale võimsusele rööbiti või jadamisi. (Risthein, 2013, pp.278-79) Kuna tüüpiline üksik päikeseelement annab välja võimsust vähem kui 5 W väljundpingel 0,6 V, siis peavad päikeseelementid olema ühendatud jadamisi või rööbiti, et tagada soovitud võimsus. Olenevalt

rakendusest võivad mooduli väljundvõimsused varieeruda mõnest vatist kuni enamasti 300 vatini. Enamik tänapäeva mooduleid koosnevad 54-72 päikeseelemendist (Messenger & Ventre, 2010, p.47). Tüüpiline mooduli pinge on 20-40 volti, aga see sõltub paneeli tüübist ja tootjast (Nabcep, 2005). Sektsioonid või nende rühmad varustatakse vahelditega ehk inverteritega, mis edastavad vahelduvvoolu elektrienergiaga toidetavasse elektrivõrku. Päikesepaneelid koosnevad fotoelektrilistest elementidest, mis on ühendatud kokku suuremamõõtmeliseks alalisvoolu tootvaks seadmeks. Füüsilist moodulite komplekti, koos toetus seadmetega nimetatakse sektsiooniks või ka grupiks. (ing. k array). (Markvart, 1994, p.79) (Joonis 2)



Joonis 2. Päikeseelemendi hierarhia (Markvart, 1994)

Moodul valmistatakse kas kristallilisest ränist või polükristall räni elementidest ja mitmestest teistest materjalidest, mis on välja toodud lisas 1. Põhjus elementide liitmiseks suuremaks mooduliks tuleb elektrilisest karakteristikust, sest ühe elemendi elektri tootlikkus on väga väike. (Unesco, 1994, lk.80) Päikesepaneeli elektrilisi parameetreid iseloomustatakse karakteristikas volt - amper karakteristik ehk I-V kõvera kaudu, mis on toodud joonisel 3.

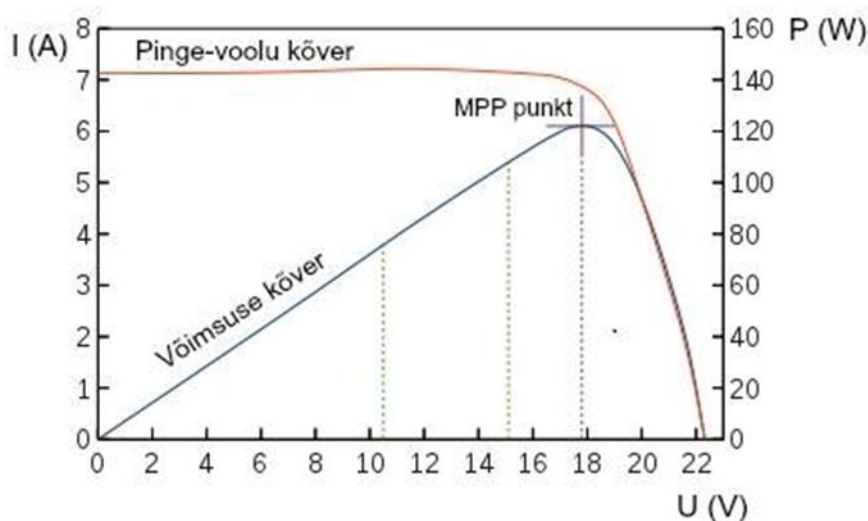
MPP-maksimaalne võimsuspunkt

Kui päike tõuseb, siis päikese kiirguse langemisel fotoelemendile tekib vool. Kui paneeli külge ühendatakse tarbija, siis hakkab pinge langema ja voolutugevus suurenema. Ühel hetkel langeb pinge hästi kiiresti, selle võrra ka voolutugevus

tõuseb, vaata joonis 3. See on maksimaalne võimsuspunkt (Pinn et al., 2012, p.115). Võimsus arvutatakse pinge korda voolutugevus:

$$P = U * I$$

Maksimaalne voolutugevus tulenebki sellest, et I - voolutugevus on suur ja U- pinge on kõrge.



Joonis 3. Päikesepaneeli I-U kõver (Electronics-Lab, 2002)

Mida madalam on paneeli temperatuur, seda kõrgem on pinge U ja mida tugevam on päikesekiirgus, seda kõrgem on vool I. Paneeli võimsuspunkt on sõltuvuses nii paneeli pingest kui voolust. (Taastuvenergia OÜ, 2014) Sellest järeldub, et kui väljas on pime, siis ei teki paneelides potentsiaalide vahet ega pinget. Ehk öösel on paneelides madalam pinge, kui päeval.

Päikesepaneelide keemiline koostis

On kahte sorti materjale, mida kasutatakse päikesepaneelide tehnoloogias. Nimelt kristalne räni, millest on valmistatud enamus kasutusel olevate päikesepaneelide. Teine sort on õhukesekilelised (ing.k *thin-film*), mis on uuemad ja hetkel veel kasutuselt vähe levinud. (Energy Market authority, 02.04.2014, p.7) Paneelide materjalide tehnoloogiline jagunemine on näidatud joonisel LISAS 1. Päikesepaneelide valmistamisel on teatud keskkonda ja tervist kahjustavad riskid. Fotoelektriliste süsteemide-tööstus kasutab toksilisi ja tuleohtlikke aineid. (Fthenakis, 2003, p.859)

Paneelide tootmisel kasutatakse keemilisi aineid, mis on seotud materjalide mürgisuse, tule - ja plahvatusohtlikkusega. Need ohud on peamiselt õhukesekileliste päikesepaneelide tootmistehnoloogias. Peamised ohud koos spetsiifiliste tüüpidega on toodud tabelis 1. (Fthenakis, 2003, p.859)

Tabel 1. Peamised ohud päikesepaneelide tootmisel (Fthenakis, 2003,p.859)

| Mooduli tüüp | Potentsiaalsed ohud |
|--|--|
| Kristallne räni (x-Si) | Vesinikhape põletused Silaan Tuli/ plahvatusohtlik Plii jootmine/ kahjulikud jäätmed |
| Amorfne Räni (a-Si) | Silaan – tule/ plahvatusohtlik |
| Kaadmiumtelluur (CdTe) | Kaadmiumi (Cd) mürgitus,vähkitekitav, kahjulikud jäätmed |
| vask-indium-seleniit, vask-indium-gallium-seleniit, - (CIS,CIGS) | Vesinik seleniidi mürgistus, kahjulikud jäätmed |
| Gallium arseniit (GaAs) | AsH ₃ Mürgistus, Arseniit (As) kancerogeensus, H ₂ tuleohtlikkus |

Peamiseks ohuks peetakse tulekahjus õhukesekilelisi paneele, mis sisaldavad kaadmiumtelluuri (CdTe). Kaadmiumi puhul on oht mürgiste gaaside vabanemisele kõrgetel temperatuuridel. Kaadmiumi sulamistemperatuur on 321 kraadi (United States Department of labor, 2015). Kuna lahtiste tulekahjude puhul võib tõusta temperatuur kuni 1200 kraadini (SKA Päästekolledži Päästekool, 2010, p.6), siis kaadmiumi sulamisel tekkivate mürgiste aurude vabanemine on väga tõenäoline. NIOSHI andmetel on kaadmiumi puhul ohtlike aurude kontsentratsioon õhus 50 mg/m³, mille korral on inimene võimeline 30 minuti jooksul evakueeruma ilma pöördumatuid tervisekahjustusi saamata. Kokkupuutumisel kaadmiumiga on soovitatav kasutada respiraatoreid ja teisi hingamiskaitsevahendeid. (NIOSH, 2014)

1.2 Päikesejaama struktuur ja komponendid

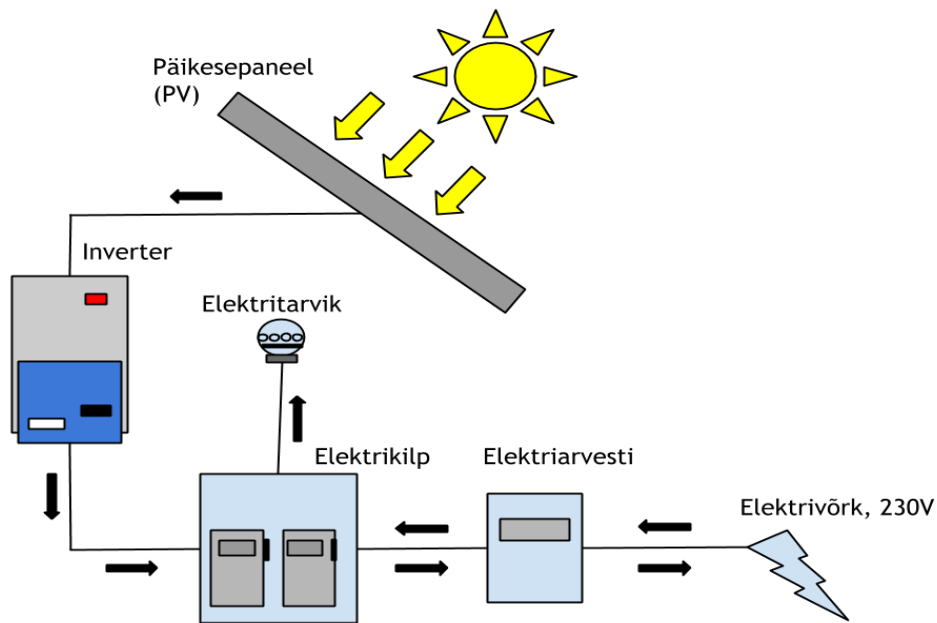
Päikeseelektrijaamad võivad olla väga erineva ülesehitusega. Lihtsamad süsteemid koosnevad energiaallikast, võrguinverterist ning tarbijast. Keerulisemad

süsteemid koosnevad paljudest komponentidest ja seadistatavate parameetrite arv võib ulatuda mitmesajani (Pinn et al., 2012, p.113).

Päikeseelektrijaamad klassifitseeruvad kahte erinevasse gruppi: eraldiseisvad süsteemid ja elektrivõrku ühendatud süsteemid. (Energy Market, 08.04.2015) Päästetöötajal on oluline teada, millise süsteemiga tegu on. Eraldiseisvate süsteemide ja võrku ühendatud elektriseadeldiste arv ja funktsioon on erinev.

Elektrivõrku ühendatud lahenduste puhul ühendatakse päikesepaneelid otse võrguinverteriga, mis toodavad võrguparameetritele vastavat pinget 230 V vahelduvpinget (Pinn et al., 2012). Võrku ühendatud inverterid ei tööta iseseisvalt, mis tähendab, et kui toimub elektrikatkestus, siis lülitab inverter ennast võrgust välja, kuid alalisvoolu pool jääb pinget alla. Võrguinverteritena paigaldatakse ka mikroinvertereid, mille positiivne külg on lühike alalisvoolu kaabel. Mikroinverteris muundatakse päikesevalgus otse päikesepaneeli taga 230 voldiseks vahelduvpingeks (Elsevier, 2015) (LISA 2). Inverteritele sätestatakse nõuded EVS standardiga 50438: Punkt 5.4 sätestab inverteri märgistuse võrguühenduse korral. Märgistus on toodud lisa 1.

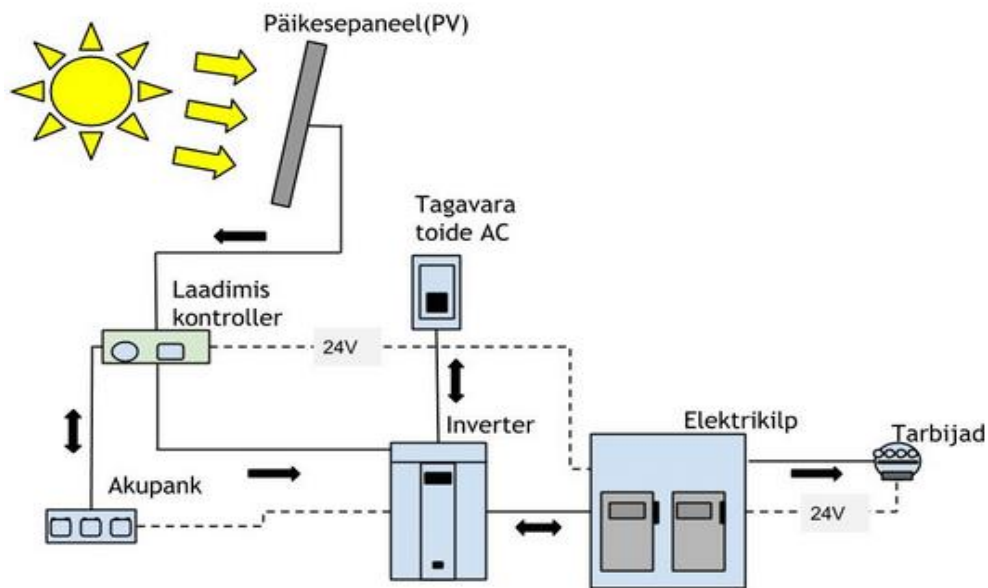
Joonisel 4 on näidatud lihtsustatud võrku ühendatud süsteem. „Võrku ühendatud päikeseenergiasüsteemid toodavad kogu hetkel vajamineva elektrienergia tarbijapaigaldise tarvis ning ülejääva osa annavad ära üldisesse elektrivõrku. Kui tarbijapaigaldise nõudlus on suurem kui süsteemi poolt genereeritav võimsus, siis võetakse puudu jääv osa üldvõrgust. Võrku ühendatud süsteemid võivad töötada ka puhta elektrijaama põhimõttel ehk kogu toodetav elektrienergia antakse ära elektrivõrku. Enamus päikese paigaldisi, olenemata kasutusotstarbest, on lahendatud sellisel viisil.“ (Kerem, 2014, p.11)



Joonis 4. Lihtsustatud võrku ühendatud süsteem. (Energiaklass, 2015)

Võrgust eraldiseisvad süsteemid (*off-grid või stand alone system*) on peamiselt täiesti sõltumatud ja neil puudub ühendus üldise elektrivõrguga. Energia tootmine ja tarbimine võib olla ajalises nihkes. Päeval päikesepaneelidega toodetud energiat kasutatakse hommikul, õhtul ja öösel. Seetõttu vajavad sellised süsteemid kindlasti energiasalvestit, milleks on tavaliselt akupank (LISA2) (Pinn et al., 2012).

Jooniselt 5 nähtub lihtsustatud eraldiseisev süsteem. Selle erinevus lihtsustatud võrku ühendatud süsteemist on see, et tal on akupank, kontrolleri, mis laeb ja kaitseb akusi ja tagavara toide (nt elektrigeneraator), mis tagab energia ka perioodil, kui päikeseenergiat on vähe, kuid tarbimine on kõrge. (Energiaklass, 2015)



Joonis 5. Lihtsustatud eraldiseisev süsteem. (Energiaklass, 2015)

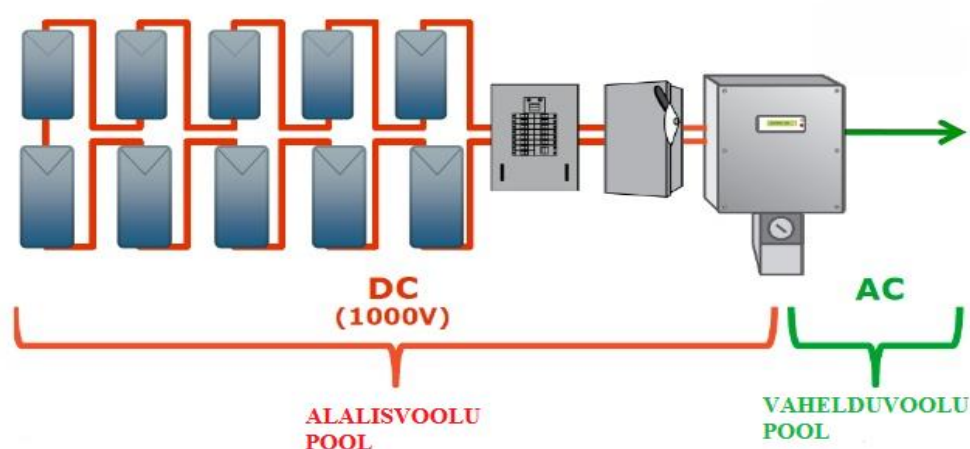
Päikeseelektrijaamades kasutataval kaablitel on suur roll ohutuses, kuna kaableid läbivad kõrged pinged. Tules võivad isoleerid sulada kaablitel juba 200 °C juures, kaableid iseloomustav karakteristik on toodud LISAS 3. Kaablite vastupidavus tules on suhteliselt madal, kui lahtiste tulekahjude puhul tõuseb temperatuur 1200 kraadini (SKA Päästekolledži Päästekool, 2010, p.24). Standardis 60364-7-712:2006 järgi tuleb fotoelektriliste moodulite ja sektsiooni kaablid või juhtmed paigaldada, et maaühenduste ja lühiste risk oleks minimaalne. Selleks on kasutatud juhtmete kaitsel tugevdatud või topelt isolatsiooni. Siiski olenevalt süsteemi tootlikkusest ja pingetest süsteemides on kasutatud lisakaitsevahendeid: mis tulenevad ohu klassidest. Ohu klassid moodulitele on jagatud kolmeks (EVS 61730-1, 2007):

1. Klass A: Vaba juurdepääs, ohtlik pinge, ohtlikud jõu seadmed. Moodulid, mida võib kasutada selles ohuklassis toodavad suuremat kui 120 V alalisvoolu pinget, moodulid, mis vastavad standarditele EN 61730 ja EN 61730-2. Selles paigaldusklassis kvalifitseeruvad moodulid ohu klassi II.
2. Klass B: Juurdepääs puudub, ohtlik pinge, ohtlik jõu seadmed. Juurdepääs tsiviil isikutele on keelatud. Ohu klass on 0
3. Klass C: Vaba juurdepääs, piiratud pinge, piiratud pingega jõu seadmete moodulid, mis vastavad sellel paigaldus klassile on keelatud tootmast rohkem,

kui 120 V alalispinget. Moodulid, mis vastavad standarditele EN 61730 ja EN 61730-2 selles paigaldusklassis kvalifitseeruvad ohu klassi III.

Võrguühendatud fotoelektriliste süsteemide kaabeldus jaotatakse kaheks (Joonis 6):

1. Alalisvoolu pool, ehk päikesepaneelidest kuni inverterini.
2. Vahelduvvoolu pool, mis hõlmab süsteemi inverterist, kuni tarbijateni eraldiseisvates süsteemides või linna elektrivõrguni võrku-ühendatud süsteemides.



Joonis 6. Alalisvoolu - ja vahelduvvoolupool (Relink, 2014)

Oht on fotoelektrilise süsteemidega katusel, kui päikesepaneelide on palju. Nagu peatükk 1.1 on mainitud, siis üks paneel toodab 20 - 40 volti ja toodetav nimivõimsus on kuni 300 vatti. Pinge tõstmiseks inverterile sobiva sisendpingeni ühendatakse päikesepaneelid jadamisi kokku. Seetõttu on süsteemi alalispinge kuni 1000V. Inimesele ohtlik pinge tekib kaabelduses kohe, kui päike on horisondi tagant tõusnud. Kuna aga päikesekiirgus hommikul ja õhtul on madal, siis ohtlik voolutugevus tekib kui päikesekiirguse hulk tõuseb.

Elektripaigaldiste maandus

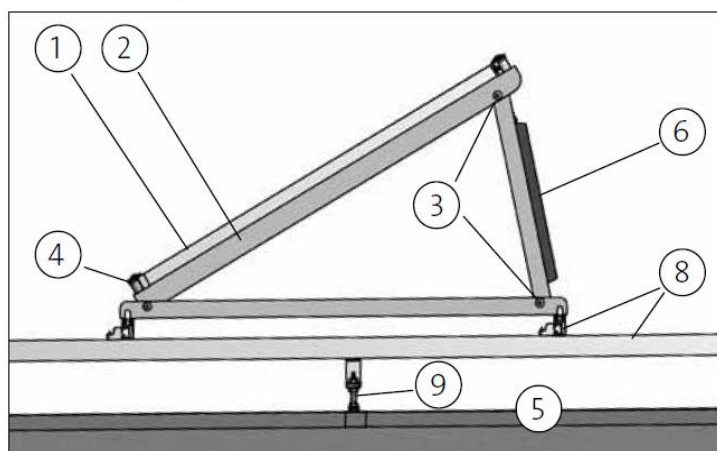
Maandus elektripaigaldistel on äärmiselt tähtis, mis minimaliseerib elektrilöögi ohtu ja tulekahjuriske vigastes süsteemides, sellepärast on tähtis paigaldusel jälgida standardeid ning paigaldamisel head tava. Maandused päikesepaneelidega süsteemides Eestis peavad vastama standardile EVS-EN 1:2007, mis sätestab, et päikesepaneelid, milledele on inimesel vaba juurdepääs, mis moodustavad

perimeeter raamistiku või eraldi paigaldus süsteemi ala ja mis on suuremad kui 10 cm² pärast paigaldust on kohustatud paigaldama maanduse. Seetõttu enamus fotoelektrilisi paigaldusi tuleb maandada.

1.3 Päikeseelektrijaamade paigaldusviisid

Päikesepaneele võib paigaldada erinevalt- olenevalt asukohast ja maja eripärast. Päästjad peaks teadma, mis viisil on fotoelektriline süsteem katuse külge kinnitatud, et saaks vajaduse korral paneeli hõlpsalt eemaldada. Päikesepaneelid paigaldatakse paigaldusjuhendi järgi.

Lamekatusele paigaldatakse alumiiniumist siinid, mis kinnitatakse katusepoltidega. Selle peale paigaldatakse ülemised risti olevad siinid. Paneelide jaoks on katuse raamid, mis on vastavalt 5 kuni 45 kraadise nurga all (Joonis 7). Lamekatusel peab päiksepaneelide vahe olema piisav, et päikesepaneelid üksteist ei varjutaks. (Joonis 8) (Sunflic, 2011).

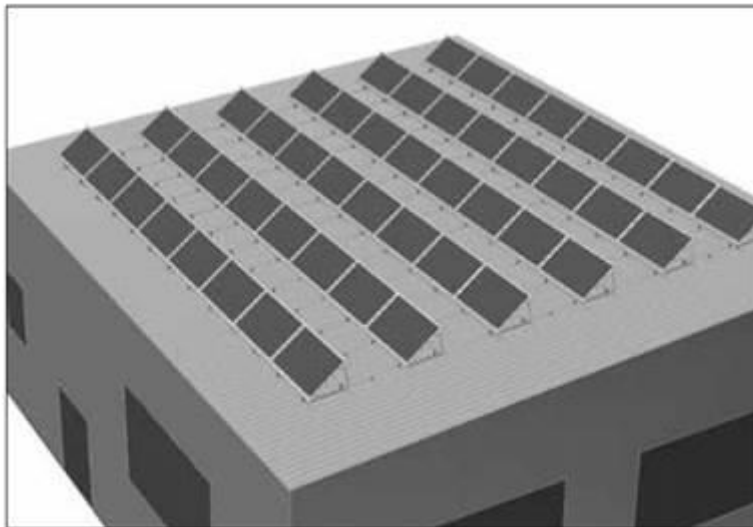


Joonis 7. Paneeli kinnitussüsteem lamekatusel (Sunflic, 2011)

Jooniselt nähtub (Sunflic, 2011):

- 1 - päikesepaneel;
- 2 - päikesepaneeli kolmnurk-raam
- 3 - kinnituspoldid;
- 4 - päikesepaneeli kinnitus klamber kolmnurgale;
- 5 - katuse materjal;
- 6 - tuuletõstejõu vastane kaitse;
- 8 - ristisiinid ja kinnitused asetsevad siinid;
- 9 - siini kinnituspolt.

Lamekatuse eelis on ligipääsetavus paneelide tagumisele küljele. Samuti saab hõlpsalt paigaldada mikroinverteri päikesepaneelide tahaküljele. Inverteri paigutamine katusele on väga suur eelis ohutuse pärast, sest siis on kõrge alalisvoolu pinge kaabel lühike. (Goetzberger & Hoffmann, 2005, p.119)

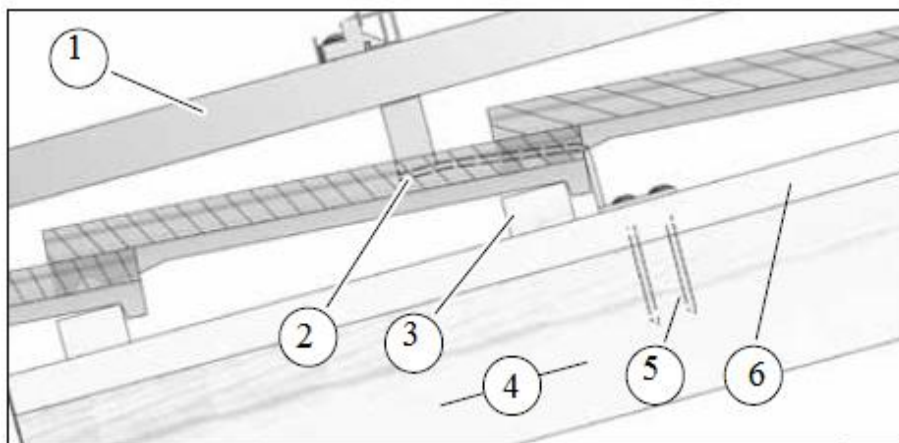


Joonis 8. Päikesepaneelid lamekatusel (Sunflix, 2011)

Viilkatusele päikesepaneelide paigaldusel kasutatakse ühe variandina katusekonkse (Joonis 9), mille ots asetatakse katuse sarika külge ja teine ots siinide külge, kuhu peale paigutatakse (joonis 10) päikesepaneelid.



Joonis 9. Katusekonks (Sunflix, 2011)



Joonis 10. Katusele paigutatud päikesepaneelide kinnitussüsteem. (Sunflix, 2011)

Jooniselt nähtub: 1 - katuse siin, 2 - katusekonks, 3 - katuse roovid, 4 - sarikad, 5 - konksu kinnituskruvid, 6 - katuse aluskile roovitis (Sunflix, 2011)

1.4 Elektrivoolu mõju inimesele

Mis teeb päikesepaneelide süsteemi siiski ohtlikuks? Suurte fotoelektriliste seadmete kaablites on kõrge alalisvoolupinge, mis nõuab täiendatud turvameetmeid. Turvameetmeteks on täiendatud lisakaitsmed elektrilöökide eest ja metallkomponentide maandus, näiteks paneelide kinnitusraamistik. Ohutusmeetmete kasutusel on arvestatud sellega, et fotoelektrilisi süsteeme ei saa päevasel ajal alalisvoolu poolelt efektiivselt välja lülitada. (Unesco , 1995, p.189) Et süsteemil puuduks võimalus kokku puutuda pingestatud osadega kasutatakse erinevaid kaitsemeetmeid.

Otsepuutekatse ehk põhikaitsevahenditeks on:

1. põhiisolatsioon (isolatsioon, mida saab kõrvaldada vaid purustamise teel);
2. kõrgemat ohtusastet tagav lisaisolatsioon (nt topelt - või tugevdatud isolatsioon). Seda isolatsiooni nimetatakse ka kaitseisolatsiooniks.

Sarnaselt teistele elektriseadmetele, mis toodavad, muundavad, edastavad, jaotavad, on fotoelektrilistel süsteemidel sarnased elektrilised ohud. Nagu kõigil elektrisüsteemidel, muutuvad seadmed ohtlikuks siis, kui süsteemi või tema kaitset on kahjustatud või rikutud.

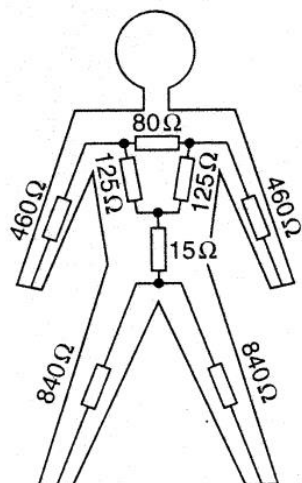
Kui inimene puutub kokku elektriseadme või elektripaigaldisega, siis võib keha läbida elektrivool, mis kutsub lihastes esile kergematel juhtudel värinat või vapustust, raskematel juhtudel aga järsku kokkutõmmet ja krampe. Ka inimese teadvus võib lühiajaliselt kaduda. Kui vool läbib inimese südant, võib südame rütmiline talitus katkeda, mille tagajärjel katkeb ka vereringe. Vereringe katkemine on eriti ohtlik just seetõttu, et siis jääb verevarustuseta ka inimese aju. Kui südame talitlust ei suudeta taastada viie minuti jooksul, siis saabub surm. (Eesti elektritööde ettevõtjate liit, 2005, p.15) Päikesepaneelidega majade kustutamisel on suur oht saada elektrilöök, sest isolatsiooni põlemisel on oht otsepuuteks.

Arusaamine elektrilisest ohtudest nõuab elementaarseid teadmisi elektrist. Kui inimene puudutab elektriseadme pinge all olevat osa või isolatsioonirikke tõttu pinge alla sattunud osa, läbib tema keha vool. Seda nimetatakse rikkevooluks. (Lahtmets, 2002, p.62) Aga voolu toime inimesele võib olla ka kaudne. Võidakse saada tugevasti põletada, kui lähedalasuvas elektriseadmes või paigaldiseosas tekib isolatsioonirikke tõttu või mingi tööriista ettevaatamatu käsitlemise tagajärjel elektrikaar. Kaare temperatuur võib ulatuda mõne tuhande kraadini. (Eesti elektritööde ettevõtjate liit, 2005, p.16)

Rikkeid on erinevaid, enamlevinud on lühis, maaühendus, kereühendus ja juhiühendus (Lahtmets, 2002, p.129):

1. Lühis on rikke tagajärjel tekkinud juhtiv ühendus eri pingega juhtide vahel, kui rikkevooluahelas pole tarvitite takistusi.
2. Maaühendus on rikke tagajärjel tekkinud juhtiv ühendus elektripaigaldise pingestatud ja pingelti (normaalselt pingestamata) osa vahel. Maandatud kere korral on see samaväärne maaühendusega.
3. Juhiühendus on rikke tagajärjel tekkinud juhtiv ühendus eri pingega juhtide vahel, kui rikkevooluahel sisaldab tarviti takistust.

Lühise ja maaühenduse korral reageerib lühiskaitse, kereühenduse korral võib tekkida inimkeha läbiv rikkevool. Rikkevoolu suurus sõltub keha elektritakistusest ja voolu kulgemisest läbi keha. (Lahtmets, 2002, pp.62-63)



Joonis 11. Joonisel kujutatud inimese kehaosade näivtakistus (Lahtmets, 2002, pp.62-63)

Üldiselt loetakse inimesele ohutuks 10...20 mA voolu. Suurem vool kutsub esile lihaste krampe, hingamishäireid ja halvemal juhul ka südamelihaste värelemist ehk fibrillatsiooni, mille tagajärjel võib lakata vereringe ning aju verevarustus. (Lahtmets, 2002, pp.62-63)

2. KUSTUTUSTÖÖDEGA SEOTUD RISKID PÄIKESEPANEELIDEGA ELAMUTES JA ETTEPANEKUD OHU VÄLTIMISEKS EESTIS

2.1 Uuringu metodoloogia ja valim

Uurimuse eesmärgi saavutamiseks püstitas autor järgmised uurimisülesanded:

1. Analüüsida Ameerika Ühendriikide ja Saksamaa uurimustööde põhjal päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustöödega seotud riske.
2. Analüüsitud materjalide põhjal tuua välja olulised tähelepanekud, mida päästjad peaksid päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustööde teostamisel jälgima.
3. Analüüsitud materjalide põhjal tuua välja soovitusel ohutuse tagamiseks.

Uurimismeetoditest kasutatakse kombineeritud kvalitatiivset andmekogumismeetodit: dokumendi analüüsi ja ekspertintervjuud (Corbin & Strauss, 2008), mille raames analüüsiti päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustöödega seotud riskid Ameerika Ühendriikide (edaspidi USA) ja Saksamaa uurimustööde põhjal. Autor kasutas eesmärgistatud valimit, kus võttis uurimisküsimusest lähtuvalt USA ja Saksamaa vastavasisulised uurimistööd. Avalikult oli kätte saadav neli välismaist raportit:

1. USA California osariigi tuletõrjeühingu õppematerjal „*Fire operations for Photovoltaic emergencies*“ (edaspidi CAL), (CAL FIRE- Office of the State Fire Marshal, 2010)
2. USA tulekaitse ühingu raport „*Firefighter Safety and Emergency response for Solar power system*“ (edaspidine FPRF), (The fire protection research foundation, 2013)

3. USA katsete põhine uurimistöö „*Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*“ (edaspidi UL) (Underwriters Laboratories Inc., 2011)
4. Saksamaa tulekaitse arenduskeskuse infomaterjal „*Deployment at photovoltaic installations*“ (edaspidi SAKSA). (German Fire Protection Association, 2012)

Ameerika Ühendriigi California osariigi tuletõrjeühingu materjal, USA Tulekaitse ühingu raport ja Saksamaa tulekaitse arenduskeskuse infomaterjal on teoreetilise sisuga. Praktilise ülevaate saamiseks analüüsiti Ameerika testide põhiste uurimistööde, milles kirjeldati päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustöödel teostatud eksperimente.

USA-s ja Saksamaal on päikesepaneelid palju levinumad, kui Eestis. Autor viis läbi poolstruktureeritud ekspertintervjuud (Laherand, 2008, p.199), et saada ülevaade, kas analüüsi põhjal välja toodud ohud võivad ka Eesti tingimustes olla päästjatele ohtlikud. Ekspertintervjuude eesmärk oli analüüsida, millised ohud võivad ekspertide arvates päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustöödega kaasneda ja tuua välja ekspertide soovitusel ohtude minimaliseerimiseks.

Intervjuu valimi moodustasid kaheksa Eesti firmat, kes tegelevad taastuvenergia süsteemide paigaldusega. Autor saatis elektroonilise kirja, milles selgitas lõputöö eesmärki, uurimisülesandeid ja uuris, kas päikesepaneelide paigaldavates firmades on eksperte, kes oleksid nõus autori küsimustele vastama. Kirjale vastasid Taastuvenergia OÜ, Naps, Energocen ja AS TERA. Intervjuu viidi läbi telefoni teel kahe projektiinseneri ja kahe projektijuhiga ning salvestati telefoni aplikaatsiooniga: *Automatic Call Recorder*. Lindistuste põhjal intervjuud transkribeeriti. Tabelis 2 on toodud intervjuu toimumise kuupäev, firma nimetus, ametikohad ja töökogemus päikeseenergia valdkonnas.

Tabel 2. Ekspertintervjuude valim

| Intervjuud | Aeg | Firma | Kogemus (aastates) | Amet |
|--------------------|------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| Intervjueeritav 1. | 23.04.2015 | Energocen | 3 | Projektiinsener |
| Intervjueeritav 2. | 23.04.2015 | Naps Solar Estonia OÜ | 10 | Projektijuht |
| Intervjueeritav 3. | 01.05.2015 | Taastuvenergia OÜ | 10 | Projektijuht |
| Intervjueeritav 4. | 01.05.2015 | Tera AS | 3 | Projektiinsener |

Ekspertintervjuudes kasutati poolstruktureeritud küsimustikku. Küsimustikku muudeti situatsioonist lähtuvalt. Vastavalt intervjueeritavate vastustele esitati täiendavaid küsimusi. Vaba vestlus andis intervjueeritavatele võimaluse avaldada oma seisukohti ja lisada olulisi mõtteid, mille kohta otsesed küsimused puudusid.

2.2 Päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riskid USA ja Saksamaa näitel

Elektrilised ohud

Erinevalt tavalistest elamute elektrisüsteemidest, ei ole fotoelektrilises süsteemis võimalik elektrit välja lülitada. Tulekahju puhul on esmatahtis teada, et fotoelektrilise süsteemi alalisvoolu pool on alati pinge all ja toodab elektrit kõikvõimalike valgusallikate abil, vähesel määral ka ööpimeduses (CAL, FPRF, UL, SAKSA). USA-s tehti katse, mille raames uuriti päikesepaneelide ohtlikku voolukoguse tootmist öösel. Kasutati päästeautode valgustusmaste, mis suunati 26-le jadaühendusel paigutatud päikesepaneelidele võimsuspunktiga 5,9 kW. Kuuvalgel oli paneelide pinge 48 volti ja vool puudus. Tulemustest selgus, et öistes tingimustes 25-meetri kaugusel kahe päästeauto valgustussüsteemist võimsusega 28,5 kW, tootsid päikesepaneelid 212 mA voolu, mis võib päästjale tekitada lihasekramp. (UL)

Kui kaabli isolatsioon on saanud kannatada kuumuse või mehaanilise töö tagajärjel, võib tekkida kaarleek või lühisvool. Kaarleegi temperatuur on kõrge ja võib sulatada või aurustada leegi vahetuse läheduses asuvat metalli. Kaarleek on inimesele eriti ohtlik süüdates riided põlema kuni 3 meetri raadiuses. (CAL, FPRF). Kõrge temperatuuri tõttu võib katusel olev kaabel sulada vastu alumiiniumist paigaldusraame. Sulanud kaabel edastab elektrit maja metallmaterjalist katusekomponentidele, paigaldusraamide, kinnitusnagidele ja siinidele. Terve katus võib minna pinge alla ja katusel olev päästja võib saada elektrilöögi. (FPRF, CAL)

Katusekonstruktsioonide kustutamine päikesepaneelidega hoonetel on raskendatud ja ohtlik. Majas asuvad vahelduvpingeseadmed saab elektrikilbist

välja lülitada aga fotoelektrilised süsteemides on päevasel ajal alalispinge all ja vee lisamine suurendab elektrilöögi ohtu päästjatele. (SAKSA,CAL,FPRF)

Mehaanilised ohud

Päikesepaneelid sisaldavad räni, boori, fosfori, kaadmium, telluuri, arseeni ja galliumi. (CAL,FPRF) Normaalsetes tingimustes on need ained tahkes olekus kihiliselt klaasi ja plastpinna vahel suletud ning neid ümbritseb alumiiniumist raam. Kõrgetel temperatuuridel paneel deformeerub ja koostise elementide sulamisel tekivad mürgised gaasid. Mürgised gaasid avaldavad ohtu läheduses olevatele päästjatele, kes ei kasuta hingamiskaitsevahendeid. (SAKSA,CAL,FPRF) Tulekahjus on eriti ohtlik kaadmium, mille sulamisel tekib vähkitekiv gaas. (CAL)

Akud hoiavad hoones voolu öösel ja elektrikatkestuste ajal. Akud on kõrge temperatuuri juures eriti ohtlikud, kuna nende lekkimisel võivad tekkida vesinik ja vesiniksulfiid gaasid. Vesinik ja vesiniksulfiid gaasid on kõrgetel temperatuuridel plahvatusohtlikud. Fotoelektrilistes süsteemidest kasutatakse: pliiakusid, liitiumioon ja nikkel-kaadmium akusid. Akude põlemisel lekkivad aurud võivad olla söövitavad. (CAL)

Töövõtetega seotud ohud

Katusel olles peab arvestama lisaraskusega. Päikesepaneelid lisavad raskust katusele. Tugitalad ja toed võivad olla kahjustatud, mille tõttu suureneb risk sissevarisemisele. Paneelide ja paigalduskomponentide lisaraskus ei tohiks olla siiski väga suur. Üks päikesepaneel koos paigalduskomponentidega kaalub vähem kui 23 kilo ja paigaldatud terve katuse ulatuses laiale pinnale. Aga potentsiaalne risk eksisteerib, eriti vanematel puitmajadel.(CAL,FPRF)

Katuse avamise korral on kõrgendatud risk puutuda kokku ohtlike alalisvoolu kaablitega. Põlemisgaaside eemaldamisel suundrõhulisel suitsutuulutusega katuse ava kaudu suurendab elektrilöögi ohtu. Kuumad põlemisgaasid suunatakse kaablitele, mis sulavad läbi ja suureneb elektriedastuse võimalus katusele. Tuleb arvestada ka, et katuse avamine on paneelide puhul raskendatud pinges olevate kaablite tõttu. (CAL,FPRF)

Fotoelektrilised süsteemid katusel koosnevad metallist, klaasist, elektrijuhtmetest ja kaablitest. Mõned nendest komponentidest võivad ulatuda üle katuse ääre või ristuda moodulite vahelt, mida pole tingimata pimedas või suitsuses keskkonnas märgata. (NFPA) Sellest tulenevalt peavad päästjad olema eriti ettevaatlikud päästetööde teostamisel, kuna aluspind võib olla libe ning esineb kukkumisoht. (CAL,FPRF)

Reageerimine: taktika valik, ohu indikaatorid, soovitatav luuretegevus

Reageerimistaktika puhul on vaja arvestada kolme tähtsat indikaatorid (FPRF),(CAL);

1. Tulekahju aeg: öösel ei teki paneelide pooljuhtplaatide vahele pinget ja süsteem on suhteliselt ohutu. Öösel ei tohi suunata prožektoreid/valgustusmaste paneelidele. Päevasel ajal on kõrgendatud risk.
2. Paneelide arv: mida rohkem on paneele, seda suurem on pinge.
3. Süsteemi tulekahjustused: millises ulatuses on tuli süsteeme kahjustanud.

Fotoelektriliste süsteemide põlemine katusel viitab võimalikule elektrijuhtivusele katusekomponentidele. Vigaseid süsteeme ei tohiks enne lõigata, kui pole kindlaks tehtud, kas süsteem on voolu all või mitte. Tulekahju korral ei tohiks keskenduda süsteemide eemaldamisele, vaid tule kontrollimisele ja levimisele tõkestamisele. (CAL) Üldine soovitus päästetöötajatele on fotoelektriliste süsteemide asukohtade kindlaks määramine oma reageerimispiirkonnas ja välja selgitada nimekiri kohalikest paigaldajatest, kes oleks valmis välja sõitma ja instrueerima. (CAL,FPRF,SAKSA)

Tulekahju korral peaks meeskonnavanem arvestama järgmiste tegevustega: (CAL,FPRF)

1. Panna paika ohukriteerium: päev- ohtlik, öö- vähem ohtlik.
Soovitus: pimedates tingimustes mitte suunata tehisvalgus paneelidele.
2. Elektrikilbi peakaitsme eemaldamine (märgistus elektrikilbil).
Soovitus: võimalusel konsultatsioon paigaldajate/ elektrikutega.
3. Paneelide ja inverteri asukoht.

Soovitus: võimalusel selgitada alalisvoolukaabli täpne kulgemistee.

4. Võimalikud pingevabastuse võimalused ja kaitselahutid süsteemides.

Soovitus: koguda informatsiooni omanikult, elektrikult.

5. Töötada paneelide poolsest süsteemidest eemal.

Soovitus: võimalusel vältida kokkupuudet päikesepaneelide süsteemiga või katta valguskindla materjaliga.

Katuste avamisel peaks arvestama paneelide paigutuse ja maja tüübiga. Viilkatusel on tavaliselt paneelid paigutatud lõunapoolsesse külge. Katuse tuleks avada põhjapoolsest paneelidega mitte kaetud alast, kuna see maandab suuresti elektriõhtu. Lamekatusel on päikesepaneelid paigutatud tervele katusele. (CAL) Tegevus katusel peaks toimuma päikesepaneelidest eemal ja tuleb jälgida kaabelduse paigutust katusel, et seda ei lõikaks. Päästjatel ei ole soovitatav eemaldada paneele, vaid kasutada selleks elektriku või paigaldaja abi. Järelokustutusel peab arvestama, et ka poolpõlenud päikesepaneelid võivad toota tervete elementidega voolu ja võivad olla pinges all. (UL)

Tulekahjujärgsel suitsutuulutusel on soovitatav kasutada maja alarõhustamist ehk negatiivset ventilatsiooni, sest siis toimub kuumade põlemisgaaside „välja tõmbamine“ suitsupumbaga. Katuse tuleks avada paneelidest eemal, et vältida kaabeldusse vigastamist. Võimalusel kasutada lisa meest katusel, kellel on ülevaade kaabelduse paigutusest, kui töö toimub paneelide lähedal. (CAL).

Varustus

Kuna süsteem töötab ainult valgusega, siis süsteemi saab muuta ohutumaks katmisega. Materjal peab olema valgust mitte läbilaskev (FPRF,CAL,UL). Kattmaterjal peaks olema tume, võimalikult terviklik ja valguskindel. Vahtu päikesepaneelide katteks ei ole mõistlik kasutada, kuna paneelide pealispind on libe ja vaht ei jää päikesepaneeli katma.

Eriolukordades, kui kõik muud võimalused ja taktikad on ammendunud ning päikesepaneelid tuleb eemaldada, tuleb kindlasti kasutada elektrit maandavaid ja isolatsiooniga tööriistu. (FPRF, CAL.) Akude lähedal töötades kasutada tuleohtlike gaaside tõttu sädemevaba tehnikat.

Tulekahju korral võib päikesepaneelide alumiiniumraam deformeeruda ja sulada, paljastades materjalid otsesele tulele. Nimetatud tingimustes levivad mürgised gaasid, seetõttu peavad tuletõrjujad kandma päikesepaneelidega hoonete kustutamisel hingamisteede kaitsevahendeid. Päikesepaneelidega elamute põlengul kaasneb keemiliselt ohtlike ainete vabanemisel oht ka allatuult olevatele inimestele. Allatuult olevates hoonetes tuleks aknad ja ukсед hoida suletuna. (SAKSA,CAL,FPRF)

Põlevate akude lähedal peavad olema hingamisteed kaitstud ja kustutusvahendina tuleks kasutada süsihappegaas- või vahtkustuteid, mitte vett. (CAL,NFPA) Oluline on meeles pidada, et tuleb vältida akudega kokkupuutumist tulekahjus, isegi siis, kui pinget tootev fotoelektriline süsteem on akupangast lahti ühendatud. Akudel on ka potentsiaalne risk põhjustada elektrilööki. (NFPA)

Võimalikud kustutusvahendid

Veega kustutades tuleks arvestada ohutut kaugust, mis on minimaalselt kuus meetrit ja tuleb arvestada vee joa pihustamisega, mida ebakompaktsem on veejuga, seda vähem ta elektrit juhib. Soovitatav kustutamisel lehviku laius alates 10 kraadist. Merest võetud veega ei ole soovitatav fotoelektrilisi süsteeme kustutada, sest vee soolasus tingib vee elektrijuhtivuse (UL). Akudepankade kustutamisel kasutada kuiva keemilise või süsihappegaasi kustuteid, eriti akupankade kustutamisel. Akupankade olemasolust süsteemis saab aru, kui elektrikilbi peakaitse on eemaldatud, aga hoone tuled põlevad. (CAL)

2.3 Intervjuude tulemused

Tulekustutustaktika näeb ette ohutuse tagamisel enne kustutustööde algust elektrikilbist elektri välja lülitamist. Milline peaks olema tegevus, kui kustutaja märkab katusel päikesepaneeli, mis ohuga peab tuletõrjuja arvestama?

Intervjueeritavad soovitasid esimese sammuna lülitada majast elekter välja. Kuna süsteemid on erinevad, siis tuleb teada, kuidas peaks tegutsema. Eraldiseisva süsteemi puhul tuleks jälgida, kas on eraldi lüliti, millega saab aku eraldada ja peale seda elektrikilbist vool välja lülitada. Peale elektrikilbist peakaitsme

eemaldamist toimub ka automaatne inverteri väljalülitus. Võrku ühendatud süsteemide puhul toimub inverteri väljalülitamine samamoodi, ainult akud puuduvad. Katusel olevad päikesepaneelid on pinge all. Päikesepaneeli gruppide vahel jadaühenduses on 1000 volti alalispinget ning päikesepaistelise ilmaga kaheksa amprit voolutugevust, eraldiseisvates süsteemides isegi 40-80 A, mis on eluohtlik. Sõltuvalt süsteemist tuleks kontrollida ka turvalahuteid, mis võivad olla paneelide alalisvoolu poolel. Tähelepanu tuleb osutada asjaolule, et Eestis ei ole nõuet turvalahutite paigaldamisel.

„Eestis ei ole nõuet, et peaks olema turvalüliti iga paneeli vahel.“ (Intervjueeritav 3.01.05)

Kui suur on päästjate jaoks oht hoones, kus on kõrgem temperatuur ning mõningad kaablid on juba hakanud laes sulama. Arvestame asjaoluga, et elekter on hoones juba välja lülitatud?

Üldjoontes on hoones ohutu. Ohtlik võib olla ainult siis, kui päikesepaneelide alalisvoolu kaabeldus on paigutatud pööningule ja isolatsioon on põlenud. Kui päästja kasutab kustutustöödel vett, on siis ta on läbi vee maandatud ja võib saada läbi kaabli rikkevoolu. Katkiste juhtmete kallal tegutseda ei tohiks. Ka inverter võib olla paigutatud pööningule, see katkestatakse kilbist ära, siis on oht väiksem.

Kui ohtlikud võivad olla päikesepaneelid tulekahjus, arvestades nendes kasutatud materjale, ehitust ja keemilist koostist?

Koostises on plaste, ränielemente ja kile, mille põlemisel võivad eralduda toksiidid, kuna kaablid ei ole halogeenivabad. Eksperdid olid seisukohal, et päikesepaneeliga varustatud elamute põlemisel ei tohiks olla midagi mürgisemat, kui tavalise tulekahju korral katuse pleki pealt värvi põlemisel. Ekspertintervjuust selgus, et õhukesekilelisi päikesepaneeli, mille valmistamisel kasutatakse kaadmium telluuri, Eestis ei kasutata. Õhukesekilelisi paneelide kasutegur võrreldes räni baasil valmistatud päikesepaneelidega on palju väiksem, seetõttu ei ole need laialt levinud.

„Paneelide koostises on kasutatud plaste ja ränielemente, mille põlemisel võivad eralduda toksiidid. Päikesepaneelide juhtmed ei ole halogeenivabad, juhtmete põlemisest satub õhku keemilisi elemente, mis võivad päästjatele ohtlikud olla.“ (Intervjueeritav 2, 23.04)

„Magistritööd tehes uurisin ka mono- ja kristallräni ja õhukesekileliste päikesepaneelide erinevusi. Õhukesekilelised pidid tules ohtlikumad olema ja neid näiteks Saksamaal väga ei paigaldada. Olen kuulnud, et Eestis keegi on paigaldanud aga massiliselt kindlasti mitte. Hetkel see veel probleem ei ole. Eesti kliimasse õhukesekilelised ei sobi.“ (Intervjueeritav 4, 01.05)

Millised ohud võivad varitseda katuse avamisel? (olukorras, mil tuli on jõudnud katuse konstruktsioonidesse ja katust on vaja avada)

Enamus eksperte ei näe katuse avamises probleemi. Paneeli kinnitusraamistik on suhteliselt nõrgast alumiiniumist. Katuse avamisel tuleks lihtsalt paneelid üles väänata. Siinid on vastpidavamad, seega tuleb nende eemaldamisel kasutada vastavaid tööriistu. Kaablite eemaldamiseks tuleks kasutada elektrit maandavaid tööriistu.

„Tulekahju korral ei ole aega juurelda, mis kaabli me läbi lõikame. Kaabeldus on väga tihedalt paneelide alla ära peidetud.“ (Intervjueeritav 3, 01.05)

„Kui tuleleek käib süsteemide vahel, siis see süsteem enam ei tööta. Kaablid ei ole tulekindlad ja seal sulab kõik niivõrd kiiresti kokku, et teoreetiliselt mingit lööki saada ei ole võimalik“ (Intervjueeritav 2, 01.05)

Kui tõenäoliseks peate katkise paneeli või kaabli tõttu elektriedastuse võimalust mooduli raamistikule, kaablitele, paigalduse nagidele või metallkatusele, kui kasutatakse näiteks vett?

Toodi välja, et maandus maandab elektrijuhtivuse ära. Aga siiski maandusest võib ka kahju olla, kui lähtuda vooluringi põhimõttest. Kui juhtmeisolatsioon on kuumuse tõttu sulanud ja see puutub kokku katuse või paneeli raamiga, siis on katusel elektrilöögi oht.

Kas on teoreetiliselt võimalik mõne tehnilise vahendiga päevasel ajal päikesepaneeli töö põhimõtet peatada/blokeerida, et alalisvoolu kaabeldust ohutumaks muuta?

Kõik eksperdid pakkusid kõige efektiivsemaks vahendiks katmise. Sellega päris pingevabaks süsteemid ei lähe, kuid valgust on vähe ja paneelis ei teki surmavat elektrivoolu. Kinni katmise korral, tuleb kinni katta terve süsteem. *„Kindel võimalus on ära katta mingi tulekindla materjaliga. Katmisel peaks katma kogu*

süsteemi, et pinget märgatavalt vähendada, aga ühe paneeli katmine vähendab ka koguahela pinget.“ (intervjueeritav 3, 01.05)

„Kui tehnikaga probleeme ei ole, tuleks teha igale päikesepaneelile lõige sisse. Kõige lihtsam oleks teemant kettaga või tuletõrje kirkaga lõök sisse teha nii, et auk sisse tuleb. Tööriist peab olema isoleeritud.“ (Intervjueeritav 2, 23.04)

„Lõhkumise variant on halb, kuna paneelide taga on diodid, mis hakkavad voolu läbi laskma.“ (Intervjueeritav 3, 01.05)

2.4 Järeldused ja ettepanekud

Autor toob analüüsitud materjalide põhjal välja olulised tähelepanekud, mida päästjad peaksid päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustööde teostamisel jälgima:

1. Alalisvoolu kaablites esineb alati elektripinget, mistõttu on suur tõenäosus elektrilöögi saamiseks.
2. Tulekahju puhul on esmatähtis teada, et fotoenergeetiline paneel on pidevalt voolu all ja toodab elektrit kõikvõimalike valgusallikate abil.
3. Veega kustutades on minimaalne distants koldest 10 meetrit ja joatoru lehvik vähemalt 10 kraadi sulanud kaablite korral.
4. Päikesepaneelid sisaldavad erinevaid keemilisi ühendeid. Normaalses tingimustes ei ole need inimesele ohtlikud. Tulekahju korral võib aga alumiiniumraam deformeeruda ja sulada. Nimetatud tingimustes levivad mürgised gaasid, seetõttu peavad tuletõrjujad kandma hingamisteede kaitsevahendeid.
5. Mürgituse ohust tulenevalt võib olla vajadus ümbruskonnas olevad isikud evakueerida.
6. Katusetöödel tuleb olla ettevaatlik, ja jälgida jalgealust, sest esineb suur libisemisoht.

Päästemeeskond peab reageerimistaktika valikul jälgima kolme tähtsat indikaatorit:

1. tulekahju aeg;
2. päikesepaneelide arv;

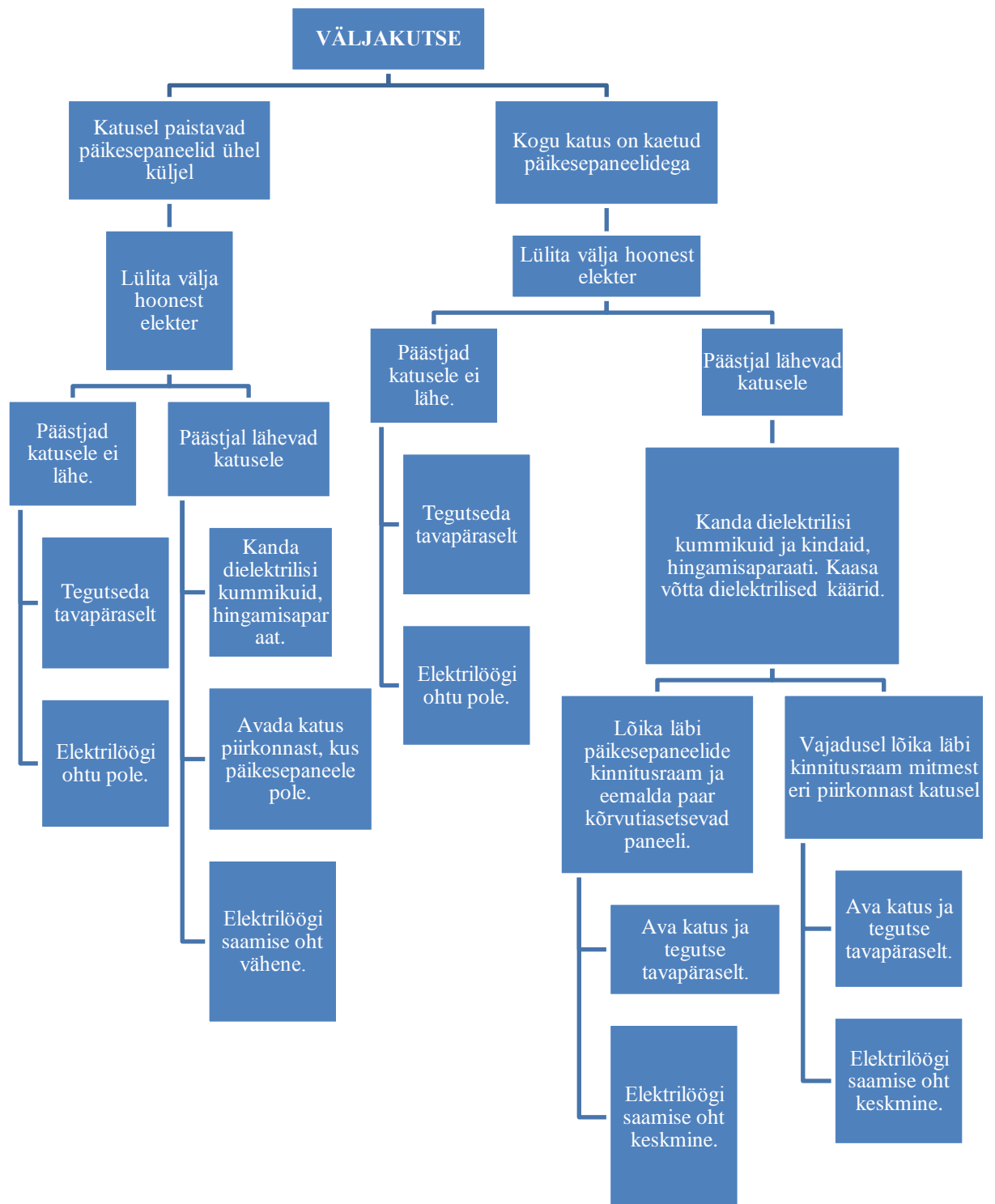
3. tulekahju ulatus.

Öösel on süsteem suhteliselt ohutu, kuigi päikesepaneel ammutab energiat ka päästeauto valgusvihust. Tuleb jälgida, et võimalusel ei suunataks prožektoreid paneelidele. Päeval ajal on päikesepaneelidega varustatud elamu põlengul kõrgendatud risk. Tuleks teha kindlaks päikesepaneelide arv, sest mida rohkem on paneele, seda suurem on pinge. Suuremast pingest tulenevalt on ka suurem risk päästja elule. Samuti tuleks jälgida tulekahjustust, sest kui kaabeldus on sulanud, tekib elektrijuhtivus katusekomponentidele.

Päästja ohutuse tagamiseks tuleks:

- kasutada elektrit maandavaid tööriiste: kummikuid ja kindaid;
- akude kustutamisel kasutada süsihappegaasi kustutit;
- võimalusel katta paneel valgust mitteläbilaskva materjaliga;
- veega kustutusel jälgida minimaalset distantssi, elektripaneelide süsteemist 10 meetrit.

Joonisel 12 on toodud autori koostatud soovituslik juhend päikesepaneelidega varustatud elamu põlengule reageerimiseks. Juhendi koostamisel lähtus autor dokumendi analüüsi ja ekspertintervjuude põhjal saadud infost.



Joonis 12. Väljakutsele reageerimine (autori koostatud)

Joonisel 12 nähtub päikesepaneelidega varustatud elamu kustutustööde teostamiseks autori soovituslik tegevusplaan. Joonisel 12 on toodud kaks olukorda, esimesel juhul paiknevad päikesepaneelide katuse ühel küljel. Teisel paiknevad päikesepaneelid kogu katuse ulatuses.

Kustutustööde teostamisel on alati esimeseks sammuks elektri välja lülitamine. Päikesepaneelidega elamute kustutustöid teostades tuleks võimaluse korral leida alalisvoolu kaabli kulgemistee. Kui alalisvoolu kaabli kulgemistee on päästjatele teada, siis on ohutum kustutustöid teostada, ja on võimalik elektrilöögi saamisest hoiduda.

Kui päästetöid teostades tuleb minna katusele, siis tuleks kindlasti kanda dielektrilisi ehk elektrit maandavaid kummikuid ja maski. Katus tuleb avada piirkonnast, kus päikesepaneeli ei ole, seega on elektrilöögi saamise oht minimaalne. Võimalusel tuleks hoiduda katusele minemast ja tegutseda tavapäraselt.

Kui kogu katus on päikesepaneelidega kaetud, siis tuleb kanda elektrit maandavaid kummikuid, hingamisaparaati ja kaasa võtta elektriisolatsiooniga tangid. Elektrilöögi saamise oht on keskmine. Katuse avamiseks on üheks variandiks lõigata läbi päikesepaneelide kinnitusraam ja paar kõrvalasetsevat paneeli. Teiseks variandiks on lõigata läbi kinnitusraam mitmest eri kohast.

Päästetöid teostades tuleb lähtuda sündmuse asjaoludest. Autor tõi välja soovitusliku tegevusjuhise, kuid lähtuvalt olukorrast tuleb tegutseda sündmuspõhiselt. Oluline on jälgida ohutusnõudeid: lülitada välja elekter, kanda ja kasutada elektrit mittejuhtivat varustust, võimalusel mitte katusele minna ja hoiduda alalisvoolu kaablitega kokkupuutumisest.

KOKKUVÕTE

Taastuenergia saadakse looduslike protsesside kaudu. Päikeseenergia on üks taastuvatest energia allikatest. Päikesepaneelide kasutamine on muutunud üha populaarsemaks. Eleringi andmete kohaselt on Eestis 06.05.2015 seisuga 357 mikrotootjat, kes toodavad päikesepaneelidest elektrit.

Päikesepaneelid ammutavad energiat kõikidest valgusallikatest, seetõttu võivad need tulekahju korral olla ohuks päästjatele, sest ammutavad energiat nii tänavavalgustusest, taskulambist, kui päästeauto valgusvihust.

Lõputöö teema oli uudne, sest Eestis ei ole Päästeametil vastavat väljaõpet, kuidas toimida päikesepaneelidega varustatud hoone kustutamisel, puudub vastav ohutusjuhend ning praktika. Autor andis teoreetilise ülevaate võimalikest ohtudest suurriikide õppematerjalide põhjal ja küsis arvamust Eesti spetsialistidelt.

Lõputöö eesmärgiks oli töötada välja soovitud ohutusjuhendi koostamiseks päikesepaneelidega hoonete kustutamisel. Töö eesmärgi saavutamiseks püstitati kolm uurimisülesannet. Esimeseks uurimisülesandeks oli anda ülevaade päikeseelektri olemusest, päikesejaama struktuurist ja peamistest komponentidest. Päikesepaneelid töötavad fotoelektrilise efekti põhimõttel tootes valgusest elektrit. Koduses majapidamises jagatakse süsteemid võrku ühendatud süsteemideks (on-grid) ja eraldiseivateks süsteemideks (off-grid), kus elekter kogutakse akupankadesse. Fotoelektrilised moodulid ühendatakse kokku suuremamõõtmelisteks sektsioonideks, mis paigutatakse katusele, et need oleks valgusele võimalikult hästi avatud. Päikesepaneelide süsteemi põhikomponendid on paneelid, inverter, elektrikapp, arvesti ja turvalülitid.

Teiseks uurimisülesandeks oli analüüsida päikesepaneelidega elamute kustutustöödega seotud riske USA ja Saksamaa uurimustööde ning Eesti ekspertintervjuude põhjal. Päikesepaneelide süsteemide ohu tingib see, et elektri tootmist ei saa päevasel ajal peatada. Sellest tulenevalt on kustutustööd

raskendatud. Alalisvoolu kaablites esineb alati elektripinget, mistõttu on suur tõenäosus elektrilöögi saamiseks. Päikesepaneelid sisaldavad erinevaid keemilisi ühendeid. Normaalsetes tingimustes ei ole need inimesele ohtlikud, kuid tulekahju korral võivad levida mürgised gaasid, seetõttu tuleks kasutada hingamisteede kaitsevahendeid. Ekspertide sõnul ei ole Eestis kasutatavate paneelide koostises aineid, mis võivad tulekahju korral tervist kahjustada rohkem, kui tavalise põlengu korral eralduv suits.

Lõpetuseks toodi välja olulised tähelepanekud, et parandada Eesti Päästeameti valmidust päikesepaneelidega varustatud elamute kustutustööde teostamiseks. Päästja ohutuse tagamiseks tuleks kasutada dielektrilisi ehk elektrit maandavaid kääre, kummikuid ja kindaid; võrgust eraldiseisev süsteemi puhul tuleks akude kustutamisel kasutada süsihappegaasi kustutit; võimalusel katta paneel valgust mitteläbilaskva materjaliga; veega kustutamisel jälgida distantsi.

Edaspidi tuleks täiendavalt uurida, milliseid paneele Eestis kõige enam kasutatakse, millised ohud võivad nende põlemisel kaasneda tulenevalt materjalist ja koostisest ning milline on kõige efektiivsem kustutusvahend.

SUMMARY

The title of this thesis is „Fire Risks in Buildings with Solar Panels“. It is written in Estonian, it contains two main chapters, each containing two subsections that amount up to 48 pages.

Photovoltaic System can be dangerous for firefighters, because it produces electricity during the day and it can't be stopped. At night it can produce electricity from any light source. In case of fire, it can be life-threatening.

There is no practice and safety instructions in Estonia how to behave extinguishing in fire involved with photovoltaics panels.

The purpose of this thesis is to work out recommendations in order to compile safety instructions for extinguishing buildings with solar panels:

1. To provide an overview of the nature of solar energy, solar station and the main components of the structure.
2. Analyze the solar panels risks according to United States and Germany firefighters practice and Estonian expert interviews.
3. To highlight the important observations in order to improve the response tactics of the Estonian Rescue Board under the circumstances to behave.

The danger criteria should be numbers of panels on the roof, nighttime or daytime and fire damage of photovoltaic systems. In order to ensure safety, firefighters should use electric crowding scissors, rubber boots and gloves. It's also important to keep the distance while extinguishing. Rescue workers can use light non-permeable and thick materials to cover photovoltaic panels to minimize the electric danger.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Abo, L., 1997. Optoelektrilised kiirgusvastuvõtjad. In *Elektroonika komponendid*. 3rd ed. Tallinn: Lembit Abo. p.136.

Anon., 2015. *Elektrilevi*. [Online] Available at: <https://www.elektrilevi.ee/et/liitumine-mikrotootjale> [Accessed 04 Augustus 2015].

CAL FIRE- Office of the State Fire Marshal, 2010. [Online] California Available at: <http://osfm.fire.ca.gov/training/pdf/Photovoltaics/Fire%20Ops%20PV%20lo%20resl.pdf> [Accessed 26 April 2015].

CBS Los Angeles, 2014. *Firefighters warn solar panels could prevent homes from being saved in blaze*. [Online] (1) Available at: <http://losangeles.cbslocal.com/2014/02/04/firefighters-warn-solar-panels-could-prevent-homes-from-being-saved-in-blaze> [Accessed 22 April 2015].

CDC, 2015. *NIOSH*. [Online] Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/> [Accessed 18 May 2015].

Coalition, A.S.V.T., 2009. [Online] A Silicone Valley Toxics Coalition White Paper Available at: http://svtc.org/wp-content/uploads/Silicon_Valley_Toxics_Coalition_-_Toward_a_Just_and_Sust.pdf [Accessed 10 April 2015].

Corbin, J. & Strauss, A., 2008. *Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage kirjastus.

Eesti elektritööde ettevõtjate liit, 2005. Elektrivoolu toime inimesele. In *Elamute elektripaigaldised*. Tallinn.

Eesti energia, 2015. [Online] Available at: <https://www.energia.ee/tootja-elektrileping> [Accessed 26 April 2015].

Eesti standardikeskus, 2006. 60364-7-712 *EHITISTE LEKTRIPAIGALDISED OSA 7-712: Nõuded eripaigaldistele ja -paikadele Solaar-fotoelektrilised toiteallikad*. Eesti standardikeskus.

Electronics-Lab, 2002. *Electronics-Lab*. [Online] (1) Available at: <http://www.electronics-lab.com/index.html> [Accessed 20 April 2015].

Elektriohutuseseadus, 2007.

Elektroonika alused, 2011. *P-N siire*. [Online] Available at: http://helia.ee/andres3/?page_id=8 [Accessed 18 May 2015].

Elering, 2015. *Elering*. [Online] Elering Available at: <http://elering.ee/valjamaksud-toetused/> [Accessed 26 April 2015].

Elering, 2015. *Elering.ee*. [Online] Available at: <http://elering.ee/taastuenergia-moodustas-2014-aastal-148-protsepti-elektri-kogutarbimisest/> [Accessed 2015 April 2015].

Elsevier, 2015. *Micro inverters vs string inverters*. [Online] Available at: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/10472/micro-inverters-vs-string-inverters-for-solar-pv/> [Accessed 20 April 2015].

Energiaklass, 2015. *Elekter*. [Online] Available at: http://energiaklass.emu.ee/ajaveeb/paikeseenergia/paikese_elekter/ [Accessed 26 April 2015].

Energy Market authority, 02.04.2014. SOLAR PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS- AN OVERVIEW. In A.K.S. David Tan, ed. *Handbook for photovoltaic systems*. Singapur: Energi Market ,Building and Construction Authority. p.7.

Energy market, 02.04.2014. Solar Photovoltaic systems an overview. In E. Market, ed. *Handbook for photovoltaic systems*. Singapur. p.4.

Energy Market, 08.04.2015. Types of Solar PV Systems. In D. Tan & A.K. Seng, eds. *Handbook for photovoltaic Systems*. Singapore: Energy Market. p.5.

EVS 61730-1, 2007. *Photovoltaic (PV) module safety qualification-- part 1 : Requirements for construction*. [Online].

EVS 7-712, 2006. *EHITISTE ELEKTRIPAIGALDISED OSA 7-712: Nõuded eripaigaldistele ja -paikadele. Solaar-fotoelektrilised toiteallikad.* Standard. Tallinn: Eesti standardikeskus.

EVS, 2007. *Photovoltaic (PV) module safety qualification-- part1 : Requirements for construction.* [Online].

EVS-EN 50438. p 5.4, 2013. *Nõuded mikrogeneraatorjaamade ühendamiseks rööbiti avalike madalpingeliste jaotusvõrkudega.* Standard. TALLINN: Eesti standardi keskus.

Friedrich Sick Thomas Erge, n.d. *Photovoltaics in buildings:A Design Handbook for Architects and engineers.* XYZ.

Friedrick Sick, T.E., 01.04.2015. *Photovoltaic in buldings.* Freiburg: XYZ.

Fthenakis, V.M., 2003. Overview of Potential Hazards. In L. Castaner & T. Markvart, eds. *Practical handbook of Photovoltaics Fundamentals and Application.* Amsterdam: Elsevier. p.859.

German Fire Protection Association, 2012. *Deployment at Photovoltaic Installations.* [Online] Technical- Scientific Advisory Board Of the Vereinigung zur Förderung des Deutsches Brandschutzes (1) Available at: http://www.vfdb.de/download/Merkblatt/MB_Photovoltaik_ENG.pdf [Accessed 26 April 2015].

Goetzberger, A. & Hoffmann, V.U., 2005. In W.T. Rhodes, ed. *Photovoltaic Solar Energy Generation.* Berlin: Springer. p.1.

Goetzberger, A. & Hoffmann, V., 2005. PV Systems in Connection with Buildings. In R. W.T, ed. *Photovoltaiv Solar Energy Generation.* Freiburg: Springer. p.119.

Kerem, T., 2014. „*Eramaja fotoelektriliste päikesepaneelide tasuvus lähtuvalt*“. MA lõputöö. Tartu: Tartu Ülikool.

Kommunikatsiooniministeerium, M.-, 2010. https://www.mkm.ee/sites/default/files/taastuvenergia_tegevuskava.pdf. [Online] Majandus-ja Kommunikatsiooniministeerium (1) Available at:

https://www.mkm.ee/sites/default/files/taastuenergia_tegevuskava.pdf [Accessed 20 April 15].

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

Lahtmets, R., 2002. Elektrilöögi oht. In *Elektrotehnika alused*.

Lahtmets, R., 2002. Voolu toime inimesele. In *Elektrotehnika II*. p.63.

Lahtmets, R., 2002. Voolu toime inimesele. In *Elektrotehnika: vahelduvvool*.

Lahtmets, R., 2002. Vooluring. In *Alalisvool*. Tallinn.

Majandus ja kommunikatsiooniministri määrus nr 24, 2007. *Nõuded elektriseadmetele- ja paigaldisele, nende elektromagnetilistele ühildavusele, määrgistuse teabega varustatud ning vastavushindamise kord*.

Markvart, T., 1994. THE PHOTOVOLTAIC GENERATOR. In T. Markvart, ed. *Solar electricity*. 1st ed. West Sussex: Unesco. p.79.

Marshal, C.-F.O.o.t.s., 2010. *Fire operations for photovoltaic Emergencies*.

Messenger, R.A. & Ventre, J., 2010. Introduction to fotoelektriline süsteem. In *Photovoltaic System Engineering*. Florida.

Nabcep, 2005. http://www.brooksolar.com/files/NABCEP_Study_Guide-Revised_Version_3_-_08_05-FINAL.pdf. [Online] Nort American Board of Certified Energy Practitioners Available at: http://www.brooksolar.com/files/NABCEP_Study_Guide-Revised_Version_3_-_08_05-FINAL.pdf [Accessed 01 May 2015].

NIOSH, 2014. *NIOSH*. [Online] Available at: <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/7440439.html> [Accessed 05 April 2015].

Päästekolledž, 2011. *Suitsu, põlemisgaaside eemaldamine*.

Pinn, M., Pinn, R. & Pinn, , 2012. Päikesepaneelid. In E. Poll, ed. *Elekter päikesest ja tuulest*. Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast. p.155.

Pinn, M., Pinn, R. & Pinn, , 2012. Võrgühendusega/on-grid. In E. Poll, ed. *Elekter päikesest ja tuulest*. Tallinn: MTÜ Kolm Kobrast. p.113.

Relink, 2014. *Relink Micro inverters*. [Online] Available at: <http://www.slideshare.net/MarcoAchilli1/relink-micro-inverters-the-ultimate-pv-conversion-technology> [Accessed 18 May 2015].

Risthein, E., 2013. Päikeseelektrijaamad. In G. Tammann, ed. *Energiatehnika ja maailm*. 2nd ed. Tallinn: TTÜ. pp.278-79.

SEI, 2000. *Säästva arengu sõnaseletusi*. [Online] (1) Available at: http://www.seit.ee/sass/?ID=1&L_ID=363 [Accessed 20 April 2015].

Sisekaitseakadeemia Päästekolledži Päästekool, 2010. Põlemistemperatuur. In *Tulekahju alused*. Väike-Maarja: Sisekaitseakadeemia. p.24.

SKA Päästekolledži Päästekool, 2010. Põlemistemperatuur. In *Tulekahju alused*. Väike-Maarja: Sisekaitseakadeemia. p.24.

Stiglitz, J.E., 1995. *Ühiskondliku sektori ökonomika*. Tallinn: Külim.

Sunflix, 2011. *Taastuenergia*. [Online] Sunflix Available at: <http://www.taastuenergia.ee/paikeselektrijaam-lamekatus.html> [Accessed 02 April 2015].

Sunflix, 2011. *Taastuenergia*. [Online] Sunflix Available at: <http://www.taastuenergia.ee/paikeselektrijaam-viilkatus.html> [Accessed 02 April 2015].

Sunflix, 2011. *Taastuenergia*. [Online] Sunflix Available at: <http://www.taastuenergia.ee/paikeselektrijaam-viilkatus.html> [Accessed 02 April 2015].

Taastuenergia OÜ, 2014. [Online].

Tan, D. & Seng, A.K., 08.04.2015. Types of Solar PV Systems. In *Handbook for photovoltaic Systems*. p.5.

The fire protection research foundation, 2013. *Fire fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems*. [Online] Fire Protection Research Foundation (2) Available at: <http://www.nfpa.org/~media/files/research/research-foundation/research-foundation-reports/for-emergency->

responders/rffirefightertacticssolarpowerrevised.pdf?la=en [Accessed 26 April 2015].

Underwriters Laboratories Inc., 2011. *Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project*. [Online] (1) Available at: http://ul.com/global/documents/offerings/industries/buildingmaterials/fireservice/PV-FF_SafetyFinalReport.pdf [Accessed 26 April 2015].

Unesco , 1995. Safety aspects. In T. Markvart, ed. *Solar electricity*. New York: John Wiley and Sons Ltd. p.228.

Unesco energy engineering series, 1995. Safety aspects. In T. Markvart, ed. *Solar electricity*. New York: John Wiley and Sons Ltd. p.228.

Unesco, 1994. Photovoltaic modules. In T. Markvart, ed. *Solar Electricity*. West Sussex: John Wiley and Sons Ltd. p.80.

United States Department of labor, 2015. *OSHA*. [Online] Available at: https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=standards&p_id=10037 [Accessed 26 April 2015].

VKG, 2015. *VKG elektrivõrgud*. [Online] Available at: <http://www.vkgev.ee/est/kliendile/elektrivorguga-liitumine/liitumisprotsess/mikrotootjad> [Accessed 18 May 2015].

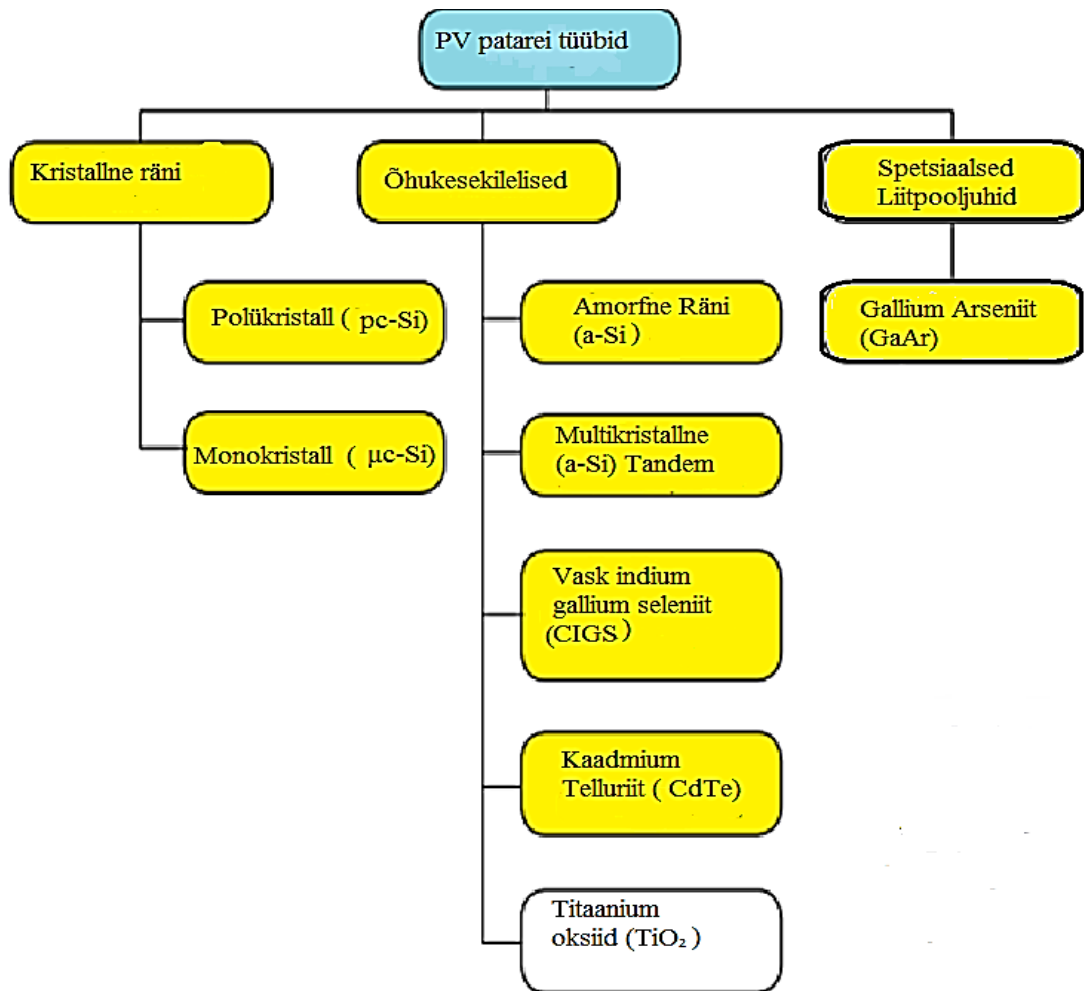
Wikipedia, 2015. *Soldering*. [Online] Available at: <http://en.wikipedia.org/wiki/Soldering> [Accessed 26 May 2015].

TABELITE JA JOONISTE LOETELU

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Peamised ohud päikesepaneelide tootmisel (Fthenakis, 2003) | 12 |
| Tabel 2. Ekspertintervjuude valim..... | 23 |
| | |
| Joonis 1. Fotoelektriline efekt (Kerem, 2014) | 9 |
| Joonis 2. Päikeseelemendi hierarhia. (Markvart, 1994)..... | 10 |
| Joonis 3. Päikesepaneeli I-V kõver (Electronics-Lab, 2002) | 11 |
| Joonis 4. Lihtsustatud võrku ühendatud süsteem. (Energiaklass, 2015)..... | 14 |
| Joonis 5. Lihtsustatud eraldiseisev süsteem. (Energiaklass, 2015)..... | 15 |
| Joonis 6. Alalisvoolu ja vahelduvvoolupool (Relink, 2014)..... | 16 |
| Joonis 7. Paneeli kinnitussüsteem lamekatusel (Sunflix, 2011)..... | 17 |
| Joonis 8. Päikesepaneelid lamekatusel (Sunflix, 2011) | 18 |
| Joonis 9. Katusekonks (Sunflix, 2011) | 18 |
| Joonis 10. Katusele paigutatud päikesepaneelide kinnitussüsteem. (Sunflix, 2011) | 19 |
| Joonis 11. Joonisel kujutatud inimese kehaosade näivtakistus (Lahtmets, 2002, pp. 62-63)..... | 21 |
| Joonis 12. Väljakutsele reageerimine (autori koostatud)..... | 33 |

LISA 1. PÄIKESEPATAREI TEHNOLOOGIATE PEREKOND

Allikas: (Energy Market, 08.04.2015)



Mono-kristall räni



Polü-kristall räni



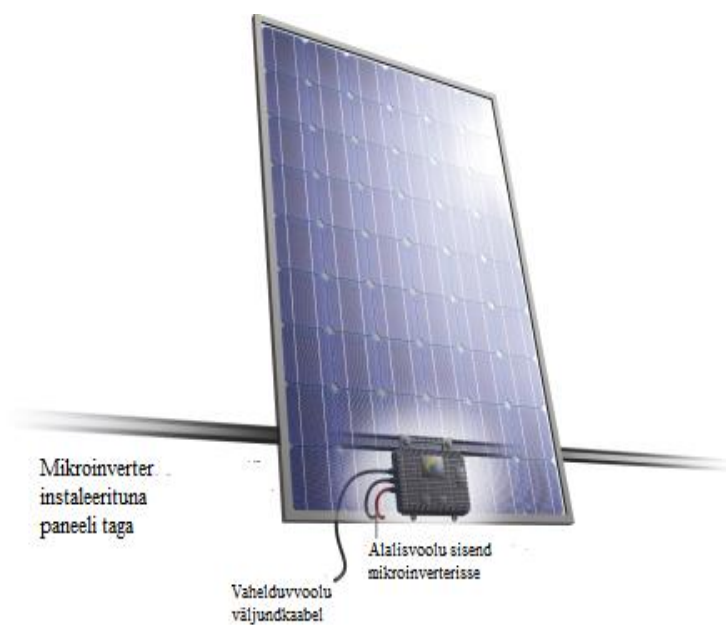
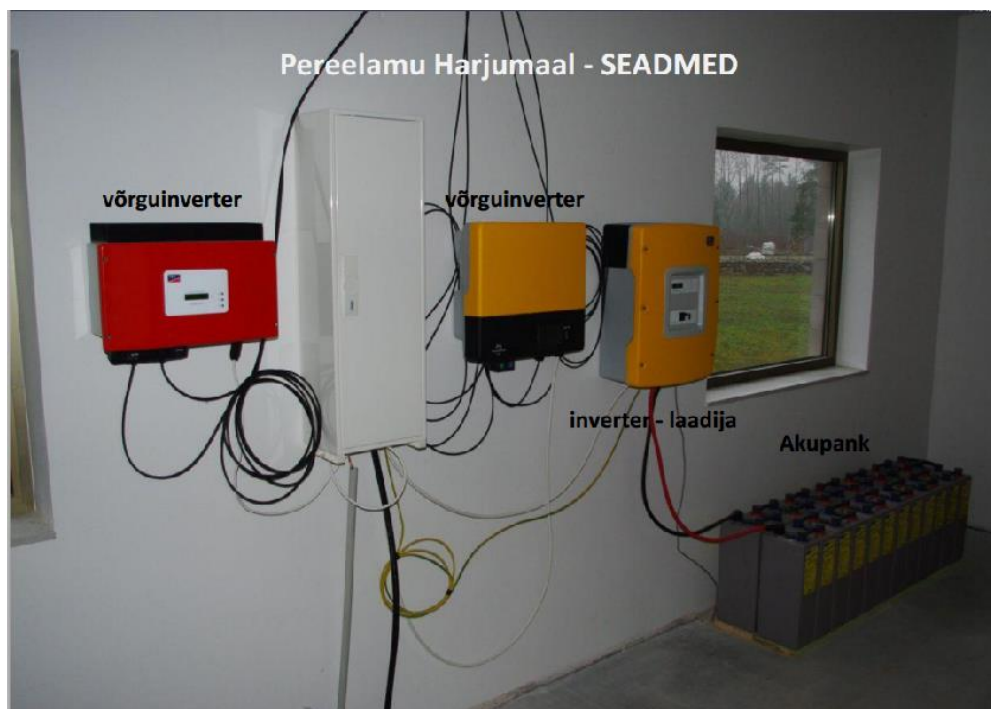
Amorfne õhukesekileline räni



Õhukesekileline Vask indium gallium Seleniit

LISA 2. VÕRGUINVERTER JA MIKROINVERTER

Võrguinverter ja mikroinverter. Allikas: (Elsevier, 2015); (Taastuvenergia OÜ, 2014)



LISA 3. ALALISVOOLU KAABELDUS
FOTOELEKTRILISTE KAABLITE
KARAKTERISTIKAST FIRMA HELUKABEL
NÄITEL

| SOLARFLEX®-X PV1-F | SOLARFLEX -X PV1-F TWIN |
|---|---|
| Töötemperatuuri vahemik: -40°C to +90°C | Temperatuuri vahemik -40°C kuni +90°C |
| Maksimaalne temperatuur kaablis +120°C | Maksimaalne temperatuur juhtmes +120°C |
| Kahekordse isolatsioon | Kahekordne isolatsioon |
| Tulekindel, vastab standardile VDE 0482-332-1-2, DIN EN 60332-1-2, IEC 60332-1 Vastupidav lühisvoolule 200°C juures , ,tänu kahekordsele isoleerile; | Leegi kindel, vastab standardile VDE 0482 Part 332-1-2,IEC 60332-1-2 Lühisvoolule vastupidav kuni 200°C tänu kahekordsele isolatsioonile |
| Lühisvoolu temperatuur 200°C/ 5 sec. | Lühisvoolu temperature 200°C/ 5 sekundit. |
| Ettenähtud eluaeg 25 aastat | Ettenähtud eluaeg 25 aastat |

Allikas: (Helukabel, 2013)

LISA 4: INVERTERI JA ELEKTRIKILBI MÄRGISTUS FOTOELEKTRILISTE SÜSTEEMIDE KORRAL

Allikas: (EVS-EN 50438. p 5.4, 2013)

Tuleb paigutada selline hoiatussilt, mis hoiataks kõiki isikuid, kellel on ligipääs pingestatud osadele, et need osad on vaja eraldada kõigist toiteallikatest.

Hoiatus silt tuleb paigutada vähemalt järgmistesse kohtadesse:

1. Elektrikilbile, kuhu on ühendatud mikrogeneraator;
2. kõigile elektrikilpidele kliendikilbi ja mikrogeneraatori vahel;
3. mikrogeneraatorile endale;
4. kõigisse mikrogeneraatori turvalahutuskohtadesse.

