

EELUURIMUS

ISEMAJANDAVA HOONE SÜSTEEM & TARK MOODUL

I VAHERAPORT

I VAHERAPORT

|

EELUURIMUS

UURIMISPROJEKT 1+X

ISEMAJANDAVA HOONE SÜSTEEM & TARK MOODUL

I VAHERAPORT

**Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli
väljatöötamine ja põhu kui materjali kasutamise
uurimine**

KOOSTAJAD: ANETH TRAUMANN, LIISPET VIIRA, RASMUS MEEMA

JUUNI-AUGUST 2023

SISUKORD			
SISSEJUHATUS	8		
1. ISEMAJANDAVA HOONE SÜSTEEM	10		
1.1. ENERGIATÕHUSUS	10		
1.2. Terminid	11		
1.2.1. Passiivmaja	11		
1.2.2. Madala energiatarbega maja	13		
1.2.3. Isemajandav maja	13		
1.3. TAASTUVENERGIA TOOTMINE	14		
1.3.1. Päikesenergia	14		
1.3.1.1. On-Grid lahendus	14		
1.3.1.2. Off-Grid lahendus	15		
1.3.1.3. Passiivne kütmine	17		
1.3.1.4. Päikesepaneelide materjalid	17		
1.3.1.5. Laadimiskontrollerid	18		
1.3.1.6. Päikesepaneelide paigaldamine	20		
1.3.1.7. Päikesepaneelide tasuvusaeg	21		
1.3.1.8. Päikesepaneelide keskkonnamõju	22		
1.3.1.9. Päikesepaneelide taaskasutus	23		
1.3.2. Tuuleenergia	26		
		1.3.3. Biokütus, biogaas, bioenergia	30
		1.3.4. Hüdroenergia	30
		1.4. ENERGIA SALVESTID	31
		1.4.1. Elektriakud	32
		1.4.1.1. Pliihappe akud	32
		1.4.1.2. Nikkel-kaadmium akud	32
		1.4.1.3. Liitiumakud	33
		1.4.2. Energia hoiustamine	34
		1.4.2.1. Tulekindlad tellised (inglis. k. firebricks)	34
		1.5. HALLVEE FILTREERIMINE JA KASUTUSOTSTARVE	36
		1.5.1. Töötamissüsteem	36
		1.6. REOVESI	42
		1.6.1. Imb- ja filtrerväljak	42
		1.7. VIHMAVEE KOGUMINE JA KASUTUSOTSTARVE	46
		1.7.1. Vihmavee kogumine katuse kaudu	47
		1.7.2. Katuse kaudu kogumise süsteem	48
		1.7.3. Puutepind (inglise k. catchment area)	52
		1.7.4. Edastamine	53
		1.7.5. Filtreerimine	54
		1.7.6. Hoiustamine	55

1.7.7. Jaotamine	56	2.1.1. Inimeste vee tarbimise harjumused	
1.7.8. Puhastamine	57	ööpäevaringselt	75
1.7.9. Kasutamine	60	2.1.2. Puhta veel tarbimine ja kvaliteet	77
1.8. ISEMAJANDAVA HOONE TEHNILINE VARUSTUS	61	2.1.3. Mida saab igaüks teha vee tarbimise	
1.8.1. Isemajandava hoone definitsioon	61	vähendamiseks?	79
1.8.2. Miks isemajandava hoone süsteem ja millal on		2.1.4. Inimeste vee tarbimise harjumused vastavalt	
see kasulik?	61	hooajale	79
1.8.3. Mikro-energiaväli ja jaotatud energiväli	62	2.1.4.1. Ühiskondliku hoone ehk lasteaia vee	
1.8.4. Kodumajade mastaabiga mikro-generaatorid	63	tarbimise harjumused vastavalt hooajale	83
1.8.5. Mikro-võrguühendus	64	2.1.5. Puhta vee ja hallvee tarbimisvajadus	85
1.9. NÄITED ISEMAJANDAVAST HOONESÜSTEEMIST	65	2.1.5.1. Ühepereelamu kohta	85
1.9.1. Autonoomne elektrivarustus eramul Naissaarel	65	2.1.5.2. Ühiskondliku hoone kohta	87
1.9.2. Shishiodoshi maja Prantsusmaal	68	2.2. ELEKTRI TARBIMISE ANALÜÜS	88
1.9.3. Cape Russell'i puhkekoht Ameerika		2.2.1. Seadmete energiatarve	90
Ühendriikides	69	2.2.2. Inimeste elektri tarbimisharjumused vastavalt	
1.9.4. OutSide In maja Tšiilis	72	hooajale	91
1.9.5. Vee äravool disainilise elemendina	73	2.2.3. Elektri tarbimisvajadus	95
2. TEHNOLOOGILISED LAHENDUSED (vastavalt		2.2.3.1. Ühepereelamu kohta	95
arvutustele)	74	2.2.3.2. Ühiskondliku hoone kohta	96
2.1. VEE TARBIMISE ANALÜÜS	74	2.3. SOOJUSENERGIA TARBIMISE ANALÜÜS	97

2.3.1. Üksikelamu soojusenergia tarbimine magistritöö näitel	104	3.2.5. Elekter	127
2.3.2. Inimeste soojusenergia tarbimisharjumused ööpäevaringselt	107	3.2.6. Soojusenergia	128
2.3.3. Näide 2-toalise renoveerimata tellistest korterelamu kohta	108	3.2.7. Maksumus ja tasuvus	128
2.4. SADEMEVEE HULGA ARVUTUSED	112	3.3. Lahendus 3 – täielikult võrgus (ühiskondlik hoone)	129
2.4.1. Sademevee hulk vastavalt piirkonnale	113	3.3.1. Reovesi	129
2.4.2. Sademevee tootlikkuse vastavalt katusepindalale	115	3.3.2. Puhas vesi	129
3. TARK MOODUL (3 eskiisi)	118	3.3.3. Soojusenergia	130
3.1. Lahendus 1 – hübriid lahendus (suvila või alaline elamine)	118	KOKKUVÕTE	132
3.1.1. Reovesi	118	KASUTATUD ALLIKAD	134
3.1.2. Puhas vesi	119		
3.1.3. Soojusenergia	120		
3.2. Lahendus 2 – täielikult off-grid (alaline elamine)	122		
3.2.1. Reovesi	122		
3.2.2. Puhas vesi	123		
3.2.3. Sanitaarruum	124		
3.2.4. Energia	125		

SISSEJUHATUS

Käesolev dokument on arendusprojekti "Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli väljatöötamine ja põhu kui materjali kasutamise uurimine" I vaheraport, mis käsitleb isemajandava hoone süsteeme ning tarka mooduli lahendust. Raport valmis 2023. aasta juunist augustini ning kuulub arendustöö eeluurimise faasi. Uurimus on jaotatud kolmeks osaks ning käsitleb isemajandava hoone teemasid nagu energiatõhusus, taastuenergia, vee käitlemine. Lisaks uurimusele koosneb antud raport ka praktilistest näidetest ning ka tehnoloogilistest lahendustest, mis on koostatud vastavalt meie endi kogutud andmete põhjal, kus on analüüsitud erinevate leibkondade vee ja elektri vajadusi.

21. sajandil on meie teadlikkus süsiniku jalajäljest, mida me endast maha jätame, järjest suurenenud. Selle teadlikkuse valguses on paljud inimesed juba praegu hakanud mõtlema sellele, kuidas vähendada oma fossiilkütuste tarbimist ja elada rohelisemat elustiili. Taastuenergiaallikad, nagu päikese- ja tuuleenergia, pakuvad tõhusaid ja keskkonnasõbralikke alternatiive

traditsioonilistele fossiilkütustele. Nende kasutuselevõtt mitte ainult ei vähenda kasvuhoonegaaside heitkoguseid, vaid aitab ka kaasa energiasõltumatuse suurendamisele. Üleilmne areng toob endaga kaasa muutusi ning me peame olema valmis uute suundade poole liikuma ning uute mustritega kohanema. Tähtsad ja innovaatilised energiasäästlikud lahendused luuakse, et parandada meie igapäevaelu ning viia meid edasi uuele tasandile.

Isemajandava hoone kontseptsioon, mis hõlmab nutikaid tehnoloogiaid ja taastuenergia lahendusi, on tulevikuks oluline samm puhtama ja jätkusuutlikuma ehitussektori tagamiseks. Seetõttu oleme suunanud fookuse antud raportis isemajandavate hoonetele, kuna need mängivad olulist rolli keskkonnaprobleemide lahendamisel, energiasõltuvuse vähendamisel, innovatsiooni edendamisel ning jätkusuutliku ja vastupidava tuleviku arendamisel.

1. ISEMAJANDAVA HOONE SÜSTEEM

Isemajandavad hooned on loodud taastuvate energiaallikate, näiteks päikesepaneelide, tuuleturbiinide või geotermiliste süsteemide abil oma energiavajaduste genereerimiseks, salvestamiseks ja haldamiseks. See vähendab sõltuvust fossiilkütustest ja traditsioonilistest energiavõrkudest, mis vähendab energiatarbimist ja kasvuhoonegaaside heitkoguseid. Kuigi esialgne investeering isemajandavatesse tehnoloogiatesse võib olla suurem kui ühisvõrguteenuste kasutamine, siis pikemas perspektiivis annavad need märkimisväärset kokkuhoiduniitarbimiseskuikarahalistesväljaminekutes.¹

1.1. ENERGIATÕHUSUS

Energiatõhusus viitab tavale kasutada samade ülesannete täitmiseks või samade tulemuste saavutamiseks vähem energiat. See hõlmab teadlikku käitumist ja püüdlust energia raiskamise minimeerimiseks, säilitades või parandades samal

¹ J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aleksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus. 2009, Balti Keskkonnafoorum: https://bef.ee/wp-content/uploads/2014/04/Ehitiste-energiat%C3%B5husus_terminite-s%C3%B5nastik-inglise-ja-eesti-keeles.pdf.

ajal soovitud teenindustaset, tootlikkust või mugavust. Energiatõhusus on säästva arengu põhikontseptsioon ja sellel on oluline roll energiatarbimise vähendamisel, kulude vähendamisel ja keskkonnamõjude leevendamisel.²

1.2. TERMINID

1.2.1. Passiivmaja

Passiivmajaks nimetatakse ehitist, kus soodne sisekliima, umbes 20°C, saavutatakse tavaliste kütte- ja jahutussüsteemideta. Neid ehitisi nimetatakse "passiivseteks", kuna enamik nende soojusvajadusest kaetakse "passiivsetest" allikatest, näiteks päikese kiirgusest, inimeste ja tehnoloogiliste seadmete soojusest. Vajalikku soojust saab taaskasutada, juhtides seda ruumidesse kontrollitud ventilatsioonisüsteemiga. Passiivmaja aastane küttevajadus on väga madal - Kesk-Euroopas umbes 15 kWh/m²/aastas. Kogu primaarenergia kasutuse vajadus ei tohi ületada 120 kWh/m²/aastas, sealhulgas kütte ja jahutuse, sooja tarbevee ja majapidamise elektrienergia osas. Peamised

² J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aleksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus.

passiivmaja konstruktsioonide eristavad tunnused hõlmavad järgmist:

- Kompaktne ehitus ja tõhus isolatsioon;
- Optimaalne lõunapoolne orientatsioon ja varjude arvessevõtmine;
- Hea välispiirete hermeetilisus ja õhutihedus;
- Värsket õhku passiivselt eelsoojendav süsteem;
- Efektiivne väljavooluõhu soojuse taaskasutamine;
- Õhk-õhk soojusvaheti kasutamine;
- Taastuvate energiaallikate kasutamine kuuma veevarustuses;
- Energiasäästlike majapidamisseadmete kasutamine.³

Passiivmaja kavandamine on terviklik planeerimis- ja teostusprotsess, mis võib leida rakendust nii uute ehitiste projekteerimisel kui ka olemasolevate hoonete energiatõhusa renoveerimise puhul.⁴

3 J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aļeksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus.

4 J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aļeksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus.

1.2.2. Madala energiatarbega maja

Tavaliselt nimetatakse madala energiatarbega majaks igat tüüpi hoonet, mis tarbib vähem energiat kui tavaline maja, kuid rohkem kui passiivmaja. Madala energiatarbega maja energiatõhusus jääb peaaegu poole võrra alla miinimumnõuetele. Ülemaailmset madala energiatarbega maja määratlust pole, kuna riiklikud standardid erinevad oluliselt. Näiteks Saksamaal on “madala energiatarbega maja” puhul ruumi kütmise energiatarbimise ülemmäär 50 kWh/m²/aastas.⁵

1.2.3. Isemajandav maja

Energeetiliselt isemajandav hoone on täielikult autonoomne, sõltumatu välistest energia tarnetest. See toodab ja säilitab elektrienergiat ning kütet näiteks mikroelektrijaamades või aktiivsetes päikesesüsteemides, mis asuvad hoone sees või selle katuse peal.⁶

5 J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aļeksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus.

6 J. Faltin, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aļeksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus.

1.3. TAASTUVENERGIA TOOTMINE

1.3.1. Päikesenergia

Päike kiirgab fotoelementidele (ingls.k. Photovoltaic cells), mis toodab koheselt elektrit. Seda energiat saab otse kasutada väiksemate puhurite või mootorite kasutamiseks või hoiustada seda patareides. Fotoelemendid varieeruvad suuruse ja tüübi järgi, tuleb valida õige suurus vastavalt tarbimisele.⁷

1.3.1.1. On-Grid lahendus

On-Grid tüüpilisematest lahendustest on päikesepaneelid, millest saadut energiat on võimalik kasutada isiklikuks tarbeks või võrku müümiseks.

Kui tarbimine ei lange kokku tootmise ajaga müüakse ülejäänud elekter võrku või salvestatakse akupanka. Suurema tarbimise korral on alati võimalik võrgust elektrit juurde osta.⁸

PV-paneelidele langev päikesevalguse energia muundatakse elektrienergiaks ja suunatakse edasi

inverterisse, mis muundab alalisvoolu vahelduvvooluks. Inverterist läheb muundatud vahelduvvool edasi tarbijale ning ülejäänud energia suunatakse läbi arvesti võrku. Energias võrgust ostes liigub elektrienergia arvestisse, mis fikseerib ostetud energiahulga ja seejärel suunatakse elekter tarbijale kasutamiseks.⁹

1.3.1.2. Off-Grid lahendus

Lahendus, kus on vaja tagada elektrivarustust, kuid võrku ei ole, võrguga liitumine oleks asukoha tõttu võimatu või liigselt kulukas. Off-grid lahenduse puhul on elektrienergia liikumise teekond lihtsam kui seda on-grid lahenduse puhul.

PV-paneelidele langev päikeseenergia muundatakse elektrienergiaks ja suunatakse edasi kontrollerisse, kus reguleeritakse ja kontrollitakse pinget ja tarbija voolu. Kontrollerit kasutatakse akupanga eluea kaitseks. Süsteemi järgmiseks etapiks on osa muundatud energia salvestamine akupanka, kust ülejäänud energia suunatakse edasi inverterisse. Vaheldit läbinud vool on muundatud vahelduvvooluks ja seda saab kasutada majapidamises.

⁷ A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrong: New Holland Publishers, 2008, lk 13.

⁸ R. Feldman, Päikseenergia kasutamine väikeelamu näitel. Magistritöö, 2017, Eesti Maaülikool: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/3566/Regina_Feldman_2017BA_EK_täistekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

⁹ R. Feldman, Päikseenergia kasutamine väikeelamu näitel.

Off-Grid plussid:

- sõltumatu ja tasude vaba (võrgu- ja liitumistasu);
- puuduvad elektriarved vastavalt tarbimisele;
- töökindlus ei sõltu ilmast;
- süsteemis saab täiendada, elektrivajaduse kasvades.

Off-Grid miinused:

- investeering on kulukas;
- seadmete suhteliselt kiire vananemine (5–6 aasta tagant vajab uuendamist);
- aastaringelt off-grid lahendust kasutades tuleb arvestada kütuse kuluga, mida on vaja generaatori töös hoidmiseks.¹⁰

Päikeseenergiat tootlikkus sõltub päikesepaiste ajalisest kestvusest ja aastaegadest. Kõige olulisemat rolli mängib temperatuuri õhutemperatuuri ja päikesevälja süsteemi temperatuuride vahe. Mida väiksem on õhu- ja süsteemi vaheline temperatuur,

¹⁰ Kas kallid elektrivõrgu liitumistasu või võrguühenduse lahendus? – Eesti Päikesevõrgu, <https://paikesevagi.ee/kas-kallis-elektrivorgu-liitumistasu-voivorguuhendusest-lahendus/> (vaadatud 24. VIII 2023).

seda efektiivsem on kollektorite tootlikkus.

Päikesekiirgust on võimalik jagada kolme liiki: otsene-, hajus- ning maapinnalt peegelduv kiirgus.¹¹

1.3.1.3. Passiivne kütmine

Kui elatakse mõõdukalt soojas kliimas, siis passiivne päikese süsteem lubab kütta ja jahutada eluruume.¹²

1.3.1.4. Päikesepaneelide materjalid

Päikesepaneeli valmistatakse ränist ning omavahel eristatakse kolme erinevat tüüpi ränni: amorfne (a-Si), polükristall (poly-Si) ja monokristalliline ränni (c-Si). Ränni sisalduse järgi jaotuvad PV-paneelid mono-, multi- ja polükristallilisteks paneelideks. Peale kristalliliste päikesepaneelide toodetakse ka sadestatud kilega (thin film) paneeli, mis on küll odavamad, aga väiksema kasuteguriga kui kristallilisest ränist valmistatud paneelid. Päikesepaneelidest on kõige efektiivsemad monokristallilised paneelid, mille valmistamisel kasutatakse suurte kristallidena toodetud ränni.¹³ Peamine erinevus nende kahe päikesepaneelide tüübi vahel on päikeseenergia elektrienergiaks muundamise

¹¹ R. Feldman, Päikeseenergia kasutamine väikeelamu näitel, lk 10.

¹² A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook, lk 12.

¹³ R. Feldman, Päikeseenergia kasutamine väikeelamu näitel, lk 12.

efektiivsus.

Tänapäevased masstootmises olevad monokristallpaneelid on päikeseenergia muundamise efektiivsusega maksimaalselt 22%. Masstootmises toodetud polükristalliliste paneelide puhul on päikeseenergia elektrienergiaks muundamise efektiivsus palju väiksem kui monokristallilistel paneelidel ja ulatub maksimaalselt 18%-ni. Amorfse õhukese kile tehnoloogiad võimaldavad valmistada paneeli, mis on tootmiskuludelt odavamad. See asjaolu muudab kilepaneelid atraktiivsemaks suurte paneeli alade ("farmide") ehitamisel, et toota päikesevalgusest elektrit. Õhukese kihilised paneelid ei vaja otsest päikesevalgust, need töötavad hajutatud kiirgusega, tänu millele on aastas toodetav koguvõimsus 10–15% suurem, kui traditsioonilistel kristallilistel päikesepaneelidel.¹⁴

1.3.1.5. Laadimiskontrollerid

Päikesepeatarei toodetud elektrienergiat saab üle kanda kahte viisi:

1. Otse, ilma lülitusseadmeid ja juhtseadmeid

¹⁴ I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus. Magistritöö, 2022, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/0ce93ed6-ecd6-4045-9345-9b47de13c220>, lk 19–20.

kasutamata. Sel juhul liigub elektrivool päikese-paneelidest otse akudesse, suurendades klemmide pinge taset. Alguses ei ole laadimisprotsess ohtlik ja ei häiri vooluahela tavapärast toimimist. Siiski, kui laadimisvool jätkub ilma piiramiseta, võib see põhjustada pingetaseme järsu tõusu, mis ületab ohutustaseme (tavaliselt umbes 14 V). See võib viia akude ülelaadimiseni, mille tagajärjel tõuseb elektrolüüdi temperatuur ja akud võivad kuivada, vähendades oluliselt nende kasutusiga. Selle vältimiseks kasutatakse laadimisvoolu reguleerimiseks kontrollereid.

2. Kontrolleri kaudu. Päikesepeatarei laadimiskontrollerid töötavad erinevate algoritmide järgi. Neist mõned on järgmised:

- Sisse/Välja-tüüp: See kontroller lülitab akud lihtsalt laadijasse vastavalt klemmide pingele. Selle puuduseks on see, et aku klemmide pinge jõuab piirväärtuseni ja ei lae aku täielikult (umbes 90%). Pidev ja regulaarne aku tühjenemine vähendab oluliselt selle eluiga.

- PWM-kontrollerid: Need kontrollerid reguleerivad toiteallika pinget selle sisendvahemikus, kasutades tagasisidesignaale. Need võivad arvestada ka

elektrolüüdi temperatuuri, pakkuda laadimispinge temperatuuri kompensatsiooni ja kohandada erinevate tüüpide (nagu GEL, AGM, vedel hape) akude jaoks erinevaid pingekõveraid. PWM-kontrollerid on töökindlad, kuid neil võib olla kõrgem hind.

- MPPT-kontrollerid: Need kontrollerid toimivad impulss-laiuse muunduri põhimõttel ja on väga täpsed, kuna nad jälgivad päikesepaneelide maksimaalset võimsust. Näiteks 12 V päikesepeatareide puhul on maksimaalne väljundpinge umbes 17,5 V. MPPT-kontrollerid vähendavad energiakadusid 10–30% võrreldes PWM-kontrolleritega.¹⁵

1.3.1.6. Päikesepaneelide paigaldamine

Päikesepaneelide paigaldamisel on oluline arvestada kaldenurga ja ilmakaarega vastavalt asukohale, et maksimeerida paneelide tõhusust. Tavaliselt paigaldatakse need lõunapoolsetele katuse külgedele, eelistades lahendusi, kus katusel olevate paneelide kaldenurka on võimalik reguleerida. Samuti võib neid paigaldada lõunapoolsele fassaadile, kui see sobib kasutaja vajadustega, kuigi see pole nii efektiivne

¹⁵ I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 22–23.

(eriti talvekuudel, kui päike asub madalamal horisondil). Alternatiivina võivad paneelid paikneda maapinnal raamide peal, kuigi see võib olla ebapraktiline, kui sobivat maad pole kõigil kasutajatel kättesaadav. Oluline on hoida paneelide vahekaugust silmas, et tagada nende tõhus toimimine.¹⁶ Eestis on optimaalseks päikesepaneelide paigaldus kaldenurgaks maapinna suhtes 30–40°, mis tagab maksimaalse summaarse tootlikkuse aastas.¹⁷

1.3.1.7. Päikesepaneelide tasuvusaeg

Lihtsustatud tasuvusaeg on ajaperiood, mille jooksul kulud, mis on seotud paigaldusega, tasuvad end ära. Fotogalvaaniliste (PV) paneelide puhul võib ilma toetuseta tasuvusaeg ületada 20 aastat. Selleks, et paigalduskulud oleksid mõistlikult õigustatud, peaks tasuvusaeg olema lühem kui PV-süsteemi eeldatav eluiga. Hetkel puuduvad piisavalt pikaajalised andmed, mis võimaldaksid täpselt hinnata, kuidas PV-süsteemid käituvad üle 10 või 20 aasta.

Üldiselt võib oodata mõningast jõudluse langust

¹⁶ R. Feldman, Päikseenergia kasutamine väikeelamu näitel, lk 14–15.

¹⁷ Päikesepaneelide kinnitused ja kaldenurk. – ENERGIA PARTNER, <https://energiapartner.ee/paikseenergia/paikesepaneelide-kinnitused-ja-kaldenurk/> (vaadatud 24. VIII 2023).

ning pikemaajaliste tasuvusaegade arvutamisel võib olla mõistlik arvestada 10% jõudluse vähenemisega 10 aasta pärast ja 20% langusega 20 aasta pärast. Samuti tuleks arvestada vähemalt ühe inverteri asendamisega süsteemi eluea jooksul.¹⁸

1.3.1.8. Päikesepaneelide keskkonnamõju

PV-süsteemi investeeringu otsustamisel ei piirdu küsimused üksnes tasuvusajaga. Mis tahes energia tootmissüsteemi ehitamise, transportimise, paigaldamise ja hooldusega kaasnevad energiakulu ja tooraine kasutus, ning tuleb kaaluda mõjusid süsteemi kasutusea lõpus.

Uuringud on näidanud, et Kesk-Euroopa väikese fotogalvaanilise süsteemi puhul kulub 3-4 aastat, et katta tootmise ja paigaldamise energiakulud, kuigi mõned hinnangud võivad olla kõrgemad. Tootmise käigus võib kasutada haruldasi või mürgiseid materjale ning juhtumeid mürgiste jäätmete eraldumisega fotogalvaanilistes jaamades on esinenud Hiinas. Seetõttu on oluline hoolikalt jälgida tootmise mõjusid, eriti kui päikesepaneele hakatakse laialdasemalt

kasutama. Praegu uuritakse, kuidas käituda kasutatud moodulitega nende majandusliku eluea lõpus ja jäätmete taaskasutamise mõju. Need tegurid on seni jäänud välja energia tasuvusperioodi arvestusest, samuti inverteri asendamise või väljavahetamise mõju.

Lisaks sellele tuleks arvestada ka laiemate sotsiaalsete ja majanduslike mõjudega, mis tulenevad sobivate tingimuste loomisest PV-süsteemide kasutuselevõtmisel.¹⁹

1.3.1.9. Päikesepaneelide taaskasutus

Päikesepaneelide kasutus maailmas tõuseb märkimisväärse tempoga. "Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy" raportis on toodud välja, et 2000. aastal toodeti maailmas päikesepaneelide energiat kokku 1,4 GW ja 2018 oli selleks numbriks juba 512 GW. Antud sektori kiire kasvuga kaasneb suur päikesepaneelide jäätmete hulk, kuna päikesepaneeli eluiga loetakse maksimaalselt 30. aastaseks. Prognoos on, et 2030. aastaks on päikesepaneelidest tekkinud jäätmeid maailmas 8. miljonit tonni ja 2050. aastaks on

¹⁸ N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home. Somerset: Haynes Publishing, 2015, lk 109.

¹⁹ N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home, lk 109.

selleks numbriks juba 80. miljonit tonni.²⁰

Numbritele otsa vaadates on ilmselge, et lahendusi jäätmete minimaliseerimiseks või taaskasutamiseks on vaja pakkuda. Hetkeseisuga pole päikesepaneelide taaskasutamiseks perfektset lahendust leitud ja puuduvad juhtivad regulatsioonid riikide tasandil. Eluringi lõpus olevaid päikesepaneele saab kasutada edasi, kuid nende efektiivsus on nii madal, mis pole enam ratsionaalne energia kasutus. Hetkel on kaks suunda päikesepaneelide taaskasutamiseks välja mõeldud: mehaaniline ja keemiline. Mehaaniline taaskasutus tähendab, et päikesepaneelilt eemaldatakse alumiinium raam ja muud metallist detailid ja ülejäänud paneeli osad, klaas, räni, juhtmestik purustatakse ja läheb tavaliseks jäätmeks. Teine mehaaniline taaskasutus on, kus üritatakse võimalikult palju detaile eraldada mehaaniliselt, kuid selle kasutegur on minimaalne varasema variandiga, kuna lisaks metallile eraldatakse klaas.²¹

20 G. A. Heath, T. J. Silverman, M. Kempe, M. Deceglie, D. Ravikumar, T. Remo, H. Cui, P. Sinha, C. Libby, S. Shaw, K. Komoto, K. Wambach, E. Butler, T. Barnes, A. Wade, Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy. – Nature Energy 5, 2020, lk 512.

21 J. Marsh, Solar panel recycling: what you need to know. – EnergySage, 2023, <https://news.energysage.com/recycling-solar-panels/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Teine viis on keemiline, kus lisaks mehaanilisele eraldusele kasutatakse ka keemilist eraldamist, mis tähendab, et üritatakse erinevatest kihtidest saada näiteks hõbeda ja räni osakesi, mida saab hiljem uuesti päikesepaneelide tootmiseks kasutada. Keemilise eraldusega tegeleb prantsuse ettevõtte nagu ROSI Solar.²²

Kuna praegu kasutatakse enamasti mehaanilist taaskasutust ja eraldatakse ainult alumiinium ja klaas, siis ülejäänud materjalid purustatakse ja jõuavad prügimäele. Päikesepaneel sisaldab endas väga palju erinevaid kahjulikke aineid (nt. kaadium ja plii), mis põhjustab mehaanilise jäätmekäitlus mudeliga tulevikus mürgiste jäätmete keskkonnakahjulikkus. Arvestades, et 2050. a ennustatakse 80. miljonit tonni päikesepaneeli jäätmeid, on tegemist vägagi arvestatava probleemiga. Peamine päikesepaneeli taaskasutamist demotiveeriv asjaolu on hind, kuna päikesepaneeli korralik taaskasutamine ja detailide põhjalik sorteerimine võib maksta 15–45 dollarit paneeli kohta, aga jäätmejaamas purustatult maksab 1–5 dollarit paneel.²³

22 J. Marsh, Solar panel recycling: what you need to know.

23 J. Marsh, Solar panel recycling: what you need to know.

Võrreldes päikesepaneelide taaskasutust Euroopa ja USA vahel, siis peamine erinevus on, et USA-l puudub korralik taaskasutus poliitika ja pole piisavalt ettevõtteid (mõned näited: kes isegi pakuksid päikesepaneelide taaskasutamise eesmärgil päikesepaneelide lammutamist.²⁴

1.3.2. Tuuleenergia

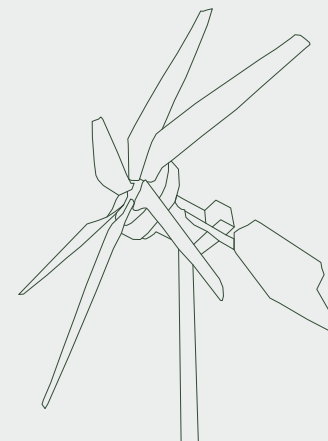
Tuulegeneraatoritest toodetud energiat saab otse kasutada ning selle tootmise võimsus sõltub tuulegeneraatori süsteemi suurusest. See energia on kasutatav valgustuse ja elektriseadmete toiteallikana televiisori, raadio, ventilaatori, arvuti, külmkapi ja pesumasina puhul. Energiat on võimalik kasutada otse alalisvooluna või muundada seda vajadusel vahelduvvooluks.²⁵

Erinevad tuulegeneraatorid:

- Horisontaalse pöörlemisteljega:

HAWT (horisontaalvõllil paiknev tiivikutega tuulegeneraator) on maailma kõige levinum elektituulik. Neil on horisontaalne tuuleratta pöörlemistelg,

mille labad liiguvad vastutuules ja on paralleelsed maapinnaga. See disain võimaldab tuule suunas automaatset jälgimist ja labade pöördenurgamuutumist, et püüda kinni ka nõrgim tuul. HAWT-id sobivad suuremahuliseks elektrienergia tootmiseks ja neil on kõrge kasutegur (40-50%). Need tuulikud on eelistatud valik tuuleparkide loomisel. HAWT-id võivad omada erineva arvu labasid, näiteks üks, kaks, kolm või rohkem. Kuigi horisontaalvõllil paiknevad tuulegeneraatorid on tõhusad, on nende konstruktsioon keerukam ja neil on täiendavaid osi, mis juhivad tuule suunas. Siiski on nende suurema kasuteguri tõttu eelistatud võrreldes vertikaalsete telgedega mudelitega, mis on kergemad ja kompaktsemad, kuid vähem efektiivsed.²⁶



Joonis 1. Horisontaalse pöörlemisteljega tuulegeneraator.

24 J. Marsh, Solar panel recycling: what you need to know.

25 A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrongra: New Holland Publishers, 2008, lk 12.

Tuulerattad, millel on suur hulk labasid, suudavad tekitada märkimisväärset pöördemomenti, mis on nende peamine eelis. Siiski on sellistel tuuleratastel suur inertsimoment, mis tähendab, et need saavad töötada ainult madalatel kiirustel. Mitme labaga tuulegeneraatorid (joonis 1) sobivad sageli veepumpade toiteallikana, kuna nende konstruktsioon ja tehnilised omadused vastavad veepumpade nõuetele. Seetõttu leiduvad neid tihti kasutust alternatiivsete energiaallikatena veepumpades.²⁷

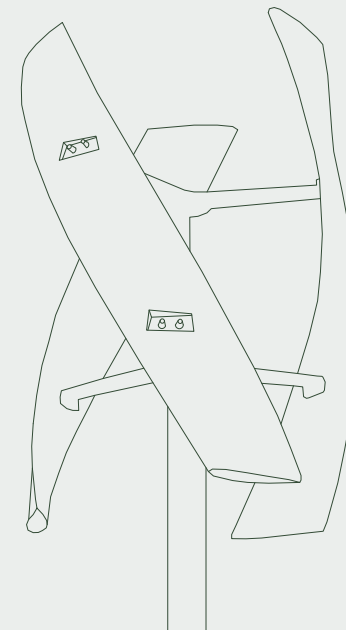
- Vertikaalse pöörlemisteljega;

Vertikaalsed tuulegeneraatorid (joonis 2) on vähem tõhusad kui horisontaalsed, neil on umbes 3 korda väiksem kasutegur. Nende labad pöörlevad igas suunas risti maapinnaga, olenemata tuule tugevusest, mistõttu osa labadest töötab alati vastutuult, vähendades oluliselt nende tõhusust.

Vertikaalsetel tuulegeneraatoritel on mitmeid puudusi, nagu võimetus labade iseseisvaks pöörlemiseks, suurenenud koormus konstruktsioonile, vajadus identsete labade järele ja suurenenud müra

tase töö ajal.

Siiski on neil ka eeliseid, näiteks lihtsam paigaldus, kuna käigukast ja elektrigeneraator on maapinnal ning nad ei vaja tuulelipu. Samuti suudavad nad iseseisvalt orienteeruda õhuvoolude suhtes. Vertikaalsete tuulegeneraatorite konstruktsioonid võivad erineda, sõltuvalt tuuleratta modifikatsioonist.²⁸



Joonis 2. Vertikaalse pöörlemisteljega tuulegeneraator.

Vertikaalse pöörlemisteljega tuulegeneraatori tööpõhimõte on, et tuulevool avaldab survet tuuleratta labadele. Labade ja väikese kiirusega võlliga rootori

27 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 26.

28 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

mõjul hakkab rootor pöörlema, muutes tuuleenergia mehaaniliseks energiaks. Seejärel kandub mehaaniline liikumine läbi käigukasti elektrigeneraatorile. Generaatori rootor pöörleb, muutes mehaanilise energia elektrienergiaks.²⁹

1.3.3. Biokütus, biogaas, bioenergia

Biogaas võib toita kõiki vooluallikaid, kui on olemas õige seadistus, piisavalt ruumi ja sobiv sõnnik. Näiteks võib biogaas toita generaatorit, mis omakorda võib toetada kõiki elektritarbimise vajadusi.³⁰ Biodiislit saab kasutada kõikide mootorite jaoks, näiteks auto või generaator.³¹

1.3.4. Hüdroenergia

Hüdroturbiini süsteem sarnaneb tuuleenergiaga, andes otsest elektrit, mis võib toita valgustust, väiksemaid seadmeid ja külmkappi. Siiski ei pruugi see suuta toota piisavalt võimsust, et toetada elektripliiti.³² Hüdroenergia on taastuvenergia, mis tuleneb vee liikumisest

gravitatsiooni mõjul. See on keskkonnasõbralik, usaldusväärne ja kulutõhus energiaallikas, mida saab rakendada hüdroelektrijaamades. Hüdroelektrijaam kasutab langeva vee energiat, et toota elektrit turbiini ja generaatori abil.³³

1.4. ENERGIA SALVESTID

Elektrienergia salvestussüsteemid moodustavad energia säilitamise ja akumulierimise kriitilise komponendi. Need jagunevad kaheks peamiseks tüübiks: elektrokeemilised, mis muudavad elektrienergia keemiliseks energiaks, ning füüsilised energia akumulaatorid, mis teisendavad elektrienergia mehaaniliseks energiaks. Kõik elektrokeemilised salvestusseadmed on ühendatud võrguga läbi muundurite. Füüsiliste elektrienergia salvestusseadmete hulka kuuluvad peamiselt kaks tüüpi: gravitatsioonilised salvestusseadmed ja kineetilised akumulaatorid, mida tuntakse ka hooratastena.³⁴

29 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 24.

30 A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrong: New Holland Publishers, 2008, lk 13.

31 A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrong: New Holland Publishers, 2008, lk 13.

32 A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrong: New Holland Publishers, 2008, lk 12.

33 Mis on hüdroenergia? Selle eelised ja puudused. – Energia Foorum, 2022, <https://energiafoorum.ee/t/mis-on-hydroenergia-selle-eelised-ja-puudused/13> (vaadatud 24. VIII 2023).

34 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

1.4.1. Elektriakud

1.4.1.1. Pliihappe akud

Pliiakud kasutavad elektrokeemilisi reaktsioone plii ja pliidoksiidi ning väävelhappe vesilahusega. Neil on tavaliselt 2V või 12V nimipinge. Pliiakusid võib jagada hooldatavateks (VRLA) ja hooldusvabadeks (SLA) tüüpideks. Hooldatavad akud nõuavad elektrolüüdi taseme ja tiheduse perioodilist jälgimist, samas kui hooldusvabad akud ei vaja täiendavat hooldust. Lisaks on olemas AGM-akud, mis on hooldusvabad ning kasutavad sulfaat elektrolüüti, mis on seotud klaaskiu ja geel elektrolüüdiga. AGM-akud toimivad hästi laadimisrežiimis ja võivad kesta kuni 10–12 aastat (12V akude puhul) või isegi kuni 18 aastat (2V akude puhul).³⁵

1.4.1.2. Nikkel-kaadmium akud

Nikkel-kaadmiumpatareidel on umbes kaks korda suurem energiamaht kui pliiakudel ning nad töötavad hästi madalatel temperatuuridel, võimaldades suuremaid laadimis- ja tühjendusvoolusid. Need eelised on võimaldanud laialdast kasutamist

maismaa transpordis, lennunduses ja statsionaarsetes süsteemides. Siiski esineb nikkel-kaadmiumpatareidel mäludefekt, mis põhjustab energiamahu olulist langust ebaühtlase laadimise või tühjenemise korral, nõudes spetsiaalseid laadimis algoritme. Kuigi neid kaaluti alternatiivina pliiakudele elektrisõidukites, ei suutnud nad täielikult pliiakusid asendada, peamiselt kõrgema hinna tõttu.³⁶

1.4.1.3. Liitiumakud

Liitiumioonakud on hooldusvabad ja võimaldavad kiiret laadimist vähem kui 2 tunniga. Need ei omasta mäludefekti ja on hermeetilised ilma mürgiste heitmeteta. Võrreldes happakudega on nende võimsuse vähenemine eluea jooksul väike. Siiski on neil kõrge hind ja halb jõudlus madalatel temperatuuridel. Plahvatusohutus on muutunud vähem muret tekitavaks ning taaskasutatavuse ja keskkonna ohutuse osas on väljakutsed.³⁷

³⁵ I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

³⁶ I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

³⁷ I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

1.4.2. Energia hoiustamine

1.4.2.1. Tulekindlad tellised (*inglise k. firebricks*)

Vähemalt 3000 aastat on tulekindlad tellised, mis taluvad kõrget kuumust, olnud osa meie tehnoloogia varamust, alates hetiitide tsivilisatsioonist. MIT-i teadlaste uuring pakub välja, et see ajalooline leiutis võib mängida võtmerolli fossiilkütuste asendamisel süsinikuvabade energiaallikatega.³⁸

Kõrgtemperatuurilised tulekindlad tellised, isolatsioon ja teised salvestuskomponendid meenutavad tööstuslikke kõrgtemperatuurseid rekuperaatoreid. Telliseid kasutatakse taskukohasuse ja vastupidavuse tõttu, kuid neil on ka märkimisväärne soojuse salvestamise võime. Kui neid kasutatakse temperatuuri vahemikus kuni 1000 °C, võimaldab nende soojussalvestusvõime talletada umbes 0,5–1 MWh/m³ energiat. Tulekindlad tellised laetakse elektriga madala

või negatiivse elektri hinna perioodidel.³⁹

Soojus taastatakse, sundides õhku läbi tellise kanalite. Tulekindlate telliste väljundina saadakse kuum õhk, mida kohandatakse vastavalt vajadusele, kasutades maagaasi soojust või lisades külma õhku. Väljalaske kiirust mõjutab ahju kuuma õhu nõudlus, millega tellised on ühendatud. Salvestusmahu reguleerib võime hoida tundlikku soojust valitud temperatuurivahemikus (minimaalne ja maksimaalne temperatuur). Temperatuurivahemik ja materjal valitakse vastavalt tööstusprotsessi vajadustele, kus rohkem tulekindlat tellist suudab salvestada suurema energiahulga. Optimeeritud süsteemide soojuskaod on alla 3% päevas. Lisaks isolatsioonile suunatakse külm õhuvool telliste ümber ja läbi isolatsiooni välimiste osade ning elektrijuhtmete kaudu takistussoojenditeni, et tagasi saada lekkinud soojus. Selline dünaamiline isolatsioon aitab taastada suurema osa lekkinud soojusest ja võib põhjustada väga väikseid soojuskadusid, kui tellist kasutatakse igapäevastes tsüklites.⁴⁰

38 D. L. Chandler, This ancient technology could be the answer to one of renewable energy's biggest problems. – World Economic Forum, 2017, <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/this-ancient-technology-could-be-the-answer-to-one-of-renewable-energys-biggest-problems> (vaadatud 24. VIII 2023).

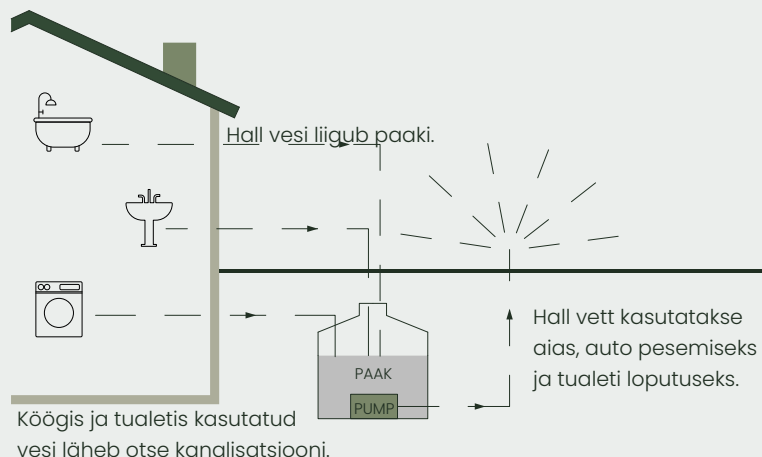
39 C. W. Forsberg, D. C. Stack, D. Curtis, Converting excess low-price electricity into high-temperature stored heat for industry and high-value electricity production.

40 C. W. Forsberg, D. C. Stack, D. Curtis, Converting excess low-price electricity into high-temperature stored heat for industry and high-value electricity production.

1.5. HALLVEE FILTREERIMINE JA KASUTUSOTSTARVE

1.5.1. Töötamissüsteem

Hallvesi on taaskasutatav "hall" või "kergelt saastunud" vesi, mis tekib igapäevaste inimtegevuste tagajärjel, näiteks nõude pesemine, riiete pesemine ja isiklik hügieen. See on esialgu puhas vesi, mis muutub "hallveeks" pärast kasutamist. Mustvesi koosneb aga peamiselt WC-poti vee loputamisel kasutatavast veest ja sellega kaasnevatest keha jäätmetest.



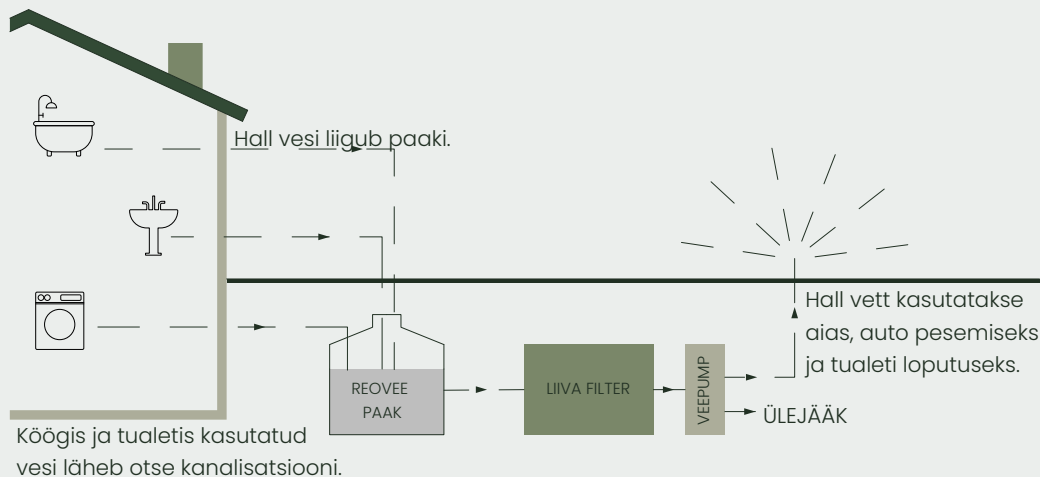
Joonis 3. Lihtsustatud hallvee kasutuse süsteem.

Majapidamistes saab kasutada hallvett peamiselt taimede kastmiseks, filtreeritult pesta pesu ja kasutada wc-poti veena. Hallvee joomine on keelatud.

Hallvee käitlemise süsteemi komponendid:

1. suunajad – need komponendid ühendatakse veetorudega, et juhtida reovett sisesüsteemidest hallvee käitlemise süsteemi;
2. ülevool – aitab vältida hallvee süsteemi ülekoormust, suunates ülejäägi kanalisatsioonisüsteemi;
3. filter – filter võimaldab lisada seebi, toiduosakesi, mustust, liiva, prügi ja muid suuremaid saasteaineid, et puhastada halli vett;
4. jaotus – jaotussüsteem suunab hallvee kasutamiseks tualetti, niisutussüsteemi, tilkniiisutust või maa-aluseid niisutuskraave haljastuse jaoks jne;
5. ülepinge paak – ajutine mahuti, mis hoiustab vett seni, kuni seda vaja läheb;
6. pump – kasutatakse hallvee surumiseks läbi jaotusvõrgu, kuigi mõned süsteemid sõltuvad ainult raskusjõust;
7. töötlemine – filtreerib hallvee edasiseks puhastamiseks, eemaldades kõik allesjäänud saasteained ja muutes selle sobivaks niisutamiseks.⁴¹

41 Grey Water: What It Is, What to Avoid & More. – Ecolife, 2022, <https://ecolife.com/dictionary/grey-water/> (vaadatud 24. VIII 2023).



Joonis 4. Täiustatud hallvee puhastus.

Hallvee puhastusel on ka erinevaid filtreerimise meetodeid. Näiteks, kui hallvett ei töödelda, nimetatakse seda otsese kasutusega tehnoloogiaks (joonis 3). Tingimus on see, et antud hallvett peab kiiresti tarbima. Vees olevad bakterid toituvad mistahes orgaanilisest aineist (nt nahaosakesed, juuksed ja pesuvahendid) ja paljunevad väga kiiresti. Kui bakterid on kogu hapniku ära kasutanud, hakkavad nad haisema ja need anaeroobsed bakterid võivad sisaldada inimesele kahjulikke patogeene. Antud lahendus on kõige lihtsam, kus otse vannist või kraanikausist sifoonida või väliste heitvee torude kaudu juhtida vett veemahutisse, nii et

seda saab kasutada vastavalt vajadusele taimede kastmiseks.⁴²

Bioloogilise süsteemid puhul, mis ei sisalda toidujäätmeid, saab esialgse filtreerimise lihtsalt saavutada liivafiltriga, mis eemaldab kõik suured osakesed (joonis 4). Hallvesi siseneb liivafiltri ülaossa ja liigub raskusjõu mõjul läbi liiva allapoole, kusjuures liiv eemaldab kõik suured osakesed. Kui hallvesi on eelnevalt töödeldud (eemaldatud toidujäätmeid), saab seda filtreerida väga lihtsa mullakasti abil, mis koosneb neljast materjalikihist. Vesi pumbatakse esialgu mullakasti ülaosas, kus see liigub gravitatsiooni abil alla läbi 4 tasandi. Pealmine kiht on ligikaudu 2 jalga sügav huumusrikas pealismuld, mis asetseb väga peene ehitusliiva peenral, mis omakorda asetseb liivakihil. Lõpuks on põhjas peenliiva kiht, et saavutada drenaaž. Suurem osa filtreerimisest toimub pinnase pealmises kihis, kus mullaorganismid toituvad ja paljunevad mullas leiduvate toitainete abil, sisuliselt puhastades seda.⁴³

Märgala puhul hoitakse vesi pinnalähedasel tasemel, võimaldades veetaimedel õitseda, näiteks

42 Greywater Recycling. – The GreenAge, 2023, <https://www.thegreenage.co.uk/tech/greywater-recycling/> (vaadatud 24. VIII 2023).

43 Greywater Recycling. – The GreenAge.

pilliroog ja põõsad jms. Maa-aluseid märgalasid peetakse paremaks hallvee puhastuseks, kuna see vähendab haisu väljapääsu, külma ilmaga on külmumise tõenäosus väiksem ja inimestega kokkupuutumine on väiksem, mis on potentsiaalselt ohtlik. Hallvett töötlevad nii aeroobsed kui anaeroobsed bakterid. Lisaks imavad taimede juured lahustunud orgaanilisi aineid, aidates protsessi kiirendada.⁴⁴

Hallvett, mis sisaldab toidujääke, tuleb töödelda anaeroobselt, kasutades septikut [septiku tööpõhimõtte – orgaaniline aine laguneb anaeroobsete (ei vaja hapniku) bakterite toimeil]. Septiku teisest otsast väljuvat vett saab seejärel töödelda mullakasti filtriga või kasutades märgalasid, nagu eespool mainitud.⁴⁵

Viimaseks meetodiks oleks mehaaniline puhasti, näiteks WC-poti kasutamiseks. Ecoplay on üks paljudest ettevõtetest, kes on tootnud halliveepumba, mis pumpab vett eemale erinevatest hallivee allikatest, sealhulgas pesumasinast, duššidest ja kraanikaussidest.⁴⁶ Kui vesi siseneb pumba seadmesse, saab see seejärel pumbata

vett vertikaalselt soovitud kohta. Seejärel töödeldakse vett hoiupaagis (tavaliselt keemiliselt kloori lisamisega), enne kui see suunatakse tualeti või pesumasinasse.⁴⁷

Hallvett saab töödelda ka kallimate mehaaniliste filtritega, näiteks membraane kasutavate mikrofiltreerimissüsteemidega.

44 Greywater Recycling. – The GreenAge.

45 Greywater Recycling. – The GreenAge.

46 The Ecoplay System. – yumpu, <https://www.yumpu.com/en/document/view/3432192/the-ecoplay-system> (vaadatud 24. VIII 2023).

47

Greywater Recycling. – The GreenAge.

1.6. REOVESI

1.6.1. Imb- ja filterväljak

Imb- ja filterväljak rajatakse hoonel siis, kui puudub võimalus liituda ühiskanalisatsiooniga, et reoveest vabaneda. Imbväljak on osa reoveepuhastussüsteemist, mis rajatakse septiku lähedale ning sellesse suunatakse septikust väljuv heitvesi. Imbväljakus läbib heitvesi kruusa või killustiku ning selle all paikneva mulla- või liivakihi (joonis 5). Mikroorganismid, mis paiknevad poorses pinnases, lagundavad heitvees olevad orgaanilised ained veeks ja süsinikdioksiidiks. Ideaalis peaks olema imbväljak septikust madalamal, sest vastasel juhul peab lisama ülevoolu pumba, mis muudab hinna kallimaks.⁴⁸

Hange.ee sisestatud tööde põhjal tehti keskmine arvutus imbväljaku rajamise kogumaksumuseks. Minimaalne hind oli 1500 eurot, keskmine 2108 eurot ning maksimaalne maksumus on 3065 eurot. Imbväljaku paigaldamise kulu on esialgu küll kallim, kuid hoolduskulud on selle võrra soodsamad.⁴⁹

48 Kui palju maksab imbväljaku rajamine? – Hange, 2021, <https://www.hange.ee/blogi/kui-palju-maksab-imbvaljaku-rajamine/> (vaadatud 24. VIII 2023).

49 Kui palju maksab imbväljaku rajamine? – Hange.

Millest tuleneb imbväljaku hind:

- seadmete ja materjali transport;
- kaevetööd;
- torustik – ühendustoru, imbtoru/immunustunnel, tuulutustoru paigaldamine ja ühendamine;
- abimaterjalid – geotekstiil/filterkangas;
- täitematerjalid – killustik, kruus.

Millega tuleb arvestada asukohta valides:

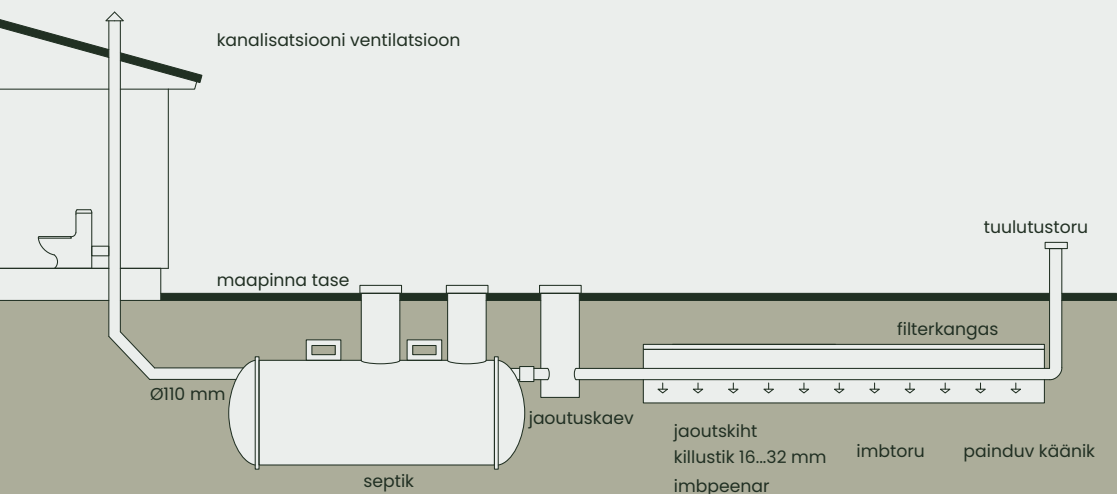
- pinnase liik;
- põhjavee paigutamine;
- kõrguste vahed;
- paepinna lähedus ja selle pinnavormid;
- vahemaa veekoguni või krundi piirini.⁵⁰

Süsteem koosneb septikust, jaotuskaevust ja heitvee imbväljakust. Imbväljak peaks olema vett läbilaskval liiva- või kruusapinnasel. Filtersüsteemi peaks kasutama

50 Imb-ja filterväljakute rajamine. – Heidomer, 2023, <https://heidomer.ee/imb-ja-filtervaljakute-rajamine/> (vaadatud 24. VIII 2023).

kui pinnases on savi või liiga tihe moreen. Oluline on õhutus, mis garanteerib õhu liikuvuse terves süsteemis.⁵¹

Filter (joonis 6) tuleks lisada imbväljakule kui pinnas on liiga peene struktuuriga, et ei lase vett läbi või on vastupidi liiga jämeda struktuuriga, et ei puhasta korralikult vett enne põhjavette jõudmist. Minimaalne septiku maht peaks olema 500 liitrit elaniku kohta, vastasel juhul täitub septik liiga kiiresti settega ja töö efektiivsus langeb.⁵²

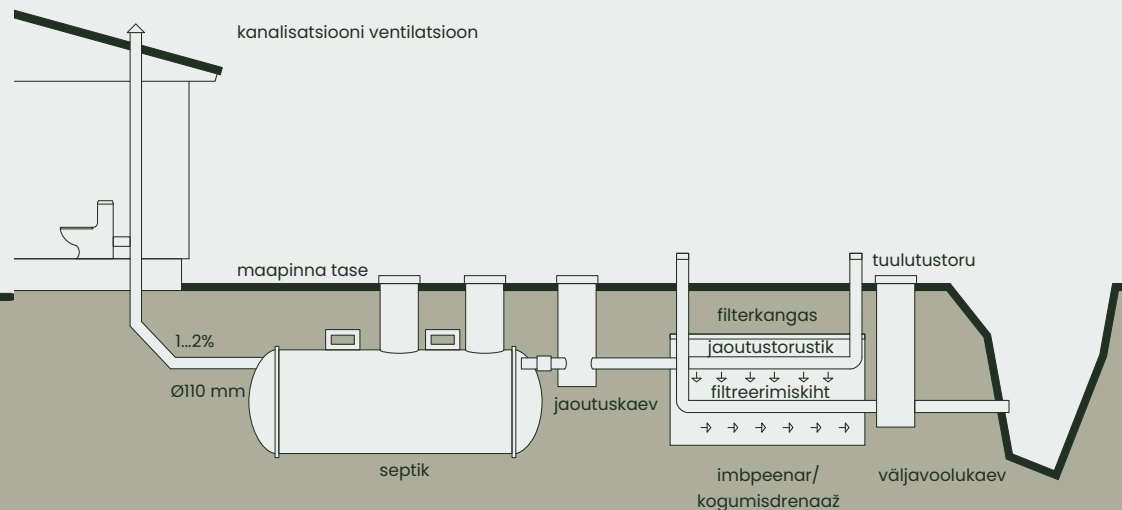


Joonis 5. Imbväljak.

⁵¹ Imb-ja filterväljakute rajamine. – Heidomer.

⁵² Strong septik koos imbväljaku komplektiga kuni 6-le inimesele, mahutavusega 3000 l. – Kanalisatsioon.ee, <https://kanalisatsioon.ee/toode/septik-strong-imbvaljak-3m3/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Taoline lahendus on mõistlik just üksiklamu puhul, kus hallvett ei teki nii palju, et seda näiteks kütte peale ära kasutada. Ühiskondliku hoone puhul on mõistlik kasutada reovett kütte osana.⁵³



Joonis 6. Filterväljak.

⁵³ Strong septik koos imbväljaku komplektiga kuni 6-le inimesele, mahutavusega 3000 l. – Kanalisatsioon.ee.

1.7. VIHMAVEE KOGUMINE JA KASUTUSOTSTARVE

Vihm on peamine allikas jõgedele, järvedele, põhjaveele. Vihmavett on kogutud aastatuhandeid. Kõige põhilisemad kasutusviisid on põllumajanduseks ja joogiveeks. Kõige lihtsam ja populaarne viis vihmavee kogumiseks on just katuse kaudu. Kui vihm jõuab maapinnale, siis see ei ole enam vihmavesi, vaid sademevesi (inglise k. *stormwater*).⁵⁴

Olulised terminid erinevate veetüüpide kohta:

1. atmosfääri vesi (inglise k. *atmospheric water*) – vihm ja udu;
2. sinine vesi (inglise k. *blue water*) – vesi jõgedest, järvedest, põhjavesi;
3. roheline vesi (inglise k. *green water*) – pinnase niiskus;
4. must vesi (inglise k. *black water*) – vesi vetsupotist, köögi kraanikausist;
5. sadevesi (inglise k. *stormwater*) – vihmavesi,

mis on kokku puutunud pinnasega;

6. reovesi (inglise k. *graywater*) – vesi, mis tuleb pesupesemisest, vannist, dušist, kraanist;
7. vahelduv vesi (inglise k. *alternate water*) – vesi, mida on kasutatud seadmete poolt;
8. taaskasutatud vesi (inglise k. *reclaim water*) – vesi, mis on läbinud kanalisatsiooni puhastus protsessi, mis on filtreeritud.⁵⁵

1.7.1. Vihmavee kogumine katuse kaudu

Katuse kaudu vihmavee kogumisel on mitmeid eeliseid, näiteks tagab kasutajale lähedal asuva iseseisva veevarustuse ja vähendab põhjavee pumpamise vajadust ja sellega kaasnevaid kulusid. Katuse kadu saab koguda kõrge kvaliteediga pehmet vett mineraalidega ja on odavam kui teised kogumisviisid. Neid on lihtsam ehitada, säilitada ja hooldada ning on kasulik kui elukoha lähedal on vähene võimalus mageveele. Samuti ei sõltuta ise kogudes omavalitsuse veesüsteemidest.

Me saame oma vee jalajälge alandada kui meie esimesed valikud ei ole magevesi (inglise k. *freshwater*)

⁵⁴ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse. Gabriola Island: New Society Publishers, 2007, lk 10.

⁵⁵ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 10.

või sinine vesi (inglise k. blue water).⁵⁶

1.7.2. Katuse kaudu kogumise süsteem

Katuse kaudu vihmavee kogumise hulka mõjutab katuse pindala, katuse kalle, katuse materjal, pinna tekstuursus, asukoht. Madalama kaldega katused püüavad rohkem vett kui järsema kaldega katused. Siledama kattega katused hõlbustavad äravoolu paremini kui tekstuursed katused. Vihmavee kogumise süsteem nõuab pidevat hooldust.⁵⁷

Vihmavee kogumise süsteem katuse kaudu koosneb põhiliselt kuuest komponendist:

- Puutepind – pind, millele vihma sajab. See võib olla katus, sillutis, seotud maapinnaga.
- Edastamine – kanalid või torud, mis transpordivad vett puutepinnalt veehoidlasse.
- Filtreerimine – süsteemid, mis filtreerivad ja eemaldavad saasteained ja prahi. Need sisaldavad esimese loputuse seadmeid.
- Hoiustamine – tsisternid või mahutid, kus hoitakse

⁵⁶ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 15.

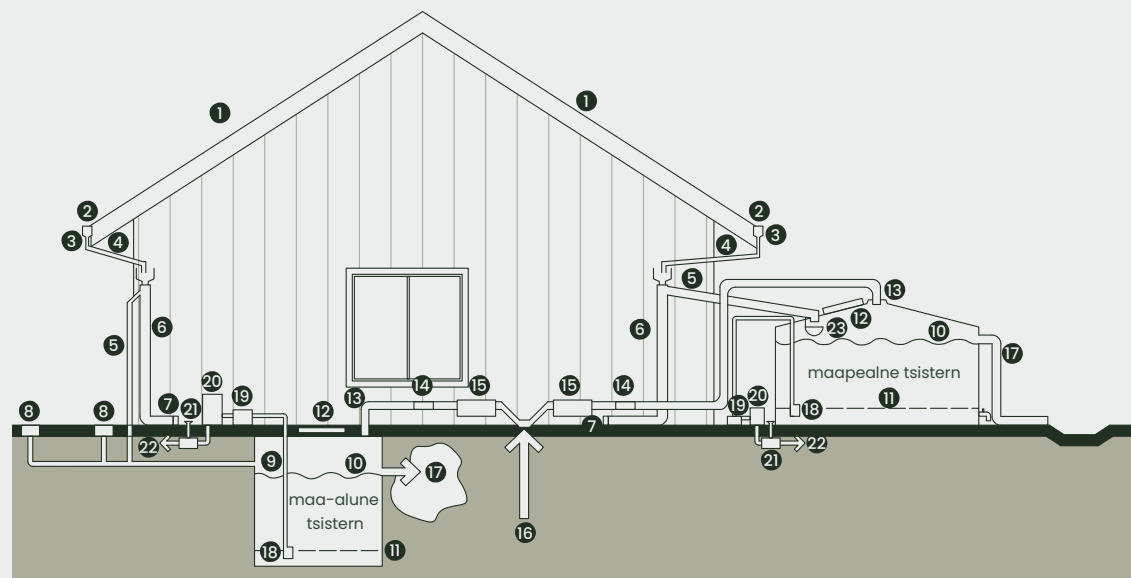
⁵⁷ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 16.

vihmavett

- Jaotamine – seade, mis edastab vihmavee kas gravitatsiooni või pumba abil

- Puhastamine – sisaldab filtreerimisseadmeid, destillatsiooni ja lisandeid settimiseks, filtreerimiseks ja desinfitseerimiseks.

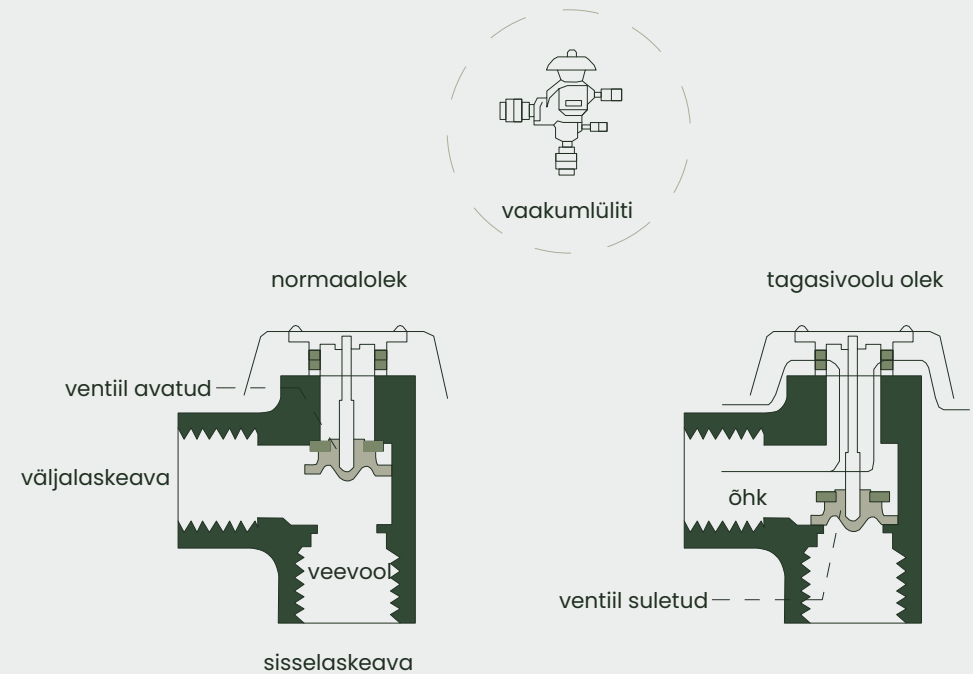
Veepuhastussüsteemi moodustavad erinevad seadmed, mis on vajalikud vee puhastamiseks (joonis 7).



Joonis 7. Veepuhastus süsteemi moodustavad seadmed.

Joonise seletus:

1. Puutepind katusel
2. Lehevarjuga renn, kui hoone külgneb puudega
3. Vihmaveerennid, suurus olenevalt keskmisest sademete hulgast
4. Allavoolutoru
5. Toru tsisterni
6. Prahi ja setete püüdja
7. Puhastamiseks eemaldatav luuk
8. Kogumismahuti sillutatud pinnavee kogumiseks koos sette püüduriga
9. Vihmavee sisselaskeava
10. Tsistern/mahuti, maksimaalne veetase 30 cm ülemisest servast allapoole
11. Maastiku kastmispumpade käivitamise säilitamiseks minimaalne veetase 30 cm
12. Ligipääs puhastamiseks
13. Alternatiivne mahuti, manuaalne täitmine, kasutusel näiteks põua puhul kui tekib lisavee vakadus.
14. Klapp
15. Vaakumlüliti (vt joonis 8)



Joonis 8. Vaakumlüliti.

16. *Alternatiivne vee ressurss*
17. *Mahuti ülevool – imbkaev*
18. *Maastiku niisutus filter*
19. *Settefilter*
20. *Maastiku niisutuse pump*
21. *Klapp*
22. *Kastmispumpade veevarustusliin*
23. *Lehe ja prahi eemaldus filter*
24. *Voolik mahuti tühjendamiseks*⁵⁸

Esmase puhastamise süsteemi seadmeid peaks puhastama peale igat vihmasadu. Vihmaveetorud peaksid olema alati puhtad lehtedest ja prahist, et see ei blokeeriks vee liikumist.⁵⁹

1.7.3. Puutepind (*inglise k. catchment area*)

Määratud pindala, tavaliselt katusepind, kuhu vihmavesi koguneb ja hiljem kogutakse. Kui kogutud vett ei kavandata joogivee tarbeks kasutada, ei ole katusematerjali piirangutel piiranguid. Ent joogivee tarbeks sobivad plekk-, savi- ja betoonkatused, samas kui tuleks vältida katusematerjale nagu tsink, plii, vask,

eterniit või asfalt. Vihmavesi on kergelt happeline, mis tähendab, et see lahustab ja kannab mineraale mis tahes kogumisalalt segamissüsteemi. Kui süsteem on mõeldud joogivee kogumiseks, tuleks enne kogutud vee kasutamist kavandatud kogumisalalt esmalt testida selle koostist, et määrata sisaldus ja otsustada, millised ained tuleb filtreerimissüsteemi abil eemaldada või kas kogumisala tuleb muuta.⁶⁰

1.7.4. Edastamine

Tavaline süsteem koosneb rennidest ja allavoolu torudest, mis juhivad vihmavett katusepinnast mahutisse. Torud peaksid omama ruudu, ristküliku või poolringja profiili ning nende ülemine osa peaks olema kõrgem kui räästas, varustatud pritsme- ja lehekaitsmetega. Torud võivad olla valmistatud materjalidest nagu alumiinium, vask või roostevaba teras. Torud vajavad regulaarset puhastamist, et tagada nende pikem kasutusiga. Puhastel torudel on sujuvam vihmavee liikumine ja need kuivavad kiiremini.⁶¹

⁵⁸ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 32.

⁵⁹ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 32.

⁶⁰ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 32.

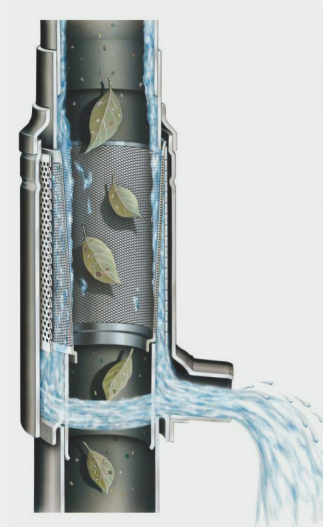
⁶¹ H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 18–20.

1.7.5. Filtreerimine

Katusepinnad koguvad endale suurel määral prügi, lehti, saasteaineid ja muda. Kui vihmavesi puutub kokku katusega, haarab see endaga kaasa kogu selle saastuse. Esmane filtreerimine hõlmab esmaste suurte saasteainete eemaldamist ja esmast loputamist (pilt 1). Ilma selleta ei oleks võimalik vihmavett kasutada joogiveena.⁶²

Esmane puhastus on vajalik selleks, et:

- vähendada mahuti puhastamise tihedust;
- vähendada bakterite sissevoolu, mis tuleb prahiga kaasa;
- vähendada toitainete sisaldust mahutites, mis välistab putukate, eriti sääskede, vastsete kasvu;
- vähendada orgaanilist koormust (lahustunud ja tahked orgaanilised ained), mis omakorda vähendab anaeroobsete tingimuste (elamiseks hapnikku mittevajav) ja lõhna tekkimise võimalust mahutis.⁶³



Pilt 1. Vihmavee torusisene esmane filter.

1.7.6. Hoiustamine

Enamus komponente vihmavesüsteemide rajamiseks on juba nõ hoone projektis olemas (katus, vihmaveerennid ja -torud). Mahutid ja tsisternid on kõige suurem lisakulu vihmavee kogumissüsteemi rajamiseks.

Mahutid võib jagada kolme kategooriasse. Esimesed neist on maapinna lähedal asuvad mahutid, mis nõuavad rohkem ruumi, võivad olla kulukamad ja on välismõjudele kiiremini kahjustatavad. Teised on maa-alused mahutid, mis on üldiselt ökonoomsema hinnaklassiga, vajavad minimaalselt või üldse mitte ruumi ning toetuvad maa-alusele struktuurile, seega nõuavad õhukesi seinu. Nende kasutamiseks on vajalik

62 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 18–20.

63 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 18–20.

pump, kuid lekete tuvastamine võib olla keerulisem. Kolmandaks variandiks on hoonetesse integreeritud mahutid, mis peavad olema täielikult veekindlad kõigilt külgedelt. Tavaliselt on need valmistatud kivist, terasest, betoonist, ferrotsemendist, plastikust või klaaskiust.⁶⁴

Mahuti kate on hädavajalik, et vältida vee aurustumist, takistada sääskede levikut ning hoida eemal putukaid, kahepaikseid ja linde. Päikesevalgus ei tohi mahutisse jõuda, et ära hoida vetikate kasvu. Mõnel juhul on mahutitesse lisatud settetekambriid. Mahutid peavad hõlmama ka vee äravoolusüsteemi, mis juhib liigse vee maapinnale. Mahutis peab olema õhuvahemik, mis tähendab, et mahuti ei tohi täituda vee ääreni.⁶⁵

1.7.7. Jaotamine

Hoiustatud vihmavesi liigub edasi kas gravitatsioonijõu toime või pumba abil. Kui mahuti on paigaldatud künka või hoone kõrgemal asuvale pinnasele, saab kasutada gravitatsiooni. Pumpa kasutatakse siis, kui vett tuleb kätte saada maapinnal

või maa-aluses mahutis.⁶⁶

Koheselt pärast vihmajärgu lõppu ei ole mõistlik mahutist vett hoonesse pumbata, kuna sel hetkel ei ole sete veel jõudnud mahuti põhja. Kui vesi suunatakse maastiku niisutamiseks, siis täiendavaid puhastusfiltreid tavaliselt ei ole vaja, kuid nende kasutamist siiski soovitatakse.⁶⁷

1.7.8. Puhastamine

Kui vihmavett kasutatakse joogivee tarbeks, siis mahutist välja pumbatud vesi liigub puhastus süsteemi ja sealt edasi vajalikesse sihtpunktidesse. Puhastus süsteem hõlmab filtreid, desinfitseerimist ning pH taseme mõõtmist (joonis 9). Vett saab desinfitseerida keetmisel või destilleerimisega. On olemas ka keemilised meetodid vee steriliseerimiseks või kasutada ultravioletne valgust vee desinfitseerimiseks.⁶⁸

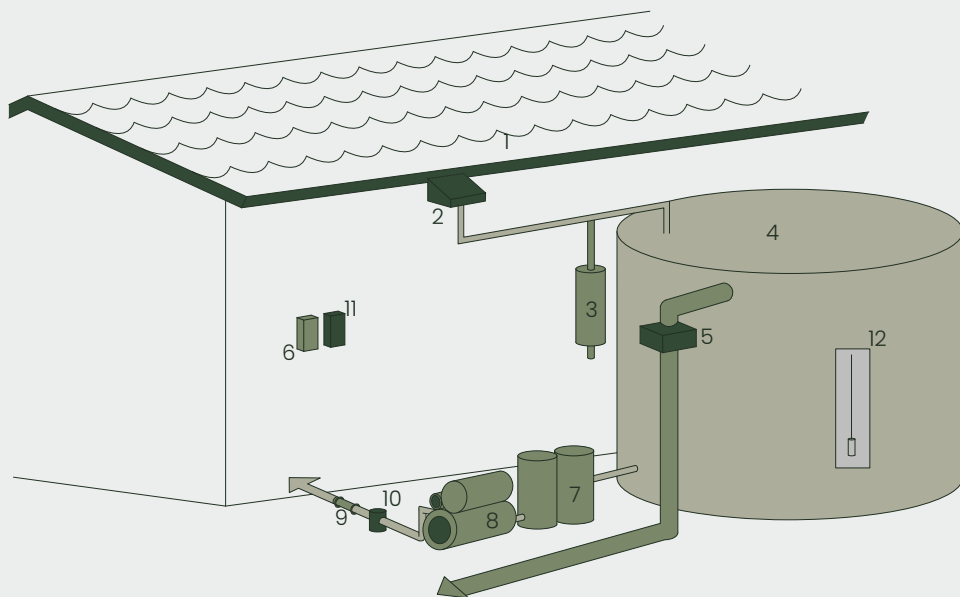
64 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 29–30.

65 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 29–30.

66 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 29–30.

67 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 29–30.

68 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 30–32.



Joonis 9. Veekogumis ja filtreerimissüsteem.

Joonise seletus:

1. Katusepind ja katusekraavid vihmavee kogumiseks ja selle suunamiseks kogumissüsteemi.
2. Sisselaskefilter - sõelafilter suurema prahi kogumiseks.
3. Esmahooldus jaotur - jaotur, mis eemaldab vihmavee algsest voolust prahi, mida sisselaskefilter ei ole kinni pidanud.
4. Kogumispaak - sobivast polüestervaigust materjalist valmistatud mahutid, mis on rohelist värvi ja aitab vähendada bakterite kasvu.
5. Ülevool - tühjendusava, mis võimaldab ülevoolu, kui mahuti saab täis.
6. Kontrollid - juhtimissüsteem, mis jälgib veetaset ja filtreerimissüsteemi

7. Töötlemissüsteem - filtreerimis- ja desinfitseerimissüsteem, mis töötleb vett vastavalt joogivee standarditele. Vesi pumbatakse läbi filtrite/membraanide, mis peavad eemaldama vähemalt 99% osakestest, mille läbimõõt on 3,0 mikronit või rohkem. Mõnikord saavutatakse see etappide kaupa, filtrid on paigutatud järjestikku. Desinfitseerimissüsteemid võivad olla osooni, kloorimise ja ultraviolettkiirguse (UV) kombinatsioon.

8. Pump - liigutab vett läbi süsteemi sinna, kus seda kasutatakse.

9. Tagasivoolu tõrje - tagasivoolu tõkkeid, mis tagavad, et vesi ei saa negatiivse rõhu all voolata läbi süsteemi tagasi reservvee süsteemi.

10. Vooluhulga mõõtja - (koos andmelogeriga), et mõõta vee toodangut.

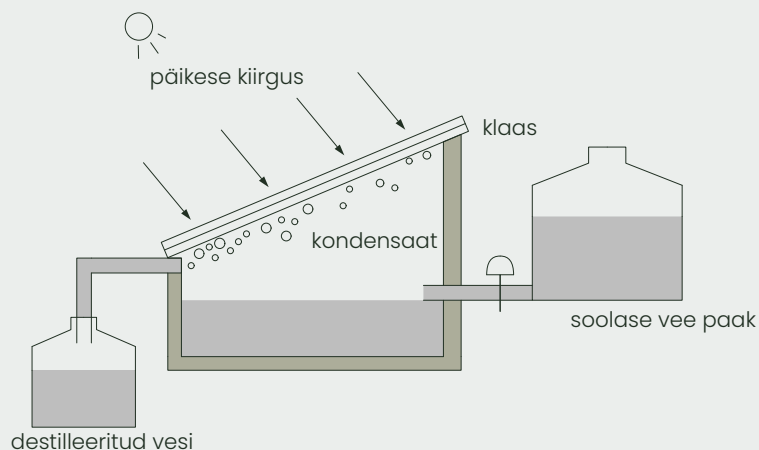
11. Toiteallikas - süsteemid võivad kasutada kas tavalisi energiaallikaid või - võrguvälise võimekuse parandamiseks - alternatiivseid energiaallikaid, näiteks autonoomseid või võrku ühendatud päikesesüsteeme.

12. Veetaseme indikaator - jälgib veetaset mahutis.⁶⁹

Üheks variandiks on ka päikeseenergial vett destilleerida (vt. joonis 10.), mis on energiatõhusam. Vihmavesi aurustub ehk tõuseb klaasi alumisele pinnale ning liigub edasi puhtasse väiksemasse mahutisse.⁷⁰

69 Water-Efficient Technology Opportunity: Rainwater Harvesting Systems. – Energy.gov, 2023, <https://www.energy.gov/femp/water-efficient-technology-opportunity-rainwater-harvesting-systems> (vaadatud 24. VIII 2023).

70 H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse, lk 30–32.



Joonis 10. Päikeseenergiat töötav veepuhasti.

1.7.9. Kasutamine

Inimene vajab eluks vett, eelistatavalt magevett, mis pärineb põhjaveekihtidest ja pinnaveekogudest. Üks alternatiivne lähenemine vee tarbimisele on vihmavee kogumine. Vihmavee kasutamine võib sõltuvalt süsteemist erineda, hõlmates näiteks maastiku kastmist, tualettruumide loputamist ja täiendava filtreerimise abil joogivee saamist. Kui vihmavett kavandatakse kasutada joogiveena, on oluline regulaarselt teha veekvaliteedi teste ja jälgida selle puhtust.

Kalkulaator vihmavee koguse ja mahuti suuruse arvutamiseks: <https://www.watertankfactory.com.au/water-catchment-calculator/>

1.8. ISEMAJANDAVA HOONE TEHNILINE VARUSTUS

1.8.1. Isemajandava hoone definitsioon

Isemajandav ehk võrguväline (inglise keeles “off-grid”) hoone viitab olukorrale, kus hoone ei ole ühendatud üldiste vee-, elektri-, gaasi- ja õlivõrkudega ning ei kasuta ettevõtete pakutavaid energiasüsteeme. Sellisel juhul saab hoone oma energia ja ressursid, näiteks tuulest, päikesest või vihmast ning ei sõltu kesketest võrgu süsteemidest. Näiteks kui majas kasutatakse vihmavett kogumiseks, nimetatakse seda isemajandavaks veeks, või kui elektrienergiat toodetakse tuuleturbiinide abil, siis seda tuntakse kui isemajandavat elektrit. Isemajandava hoone üheks peamiseks väljakutseks on algne investeeringu suurus, kuigi pikemas perspektiivis võivad sellised süsteemid olla kulutõhusamad.⁷¹

1.8.2. Miks isemajandava hoone süsteem ja millal on see kasulik?

Kui püsiva elukohaga võrguühenduse ehitamise maksumus jääb vahemikku 10 000–15 000 eurot, arvestades hilisemaid võrguvälise (inglise k. *off-grid*)

lahendusega seotud kulusid, võib mõistlik olla kasutada hübriid lahendust ehk ühendades end ühisvõrku, kuid samal ajal tootes ka võrguvälis elektrit. Aga kui võrguühenduse ehitamine nõuab rohkem kui 15 000 eurot, võib kaaluda võrguvälis (inglise k. *off-grid*) lahendust.⁷²

1.8.3. Mikro-energiaväli ja jaotatud energiaväli

Mikrovõrk – isoleeritud energiavõrk, kus kogukonna elektri tootmine toimub kohalike ressursside, nagu päikese, tuule, maasoojuse ja hüdroenergia, abil. See on sageli levinud saartel.⁷³

Jaotatud energia (hajutatud energia) – hooned kasutavad ühiseid energiavõrke, millele on lisatud päikesepaneelid katustele. See võimaldab hoonetel enda toodetud elektrienergiat kasutada valgustuse jaoks juhul, kui tekib elektrikatkestus.⁷⁴

72 Kas kallis elektrivõrgu liitumistasu või võrguühenduseta lahendus? – Eesti Päikesevägi, <https://paikesevagi.ee/kas-kallis-elektrivorgu-liitumistasu-voi-vorguuhenduseta-lahendus/> (vaadatud 24. VIII 2023).

73 J. Green, Good energy: renewable power and the design of everyday life. New York: Princeton Architectural Press, 2021, lk 28.

74 J. Green, Good energy: renewable power and the design of everyday life, lk 28.

1.8.4. Kodumajade mastaabiga mikro-generaatorid

Mikrotootmine võib olla iseseisev või ühendatud vooluvõrguga. Iseseisvas süsteemis on vaja energiasalvestust, näiteks akusid. Tõhusaim viis toodetud energia kasutamiseks on sama pinge kasutamine, vältides inverteri maksumust ja energiakadusid, mis tekivad kõrgema pinge teisendamisel. Näiteks päikesepaneelide toodetud energia on alalisvool, kuid enamik kodumasinaid töötab vahelduvvoolul, seega tuleb valida seadmeid, mis sobivad alalisvooluga.⁷⁵

Mikrotootmiseks kasutatavad meetodid hõlmavad päikesepaneele, väikeseid tuulegeneraatoreid, mikrohüdro generaatoreid ja kombineeritud kütte- ja elektrisüsteeme. Mikrotootmise peamine eelis on energia tootmine tarbimiskohas, vältides energiaülekande kadusid elektrijaamadest võrgustikku. See suurendab ka energia turvalisust ja teadlikkust tarbimisharjumustest, mis võivad viia tõhusamaks energia kasutamiseks.⁷⁶

Energia tootmiseks kasutatavate seadmete

75 N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home, lk 105.

76 N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home, lk 105.

energiakulud tootmisel, transportimisel ja paigaldamisel moodustavad nende koguenergia tasuvusaja. See tähendab, et pärast teatud aega on toodetud rohkem energiat kui kulutatud seadmete valmistamisele, turustamisele ja paigaldamisele. Keskkonna seisukohalt on oluline arvestada ka seadmete kogu energiat nende eeldatava eluea jooksul ning kaaluda muid keskkonnamõjusid, näiteks saaste ja vee kasutamist tootmisprotsessis.⁷⁷

1.8.5. Mikro-võrguühendus

Päikesepaneelid toodavad peamiselt päeva ajal elektrit, samal ajal kui nõudlus sageli on madalam. Seetõttu on vajalik jätkuvalt kasutada võrgust saadavat elektrit. Kui kinnisvara ei ole ühendatud võrguga või kui päikesepaneeli süsteem on mõeldud peamiselt madalpinge seadmete käitamiseks, on mõistlik ühendada see võrguga. Liigset elektrit, mida koheselt ei kasutata, saab võrku tagasi müüa. Ajal, mil päikesepaneelid ei tooda elektrit, tuleb elekter importida ja selle eest tasuda vastavalt tavalistele tingimustele.⁷⁸

77 N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home, lk 105.

78 N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home, lk 109.

1.9. NÄITED ISEMAJANDAVAST HOONESÜSTEEMIST

1.9.1. Autonoomne elektrivarustus eramul Naissaarel

Tallinna Tehnikaülikooli magistritöö raames projekteeris Igor Šramov autonoomse elektrivarustusega eramu Naissaarele (pilt 2-3). Põhiprojekti koostamisel kasutati Eestis kehtivaid standardeid ja norme, tellija lähteülesannet ja eeldatavate elektritarbijate tootelehti. Tellija lähteülesandeks oli välja ehitada koostootmise jaamad, mis lahendaks mõistlikkuse piires elektriprobleemi. Põhienergia saamiseks oli planeeritud diisलगeneraator. Lisaks oli vaja projekteerida päikesepaneelide paigaldis, akupank ja tuulik. Seoses sellega, et inimeste viibimine hoones ei ole pidev, siis generaator ja akupank oli planeeritud paigaldada olemasolevasse kõrvalhoonesse, mis asub pea- ja saunamajast eemal. Sinna oli planeeritud paigaldada ka kontrollid ja inverter (pilt 4-6).⁷⁹

79 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 34.



Pildid 2–3. Maja katusele paigaldatud päikesepaneelid. Autor Igor Šramov.

Kasutatud komponentide koguhind oli kokku 40 620€, mis sisaldab generaatorit (4000€), inverter (2330€), kontroller (3840€), akud (3324€), PV (4800€), tuulik koos kontrolleriga (5700€), tuuliku mast (800€), kaablid (3000€), paigaldus ja häälestus (12 000€). Lõplikule hinnale lisanduvad ka aastased hooldustasud ligi 50€ aastas. Antud süsteemi maksumuse tasuvusaeg hooajalise kasutamises puhul oleks olnud 228 aastat. Kui kogutud energiat tuulikust ja päikesepaneelidest edasi müüa, siis vähenes tasuvusaeg 28 aastani. Tellija elektritarbimisega teostati ka arvutused, kui oleks liitunud jaotusvõrguda, ehk tsentraalse elektriga, mille maksumuste tasuvusaeg oleks olnud 18.4 aastat.⁸⁰

80 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 53–56.



Pildid 4–6. Paigaldatud diisलगeneraator Fogo FDG 12,1 koos lisa mahutiga ja akud. Autor Igor Šramov.

Autor järeltas, et tellija elektritarbimise juures ning esialgseid investeeringuid ja tegevuskulusid arvesse võttes, ulatub tasuvus ca. 30 aastaks. Kui lisada siia akude vahetus (6–8 aasta tagant), siis selgub, et tasuvus ei pruugi olla saavutatud.⁸¹ Väike tarbimine ja liigse toodetud elektrienergia müümise võimaluse puudumine ei luba prognoosida kiiret tasaarveldust.⁸²

81 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 58.

82 I. Šramov, Võrguühenduseta eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 56.

1.9.2. Shishiodoshi maja Prantsusmaal

Teiseks näiteks on Avignon-Clouet arhitektide poolt loodud projekt on noore pere ja nende kolme lapse kodu (pilt 7). See asub Nantes'i lähedal säravas Rezé linnas Le Corbusier'i piirkonnas. See 11 meetri kõrgune hoone on valmistatud puitkarkassist, mis on täielikult ümbritsetud valge PVC-membraaniga. Maja disain järgib kohalikke norme ning sellel on alumiiniumist üle ulatuv struktuur, mis kogub vihmavett. Hoone keskel paiknev jaapani purskkaev aktiveerub väikese vihma korral, täites veekogumis basseini servadeni. See majakujuline struktuur äärelinnas pakub suuri rõdusid, kus elanikud saavad nautida unikaalseid vaateid oma kogukonnale.⁸³

Antud näide demonstreerib, kuidas isemajandava hoone lahendused saavad olla osa ka arhitektuursest väljanägemisest ning anda hoonele isikupära. Maja küljele on ehitatud veel lisaks kahetiivalised tuulegeneraatorid.



Pilt 7. Maja veesüsteem on osa arhitektuurist.

1.9.3. Cape Russell'i puhkekoht Ameerika Ühendriikides

Omanikud palusid arhitektil projekteerida ja ehitada järve äärde paviljoni, mis ei oleks võrguühendusega ning mida saaks kasutada nädalavahetustel. Projekti hulka kuulus ka integreeritud vee taaskasutamise ja päikeseenergia tehnoloogia.⁸⁴

Selleks, et tagada vastupidavus ja lihtne

83 Shishiodoshi House. – Avignon-Clouet Architecture, 2010, <https://architizer.com/projects/shishiodoshi-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

84 Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture, 2009, <https://architizer.com/projects/cape-russell-retreat/> (vaadatud 24. VIII 2023).

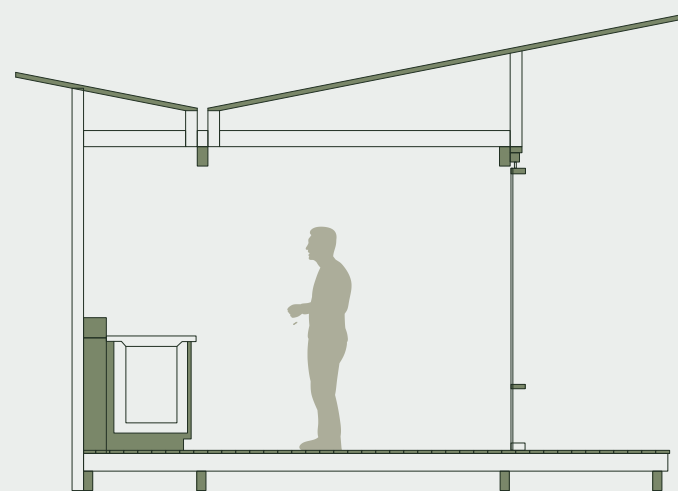
valmistamine, valiti kerge teraskonstruktsioon. Konstruktsioonile lisati kinnitusribad, et võimaldada teise katte kinnitamist. Katte arendamisel sooviti saavutada läbipaistvus koos passiivse jahutusmeetodiga. Selleks loodi tehases valmistatud konstruktsiooniline ekraan, mis koosnes vertikaalsetest seedriplaatidest, mida kaeti putukavõrguga. Vertikaalsete struktuuride vahel olev struktuuriline blokeering lõi õrna mustri, mis aitas hoone sulanduda ümbritseva tiheda metsaga.⁸⁵

Hoone poolt vaadates sulandus seederplaat veega ja muutus ekraani paneelideks, mis võimaldasid vaadet järvele ja mägedele. Üks 8x8 suurune libisev ekraanipaneel võimaldas otsest juurdepääsu veele. Lisaks sellele moodustas seedripaneel katusele liblikakatuse, mis suunas vihmavee kogumisbasseini, mis asus hoone lähedal.⁸⁶

Sisemine söefilter ja ultraviolett valgustus puhastasid vett joogikõlblikuks kasutamiseks. Katusele paigaldatud fotogalvaanilised elemendid tagasid vajaliku energia veepumba, külmutusseadmete, ventilaatorite ja valgustuse toimimiseks, luues tõeliselt

iseseisva ööbimisvõimaluse.⁸⁷

Antud näite puhul on ehitatud katuse pindala vihmavee kogumiseks suurem, kui hoonealune pind, ning see saab toimida ka kui varikatusena (joonis 11). Üldjuhul kahe kaldega katuse puhul tuleb ehitada kahepoolne vihmavee kogumise süsteem, kuid liblikataolise katusekuju puhul koondub vesi keskele, mida saab ühe süsteemi kaudu edasi juhtida.



Joonis 11. Vee kogumine katuse pinnaga.

85 Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture.

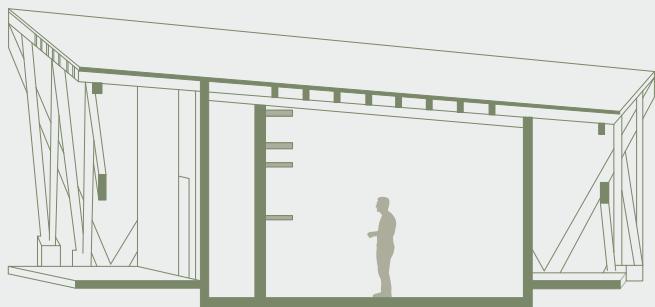
86 Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture.

87 Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture.

1.9.4. OutSide In maja Tšiilis

Outside IN House'i disaini põhimõte seisneb selles, et välimaterjalide elemendid tuuakse siseruumidesse. Need materjalid kannavad endas rahvapärase vormi ambivalentset tähendust. Ühelt poolt annavad hoonele funktsionaalsuse ja koduse atmosfääri. Nutikas kodu kasutab passiivseid päikeseelemente, mis koguvad, salvestavad ja jaotavad päikeseenergiat päevase soojuse, jahutuse ja valgustuse jaoks (joonis 12).⁸⁸

TROMBE kivimüür asetatakse päikese ette ning see on valmistatud materjalist, mis suudab toimida soojamassina. Katus tegutseb tuulepurjena, suunates õhuvoolu ühes suunas ja kogudes vihmavett.⁸⁹



Joonis 12. Vee kogumise hulga suurendamine pikendatud räästaga.

88 OutSide In House. – STUDIO-FV, 2010, <https://architizer.com/projects/outsidein-house-1/> (vaadatud 24. VIII 2023).

89 OutSide In House. – STUDIO-FV.

1.9.5. Vee äravool disainilise elemendina

Vee äravoolu katuse pinnalt juhitakse ära tavaliselt läbi vihmaveerennide. Kuid tegelikult on vaja vihamveel vaid suunavat vertikaalselt elementi mille najal maha voolata. Näiteks saab kasutada suuri kette, mis toimivad kui praktiliste vihmaveetorudena, kuid samas annavad hoonele ka omapärase esteetilise ilmingu (pilt 8).



Pilt 8. Vee juhtimine kettidega.

2. TEHNOLOOGILISED LAHENDUSED (vastavalt meie tehtud arvutustele)

2.1. VEE TARBIMISE ANALÜÜS

Sademetes hulk, mida nimetatakse ka sademevee kihi paksuseks, mõõdetakse tavaliselt millimeetrites, eeldades, et see ei ole imendunud pinnasesse. Eestis kasutatakse sademete hulga käsitsi mõõtmiseks sademetemõõtjat O-1 (Tretjakov) (pilt 9).⁹⁰



Pilt 9. Sademeandmete uurimis seade.

⁹⁰ Mõõtmised maapinnal. – Keskkonnaagentuur, <https://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/mootetehnika/mootmised-maapinnal/sademed/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Pildi seletus. Sademeandmete uurimis seade koosneb:

- Sademete nõu püügipind 200 cm²;
- Sademete nõu alus;
- Sademetemõõtja tuulekaitse;
- Mõõteklaas CO-200.

Aastal 2021 kasutati Eestis üldiselt umbes 1 miljard kuupmeetrit vett, millest 67% moodustas elektrijaamade jahutusvesi. Vee tarbimine on suurenenud peamiselt tänu elektrijaamadele, kuna jahutusvee hulk sõltub elektritootmise mahust.⁹¹

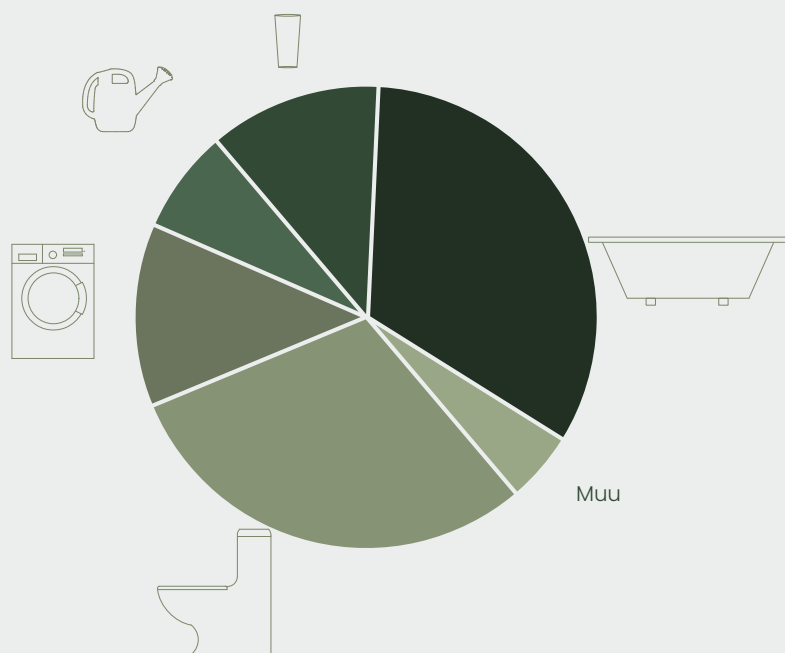
2.1.1. Inimeste vee tarbimise harjumused ööpäevaringselt

Tallinna vee andmete kohaselt tarbis keskmine Tallinna elanik 2021. aastal päevas keskmiselt 98,6 liitrit vett. Keskmise Tallinna ja Harjumaa elaniku aastane olmevee tarbimine oli 35 989 liitrit, mida kasutatakse joogiveena, toiduvalmistamiseks ja pesemiseks. Euroopa Liidu andmete järgi olid 2020. aastal kõige säästlikumad

⁹¹ Vee tarbimine Eestis on kasvanud. – Keskkonnaagentuur, <https://keskkonnaagentuur.ee/uudised/vee-tarbimine-eestis-kasvanud> (vaadatud 24. VIII 2023).

veetarbijaad Slovakkia, Malta ja Eesti elanikud.⁹²

Keskmise eurooplane tarbib olmevett ööpäevas kätepesu jaoks 15 liitrit (0.015 m^3), vavnnis või dušis käimiseks 40 liitrit (0.04 m^3), WC-s käimiseks 40 liitrit (0.04 m^3), toidu valmistamine 6 liitrit (0.006 m^3), nõude pesemiseks 7 liitrit (0.007 m^3), koristamiseks 10 liitrit (0.01 m^3) ja pesu pesemiseks 20 liitrit (0.02 m^2) (joonis 13).⁹³



Joonis 13. Kodumajapidamises vee tarbimine protsentuaalselt.

92 Vee tarbimine Eestis on kasvanud. – Keskkonnaagentuur.

93 Eesti veetarbija on Euroopa keskmisest säästlikum. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/eesti-veetarbija-on-euroopa-keskmisest-saastlikum/> (vaadatud 24. VIII 2023).

2.1.2. Puhta veel tarbimine ja kvaliteet

Iga-aastaselt kogeb Eesti vihmavaba perioodi, eriti juunis–juulis, mil vee tarbimine märgatavalt tõuseb. Aastal 2023 oli selline olukord Viimsis eriti kriitiline, kus tekkis tõeline oht, et joogiveevarud võivad lõppeda. Tarbevee defitsiit tekib eriti nendes piirkondades, mis sõltuvad põhjaveest. See ressurss on taastumatu ning näiteks Viimsi ja Nõmme piirkonnas kasutatakse seda Harjumaal. Üks võimalik lahendus sellele probleemile oleks vihmavee kasutamine aianduses ja taimede kastmiseks, sest hetkel pärineb see peamiselt joogiveest. Aastal 2022 kasutasid Tallinna elanikud kastmiseks 24 375 000 liitrit vett.⁹⁴ Puhta joogivee tootmiseks on vaja läbida põhjalik puhastusprotsess, mis hõlmab kemikaalide kasutamist ning elektri- ja soojusenergia kulutamist. Puhta joogivee kasutamine kastmiseks suurendab keskkonna ökoloogilist jalajälge ja võib kuuma ilmaga viivitada veekogude taastumist.

90% Tallinna elanikest saavad oma joogivee Ülemiste järvest, samas kui 10% saavad selle põhjavee puurkaevudest. Põhjavesi on mikrobioloogiliselt küll

94 Kõige keskkonnasõbralikum kastmisvesi on vihmavesi. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/algamas-on-kastmishooaeg/> (vaadatud 24. VIII 2023).

puhas, kuid sisaldab rohkelt mineraale, mistõttu nõuab see filtreerimist. Pinnavesi läbib puhastusprotsessi, mis hõlmab mehaanilist, keemilist puhastamist ning lõpus desinfitseerimist.⁹⁵

VESI	2022	2021	2020	2019	2018
Tarbija kraanist võetud veeproovide vastavus nõuetele	99.84%	99.61%	99.71%	99.04%	99.93%

Tabel 1. Tallinna Vee kliendirahulolu-uuring näitab, et ligi 90% klientidest usaldavad kraanivett.

Kraanist tulenevale joogiveele kehtivad väga kõrged kvaliteedistandardid. Aastal 2021 võttis Tallinna Vesi Tallinnas ja Harjumaal veeproove kokku 3058 korda, mis tähendab keskmiselt 8 proovi päevas. Paljassaare reoveepuhastusjaam teenindab üle 450 000 Tallinna ja lähialdade elaniku ning igapäevaselt puhastatakse seal 133 000 m³ vett, mis suunatakse seejärel Läänemerre. Reovee puhastamine toimub kolmes etapis.⁹⁶

⁹⁵ Joogivee kvaliteet. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/joogivee-kvaliteet/> (vaadatud 24. VIII 2023).

⁹⁶ Vee tarbimine Eestis on kasvanud. – Keskkonnaagentuur.

2.1.3. Mida saab igaüks teha vee tarbimise vähendamiseks?

Vanniskäimise asemele eelistada duši all käimist, sest nii kulub vähem vett. Samuti nõudepesumasin peseb nõud puhtaks vähema veega kui käsitsi pestes. Kraanile lisada isesulguv segisti või säästuotsik. WC-potile osta kahesüsteemne loputuskast ning kasutada väiksemat vee pealejooksu kergemate väljalastete eemaldamiseks ja suuremat pealejooksul suuremaks WC-poti puhastuseks.⁹⁷

2.1.4. Inimeste vee tarbimise harjumused vastavalt hooajale

Veekasutus majapidamises sõltub erinevatest faktoritest: leibkonna suurusest, tarbimisharjumustest, kodutehnika olemasolust jne. Kõige rohkem vett on tarbitud tabel 4 näite puhul, kus neljaliikmelises peres on kaks väikest last ning vannitamine ja pesupesemine toimub märksa tihedamini kui lasteta leibkondades. Kõige vähem on vett tarbitud tabel 2 näite puhul, kus elab üks inimene, puudub pesumasin ning toitu pigem valmistatakse harva.

⁹⁷ Eesti veetarbija on Euroopa keskmisest säästlikum. – Tallinna Vesi.

1 inimese kohta	Näide 1	Näide 2	Näide 3
KUUD	VESI KOKKU (m³)	VESI KOKKU (m³)	VESI KOKKU (m³)
Detsember (2022)	1.3	2.5	2.6
Jaauar (2023)	0.7	1.6	3.0
Veebruar (2023)	0.7	1.7	2.4
Talve keskmine	0.9	1.9	2.7
Talve kogus	2.7	5.8	8.0
Märts (2023)	0.7	1.7	2.5
Aprill (2023)	0.7	2.2	2.8
Mai (2023)	0.2	2.3	2.6
Kevade keskmine	0.5	2.1	2.6
Kevade kogus	1.6	6.2	7.9
Juuni (2022)		2.3	2.6
Juuli (2022)	0.5	1.3	
August (2022)	2.3	2.2	
Suve keskmine	1.4	1.9	2.6
Suve kogus	2.8	5.8	
September (2022)	1.9	3.3	
Oktoober (2022)	2.4	2.1	
November (2022)	2.4	2.4	
Sügise keskmine	2.2	2.6	
Sügise kogus	6.7	7.8	
KOKKU	13.8	25.6	16.0

Tabel 2. Ühe inimese veetarbimine korteris kolme stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2 inimese kohta	Näide 1	Näide 2
KUUD	VESI KOKKU (m³)	VESI KOKKU (m³)
Detsember (2022)	3.2	7.1
Jaauar (2023)	3.9	6.5
Veebruar (2023)	5.2	7.9
Talve keskmine	4.1	7.2
Talve kogus	12.3	21.6
Märts (2023)	4.5	7.0
Aprill (2023)	4.4	0.0
Mai (2023)	6.1	6.1
Kevade keskmine	5.0	4.4
Kevade kogus	15.0	13.1
Juuni (2022)	2.6	8.9
Juuli (2022)	1.5	8.8
August (2022)	0.6	6.7
Suve keskmine	1.5	8.1
Suve kogus	4.6	24.3
September (2022)	4.7	8.2
Oktoober (2022)	5.8	6.8
November (2022)	5.2	7.6
Sügise keskmine	5.2	7.6
Sügise kogus	15.7	22.7
KOKKU	47.5	81.6

Tabel 3. Kaheliikmelise pere veetarbimine korteris kahe stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

4 inimese kohta	Näide 1
KUUD	VESI KOKKU (m³)
Detsember (2022)	10.4
Jaanuar (2023)	9.8
Veebruar (2023)	9.5
Talve keskmine	9.9
Talve kogus	29.7
Märts (2023)	10.4
Aprill (2023)	6.3
Mai (2023)	12.6
Kevade keskmine	9.7
Kevade kogus	29.2
Juuni (2022)	7.7
Juuli (2022)	1.1
August (2022)	9.4
Suve keskmine	6.1
Suve kogus	18.2
September (2022)	11.7
Oktoober (2022)	8.2
November (2022)	11.9
Sügise keskmine	10.6
Sügise kogus	31.7
KOKKU	108.8

Tabel 4. Neljaliikmelise pere veetarbimine korteris ühe stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.1.4.1. Ühiskondliku hoone ehk lasteaia vee tarbimise harjumused vastavalt hooajale

Tabelisse on toodud lasteaia, kus esimeses on 50 last + personal ning teises 358 last + personal. Taoliste erinevate skaalade analüüsimine annab hea ettekujutuse, millises suuruses lasteaeda või muud ühiskondlikku funktsiooni on võimalik paigutada isemajandava hoone süsteemi. Suvekuudel on tarbimine väiksem, kuna lasteaia on, kas täiesti suletud mingiks perioodiks või lapsi käib kohal palju vähem kui tavaliselt. Mõlema näite puhul on kõige suurem vee tarbimine just sügiskuudel.

Lasteaed	Näide 1 (63 in)	Näide 2 (431 in)
KUUD	VESI KOKKU (m³)	VESI KOKKU (m³)
Detsember (2022)	30.0	419.1
Jaanuar (2023)	9.0	419.1
Veebruar (2023)	20.0	419.1
Talve keskmine	19.7	419.1
Talve kogus	59.0	1257.2
Märts (2023)	24.0	315.3
Aprill (2023)	20.0	315.3
Mai (2023)	22.0	315.3
Kevade keskmine	22.0	315.3
Kevade kogus	66.0	945.9
Juuni (2022)	21.0	222.7
Juuli (2022)		100.0
August (2022)	4.0	222.7
Suve keskmine	12.5	181.8
Suve kogus	25.0	545.4
September (2022)	44.0	370.0
Oktoober (2022)	30.0	370.0
November (2022)	31.0	370.0
Sügise keskmine	35.0	370.0
Sügise kogus	105.0	1110.0
KOKKU	255.0	3858.5

Tabel 5. Lasteaia veetarbimine kahe stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.1.5. Puhta vee ja hallvee tarbimisvajadus

2.1.5.1. Ühepereelamu kohta

Erinevate leibkondade vee tarbimise vajadused kommunaalarvete alusel. Eelduseks, et kasutatakse nii nõudepesumasinat kui pesumasinat. Leibkonna kuu keskmise arvutamisel on leitud keskmine väärtus kõikide sarnaste leibkondade puhul ning toodud see välja nii elektri kui vee tarbimise puhul igal aastaajal eraldi. Üksik inimene kasutab kuude lõikes keskmiselt 2.0 m³ vett. 2-inimesega perekond tarbib kuus keskmiselt 5.2 m³ vett ja 4-liikmeline pere 9.1 m³ vett. Aasta peale kokku tarbib üks inimene ligi 18.5 m³ vett, 2-liikmeline pere 64.6 m³ ja 4-liikmeline 108.8 m³ vett.

Vee tarbimisharjumused	1 IN VESI (m³)	2 IN VESI (m³)	4 IN VESI (m³)
Talvekuude keskmine	1.8	5.3	9.9
Kevadkuude keskmine	1.7	4.8	9.7
Suvekuude keskmine	2.0	4.8	6.1
Sügiskuude keskmine	2.4	5.8	10.6
KUU KESKMINE	2.0	5.2	9.1
Talveperioodi keskmine	5.5	16.9	29.7
Kevadperioodi keskmine	5.2	14.0	29.2
Suveperioodi keskmine	4.3	14.5	18.2
Sügisperioodi keskmine	7.3	19.2	31.7
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	18.5	64.6	108.8

Tabel 6. Vee tarbimisharjumuste võrdlus erinevate peretüüpide stsenaariumite põhjal, kes võiksid elada ühepereelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.1.5.2. Ühiskondliku hoone kohta

Ühiskondliku hoone analüüsimiseks võtsime aluseks kahe lasteaia kommunaalarved. Lasteaedade kollektiivid erinesid suuruselt 64–431 tarbija vahel. Vee tarbimine ühe inimese kohta kuus on keskmiselt 0.35 m³ ja aastas umbes 1 m³. Võrreldes antud tulemusi eelmises peatükis väljatoodud tarbimisharjumistega leibkonniti, siis see näitab seda, et jagatud teenusena veetarbimine on oluliselt säästlikum.

Vee tarbimisharjumused	ühiskondlik hoone VESI (m³)
Talvekuude keskmine	219.4
Kevadkuude keskmine	168.6
Suvekuude keskmine	97.2
Sügiskuude keskmine	202.5
KUU KESKMINE	171.9
KUU KESKMINE per in	0.35
Talveperioodi keskmine	658.1
Kevadperioodi keskmine	505.9
Suveperioodi keskmine	285.2
Sügisperioodi keskmine	607.5
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	514.2
AASTASE TARBIMISE KESKMINE per in	1.04

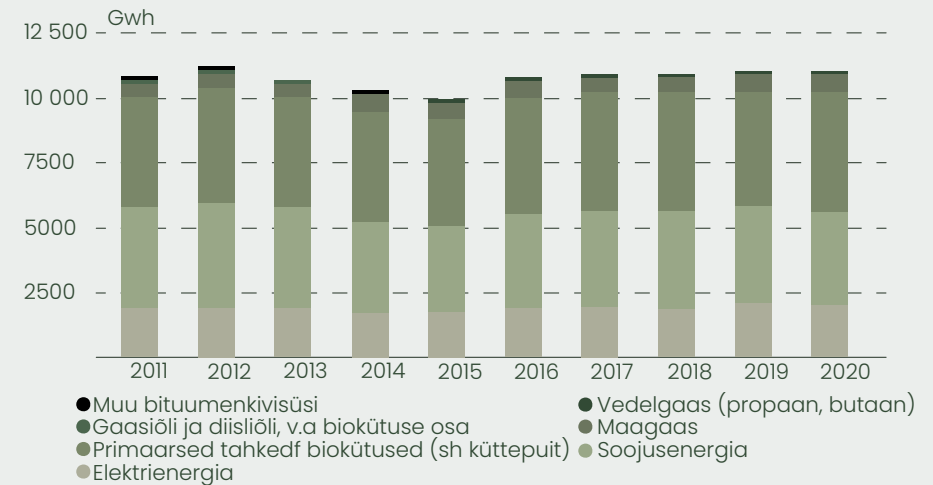
Tabel 7. Vee tarbimisharjumuste võrdlus kahe lasteaia stsenaariumite põhjal. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.2. ELEKTRI TARBIMISE ANALÜÜS

Energia lõpptarbimine väljendab aastast kogust, mida kodumajapidamised tarbivad kütuste, soojuse ja elektri jaoks. Kodumajapidamiste energia tarbimise kogus ja võimsus sõltuvad peamiselt riigi elanikkonnast, rahvastiku heaolust ja välisõhu temperatuurist. Joonisel 13 on esitatud kodumajapidamiste energiatarbimise jaotus erinevate kütuste ja energiakandjate vahel. Enamik kodumajapidamiste energiast tuleb tahketest biokütustest (sealhulgas küttepuidust), soojusenergiast ja elektrist. Peamine osa kodumajapidamiste energiatarbimisest on suunatud soojuse tootmisele, seetõttu on aastane energiatarve tugevalt mõjutatud aasta keskmisest välistemperatuurist. 2010. aasta oli üks külmemaid viimaste aastate jooksul, mis selgitab joonisel nähtavat tarbimise tipphetke.⁹⁸

Kodumajapidamiste energiatarbimise vähendamisesse panustab peamiselt elamute energiatarbimiseks renoveerimine. Samuti on oluline märkida, et joonisel 14 kuvatakse tarbijatele tarnitud energia hulka, mis hõlmab kütte ja jahutus

otstarbel (sh soojuspumbad, elektriküte, ventilatsioon, konditsioneerid) kasutatavat energiat ning koduses laetud elektrisõidukeid. Soojusenergia alla kuulub ka kaugkütte võrgust tarbitud soojus.⁹⁹



Joonis 14. Energiatarbimine kodumajapidamistes.

⁹⁸ Energiatarbimine kodumajapidamistes. – Energiatalgud, https://energiatalgud.ee/Energiatarbimine_kodumajapidamistes (vaadatud 24. VIII 2023).

⁹⁹ Energiatarbimine kodumajapidamistes. – Energiatalgud.

2.2.1. Seadmete energiatarve

NB! Esitatud üldised suurusjärgud, hilisemas lahenduses tuleb lähtuda toote enda esitatud andmetest:

- Mikrolaineahi: 600 – 1000 W = 0,6–1 kW
- Külmkapp: 300– 800 W = 0,3–0,8 kW
- Ahi: 2000– 5000 W = 2–5 kW
- TV: 50 – 200 W = 0,05– 0,2 kW
- Valgustus: 10– 60 W = 0,01– 0,02 kW
- Õhksoojuspump: 545– 7500 W = 0,55– 7,5 kW
(sõltub kliimast)
- Elektriradiaatorid: 1500 W = 1,5 kW
- Konditsioneer: 3000– 4000 W = 3– 4kW
- Pesumasin: 400– 1400 W = 0,4– 1,4 kW
- Kuivati: 1500– 5000 W = 1,5– 5 kW
- Arvuti: 30– 70 W = 0,03 kW– 0,07 kW
- Telefoni laadija: 5 W = 0,005 kW
- Wi-fi: 5– 20 W = 0,005– 0,02 kW
- Föön: 1500– 2000 W = 1,5– 2 kW
- El. auto laadimispunkt: 7200 W (level 2 laadijad)=

7,2 kW¹⁰⁰

2.2.2. Inimeste elektri tarbimisharjumused vastavalt hooajale

Sarnaselt veekasutusega, nii sõltub ka elektrikasutus majapidamistes mitmetest teguritest, sealhulgas leibkonna suurusest, tarbimisharjumustest ja kodutehnika olemasolust. Kõige suuremat elektrikasutust täheldatakse Tabelis 11, kus elab neljaliikmeline pere koos kahe väikese lapsega. Vähem elektrit kasutatakse tabelis 8, kus elab üks inimene.

100 J. Marsh, How Many Watts Does it Take to Run a House? – EnergySage Blog, <https://news.energysage.com/how-many-watts-does-it-take-to-run-a-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

1 inimese kohta	Näide 1	Näide 2	Näide 3
KUUD	ELEKTER (kWh)	ELEKTER (kWh)	ELEKTER (kWh)
Detsember (2022)	54.1	308.4	553.0
Jaanuar (2023)	53.4	198.0	493.6
Veebruar (2023)	45.7	94.8	390.6
Talve keskmine	51.1	200.4	479.1
Talve kogus	153.2	601.2	1437.2
Märts (2023)	54.3	80.9	355.1
Aprill (2023)	55.5	95.9	198.2
Mai (2023)	60.0	91.6	182.5
Kevade keskmine	56.6	89.5	245.3
Kevade kogus	169.8	268.4	735.8
Juuni (2022)	106.1	78.2	153.9
Juuli (2022)	101.1	78.2	132.8
August (2022)	69.4	92.0	144.5
Suve keskmine	92.2	82.8	143.7
Suve kogus	276.7	248.5	431.2
September (2022)	107.5	117.5	153.2
Oktoober (2022)	99.4	91.4	209.4
November (2022)	103.5	114.2	365.3
Sügise keskmine	103.5	107.7	242.6
Sügise kogus	310.4	323.0	727.8
KOKKU	910.0	1441.0	3332.0

Tabel 8. Ühe inimese elektritarbimine korteris kolme stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2 inimese kohta	Näide 1	Näide 2	Näide 3
KUUD	ELEKTER (kWh)	ELEKTER (kWh)	ELEKTER (kWh)
Detsember (2022)	81.1	216.8	88.4
Jaanuar (2023)		272.4	93.3
Veebruar (2023)	127.1	131.1	103.9
Talve keskmine	104.1	206.8	95.2
Talve kogus	208.2	620.3	285.6
Märts (2023)	130.1	160.5	126.8
Aprill (2023)	83.2	100.8	107.5
Mai (2023)	134.2	96.8	123.2
Kevade keskmine	115.8	119.4	119.2
Kevade kogus	347.5	358.1	357.5
Juuni (2022)	83.7	82.9	85.5
Juuli (2022)	55.8	49.7	81.6
August (2022)	49.6	82.2	121.8
Suve keskmine	63.0	71.6	96.3
Suve kogus	189.1	214.8	288.9
September (2022)	171.9	69.5	104.5
Oktoober (2022)	113.9	80.9	106.6
November (2022)	155.6	84.4	115.4
Sügise keskmine	147.1	78.2	108.8
Sügise kogus	441.4	234.7	326.5
KOKKU	1186.2	1427.9	1258.6

Tabel 9. Kaheliikmelise pere elektritarbimine korteris kolme stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

4 inimese kohta	Näide 1
KUUD	ELEKTER (kWh)
Detsember (2022)	176.6
Jaauar (2023)	165.2
Veebruar (2023)	172.5
Talve keskmine	171.5
Talve kogus	514.4
Märts (2023)	194.8
Aprill (2023)	153.6
Mai (2023)	199.6
Kevade keskmine	182.7
Kevade kogus	548.0
Juuni (2022)	164.8
Juuli (2022)	77.2
August (2022)	223.5
Suve keskmine	155.2
Suve kogus	465.6
September (2022)	219.2
Oktoober (2022)	146.8
November (2022)	193.2
Sügise keskmine	186.4
Sügise kogus	559.2
KOKKU	2087.1

Tabel 10. Neljaliikmelise pere elektritarbimine korteris ühe stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.2.3. Elektri tarbimisvajadus

2.2.3.1. Ühepereelamu kohta

Erinevate perekondade elektritarbimise vajadus. Järgnev statistika põhineb korteris elavatel inimestel. Ühe ja kaheliikmelise perekonna elektrivajadus ei erine suuresti, kuid osadel andmeid jaganud inimestel on sisse arvestatud ka sooja vee kütmine elektriga ning teistel perekondadel on soe vesi tsentraalne. Seetõttu ühe- ja kaheliikmelise perega kodu puhul ei ole elektritarbimine märgatavalt erinev.

Elektri tarbimisharjumused	1 IN ELEKTER (kWh)	2 IN ELEKTER (kWh)	4 IN ELEKTER (kWh)
Talvekuude keskmine	125.7	163.6	171.5
Kevadkuude keskmine	73.0	153.7	182.7
Suvekuude keskmine	87.5	88.9	155.2
Sügiskuude keskmine	105.6	150.8	186.4
KUU KESKMINE	98.0	139.2	173.9
Talveperioodi keskmine	377.2	371.4	514.4
Kevadperioodi keskmine	219.1	354.4	548.0
Suveperioodi keskmine	262.6	230.9	465.6
Sügisperioodi keskmine	316.7	334.2	559.2
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	1175.5	1290.9	2087.1

Tabel 11. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus erinevate peretüüpide stsenaariumite põhjal, kes võiksid elada ühepereelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Siin on välja toodud elektritarbimine ühe inimese kohta, kui elektrit kasutatakse 29 m² suuruse korteri pinna kütmiseks kui ka vee soojendamiseks. Sellise vajadusel puhul on elektri tarbimine ligi 3 korda suurem.

1 inimese kohta (elektriküte)	1 IN ELEKTER (kWh)
Talvekuude keskmine	479.1
Kevadkuude keskmine	245.3
Suvekuude keskmine	143.7
Sügiskuude keskmine	242.6
KUU KESKMINE	277.7
Talveperiood	1437.2
Kevadperiood	735.8
Suveperiood	431.2
Sügisperiood	727.8
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	3332.0

Tabel 12. Elektri tarbimine ühe stsenaariumi põhjal, kus on elektriküte. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.2.3.2. Ühiskondliku hoone kohta

Elektri tarbimise määramiseks ühiskondliku hoone puhul võtsime analüüsimiseks kolme lasteaia kommunaalarved. Lasteaedade kollektiivid erinesid suuruselt 64 – 431 tarbija vahel. Elektri tarbimine ühe inimese kohta kuus on keskmiselt 41.7 kWh ja aastas

umbes 23842.9 kWh. Sarnaselt veetarbimisega võib samuti väita, et jagatud teenusena elektritarbimine on säästlikum.

Elektri tarbimisharjumused	Ühiskondlik hoone ELEKTER (kWh)
Talvekuude keskmine	30068.6
Kevadkuude keskmine	22693.9
Suvekuude keskmine	18156.4
Sügiskuude keskmine	25019.3
KUU KESKMINE	23984.6
KUU KESKMINE per in	41.7
Talveperioodi keskmine	4761.7
Kevadperioodi keskmine	7104.7
Suveperioodi keskmine	4328.5
Sügisperioodi keskmine	7648.0
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	23842.9
AASTASE TARBIMISE KESKMINE per in	378.5

Tabel 13. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus kolme lasteaia stsenaariumite põhjal. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

2.3. SOOJUSENERGIA TARBIMISE ANALÜÜS

Aastane soojusnõudlus näitab kodust energiatarvet ehk kui palju energiat on vaja hoone kütmiseks, mõõtühikuks kasutatakse kWh/m²-aastas. Näiteks vajavad vanad ning soojustamata Nõukogude ajal ehitatud hooned energiat 400 kWh/m²-aastas, kui sama näitaja on passiivmajal tunduvalt väiksem 10–15 kWh/m²

aastas.¹⁰¹

Kui põrandapinda on 1 m², siis sellele vastab 1 liiter kütteõli, mis tähendab energiakulu 10 kWh/m²-aastas. Passiivmaja korral on 100 ruutmeetri kohta kütteõli vaja 100 liitrit- kus hinnaks on ligikaudu 70 eurot.

Miimumnõuded	Ehitatav hoone kWh (m ² * a)	Oluliselt rekonst- rueritav kWh (m ² * a)	Madal- energia- hoone kWh/(m ² * a)	Liginull- energia- oone kWh/(m ² * a)
Väikeelamu kuni 100 m ² / üle 100 m ²	184/ 160	210	120	50
Korterelamu	150	180	120	100
Büroohoone, raamatukogu, teadushoone	160	210	130	100
Ärihoone	210	270	160	130
Avalik hoone	200	250	150	120
Kaubandushoone, terminal	230	280	160	130
Haridushoone	160	200	120	90
Koolieelne lasteasutus	190	240	140	100
Tervisehoiuhoone	380	460	300	270

Tabel 14. Nõuded ehitatavatele ja rekonstrueeritavatele hoonetele.

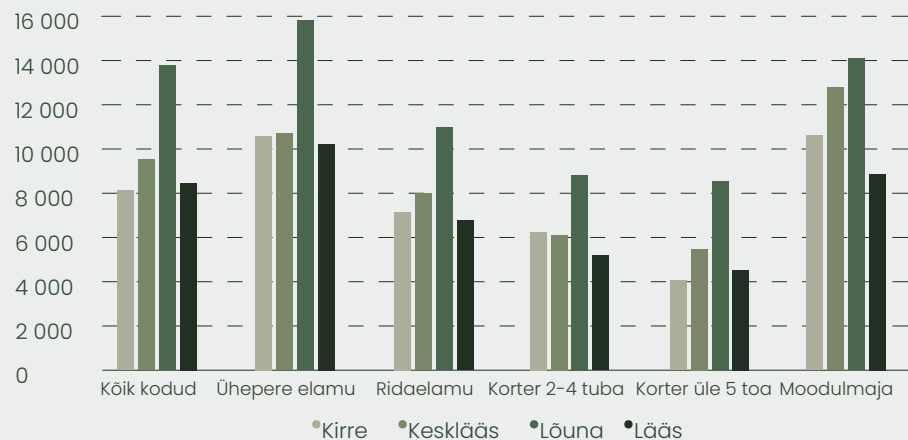
¹⁰¹ K. Koonik, Energiatõhusad hooned Eestis. Bakalaureuse töö, 2018, Eesti Maaülikool: <https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4116/Koonik%20Kerdi%202018BA%20KK%20t%C3%A4istekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Energiakulu mõõdetakse kWh, kus kW on energia väljendamise ühik ja h näitab energia tarvet teatud ajaperioodi vältel. Enne küttelahenduse projekteerimist tuleb välja arvutada teoreetiline energiakulu, mis läheb hoone kütmiseks. Seda on võimalik vaadata päeva, kuu kui ka aasta lõikes.¹⁰²

Energiakulu sõltub paljuskki seadmetest mida hoones kasutatakse, tuleb teha täpne ülevaade, mis seadmed hoones on ja mis on nende energiatarve. Suurimad energiatarbijad on: külmkapp, elektripliit/ahi, pesumasin, kuivati, konditsioneer, õhksoojuspump jne.

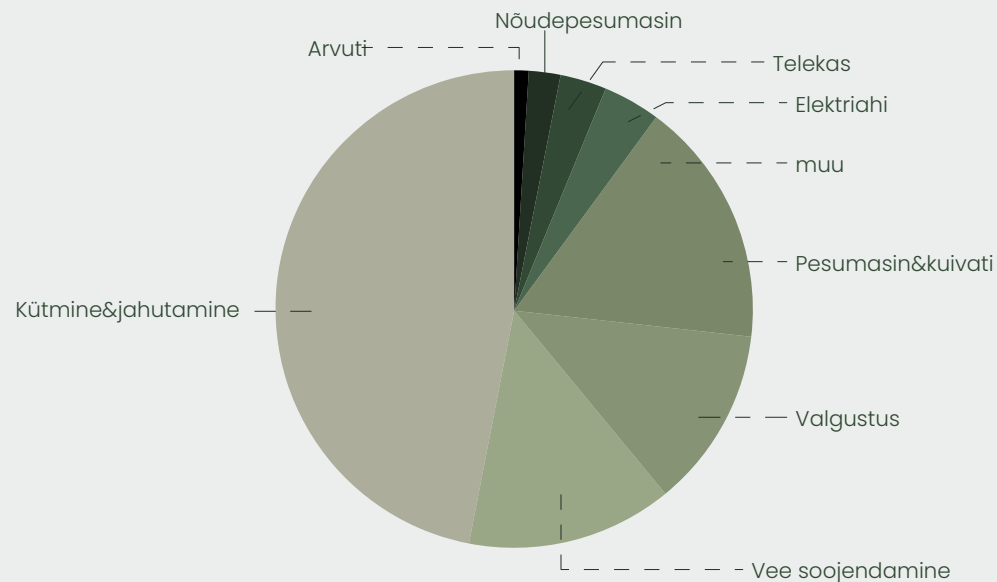
Ameerika keskmise ühepereelamu aastane energiatarbimine on ligikaudu 11 000 kWh, kuid see sõltub suuresti hoone asukohast. Näiteks võib märkida, et põhja piirkondades, kus valitseb jahedam kliima, on ühe korteri kütmiseks vajalik energiakogus väiksem kui lõunaosas asuva ühepereelamu jahutamiseks vajalik energiakulu.¹⁰³

¹⁰² K. Koonik, Energiatõhusad hooned Eestis.
¹⁰³ J. Marsh, How Many Watts Does it Take to Run a House?



Joonis 15. Ameerika Ühendriikide energia tarbimine vastavalt asukohale.

Joonisel 15 on selgesti näha, et lõuna piirkonnas, kus peamiselt domineerib eluruumide jahutamine, mängib kütmisel suurem roll kui jahedamates piirkondades, kus hoone soojendamine on olulisem. Kokku moodustavad jahutamine ja küte ligikaudu 47% hoone kogu energiatarbimisest (joonis 16). Sellest tulenevalt on hoone kavandamisel hädavajalik põhjalikult uurida piirkonda, kuhu hoone ehitatakse, ning otsustada, kas hoone põhirõhk peaks olema jahutamisel, küttele või mõlemale.

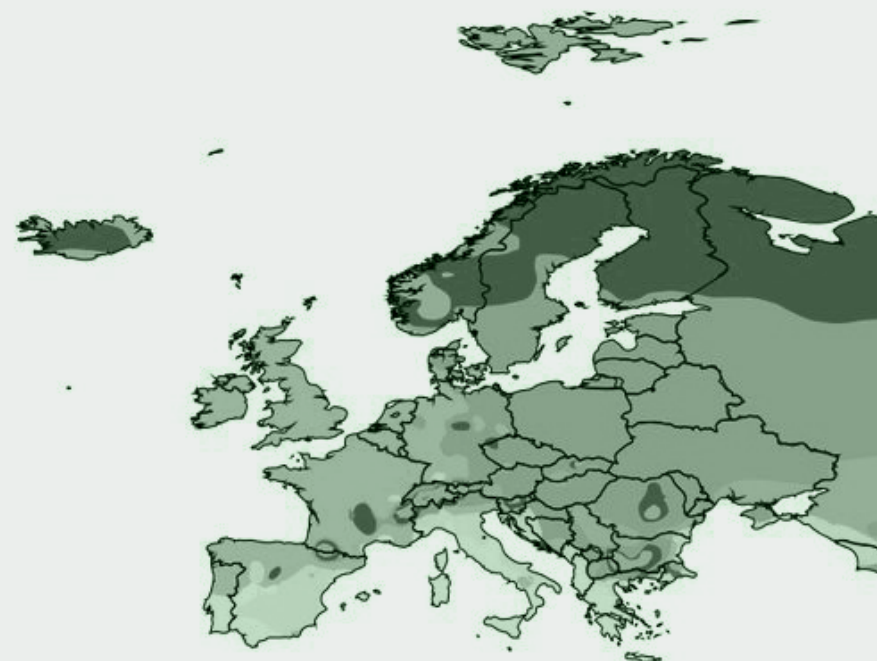


Joonis 16. Üldine energiatarve protsentides.

Kui võrrelda energiakasutust põhjapiirkonnas asuva ühepereelamu ja korteri vahel, selgub, et ühepereelamu tarbib aastas umbes 11 000 kWh energiat, samas kui korter (kus on neli korterit ühes kortermajas) kasutab aastas ära 6100 kWh energiat. Võrreldes energiakasutust lõunapiirkonnas asuva ühepereelamu ja korteri vahel, ilmneb, et ühepereelamu tarbib aastas ligikaudu 15 900 kWh energiat, samas kui korter (kus on neli korterit ühes

kortermajas) kasutab aastas ära 9000 kWh energiat.¹⁰⁴

Hinnangu andmine energia kuludele Euroopas on keeruline, kuna Euroopa mandril on väga mitmekesised kliimapiirkonnad ja temperatuurid varieeruvad märkimisväärselt. Euroopas viiakse energiaarvutused läbi individuaalselt vastavalt piirkonnale ja kohalikele standarditele, võttes arvesse selle piirkonna eripärasid. Joonisel 17 on esitatud ligikaudne võrdlus ühepereelamute energiakulude kohta erinevates Euroopa riikides. Samuti mõjutab energiatarvet elanike elustiil, majanduslik heaolu ja energiakasutuse ulatus.¹⁰⁵



Cold semi-arid climate (BSk)	Cool continental climate/ Subarctic climate (Dfc)
Warm mediterranean climate (Csa)	Warm continental climate/ Mediterranean continental climate (Dsa)
Temperate mediterranean climate (Csb)	Temperate continental climate/ Mediterranean continental climate (Dsb)
Warm oceanic climate/ Humid subtropical climate (Cfa)	Cool continental climate (Dsc)
Temperate oceanic climate (Cfb)	Tundra climate (ET)
Cool oceanic climate (Cfc)	Ice cap climate (EF)
Warm continental climate/ Humid continental climate (Dfa)	
Temperate continental climate/ Humid continental climate (Dfb)	

Joonis 17. Köppen-Geigeri kliima klassifikatsioonid Euroopas
energiasäästliku hoone projekteerimisel.

104 S.-E. Alamaa, Võrguühendusest kortermaja elektrivarustuslahenduse modelleerimine ja tehnilis-majanduslik analüüs. Magistritöö, 2018, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/8930229d-fbe8-448a-904d-80cdc7d9c44b>.

105 S.-E. Alamaa, Võrguühendusest kortermaja elektrivarustuslahenduse modelleerimine ja tehnilis-majanduslik analüüs.

Riikide edetabel energiatarbimises	Majapidamiste arv	Majapidamise kohta kWh (aastas)
Kanada	156 184 91	11 305
Ameerika Ühendriigid	132 736 055	11 156
Rootsi	4 776 239	8 914
Uus-Meremaa	1 906 474	6 754
Austraalia	10 220 186	5 919
Prantsusmaa	30 217 950	5 344
Hongkong	2 646 107	4 900
Iirimaa	1 799 221	4 857
Jaapan	55 704 949	4 749
Malaisia	7 176 812	4 456
Hispaania	17 565 288	4 169
Suurbritannia	29 486 179	3 658
Holland	7 874 258	3 130
Saksamaa	40 624 971	3 127
Venemaa	56 771 478	2 879
Itaalia	25 020 120	2 646

Tabel 15 . Energia tarbijate edetabel riikide põhjal.

2.3.1. Üksikelamu soojusenergia tarbimine magistritöö näitel

Martin Polikarpus on Tallinn Tehnikaülikooli lõputööks uurinud üksikelamu arvutuslikku ja tegelikku

energiatarvat.¹⁰⁶ Tehtud magistritöö 182 m² väikeelamu energiaarvutused passiivmaja tarkvaraga PHPP ja vastavalt lisaks "Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika".

Välissein $U = 0,094 \text{ W/m}^2\text{K}$

Lagi $U = 0,065 \text{ W/m}^2\text{K}$

Põrand $U = 0,117 \text{ W/m}^2\text{K}$

Aknad $U = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Uksed $U = 1,05 \text{ W/m}^2\text{K}$

Paul Focus (F) 200 ventilatsiooniseade, mille soojustagastuse efektiivsus on 91% ning ventilaatorite efektiivsus $0,31 \text{ W/(m}^3 \text{ h)}$

Ventilatsiooniseadmele on paigaldatud elektriline eelküte, mis soojendab talveperioodil agregaat siseneva õhu 0°C, vältimaks soojusvaheti jäätumist ning soojustagastuse efektiivsuse langust. Elektrilise eelküte maksimaalvõimsus on 2000 W

Hoone kütmine ja sooja tarbevee tootmine toimub Nibe F1245 maasoojuspumbaga, mille nimivõimsus on 6

¹⁰⁶ M. Polikarpus, Üksikelamu arvutuslik ja tegelik energiatarve. Magistritöö, 2014, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/Download/6cb481c9-4b43-4faa-bcd1-fc42733d585>.

kW ning millel on integreeritud soojaveeboiler mahuga 180 l.

Põrandakütte kontuurides paneb vee liikuma eraldi tsirkulatsioonipump. Tsirkulatsioonipumbaks on Grundfos Alpha 2L 25-40, mis on võimeline vastavalt süsteemi vasturõhule reguleerima pumba kiirust. Kuna tarbitav võimsus võib jääda vahemikku 5-45 W, siis arvutustes kasutatakse võimsust 30 W.

Maasoojuspumba maakontuuri on paigaldatud horisontaalselt sügavusele 0,7-0,9 m ning kontuuri pikkuseks on 420 m.

Aastane vajatav soojusenergia vajadus kütteks- 11372 kWh/a

Aastane vabasoojuse hulk (elamisel tekkiv soojus, mis väljendub küttena)- 5631 kWh/a

Tarbevee soojendamiseks kuluv energia PHPP- Vee erikulu elaniku kohta 25 l päevas QDHV= 1468 kWh/a

Tarbevee soojendamiseks kuluv energia "Hoonete energiatõhususe arvutamise metoodika" - Sooja vee erikulu elanikule vastavalt köetava pinna ruutmeetri kohta. Väikeelamu puhul sooja vee erikulu 430 l/ (m²*a) ja netoenergia vajaduseks 25 kWh/m²*a.

QDHV=4550kWh/a.¹⁰⁷

2.3.2. Inimeste soojusenergia tarbimisharjumused ööpäevaringselt

Tavaline Ameerika kodu tarbib keskmiselt päevas umbes 30 kWh elektrienergiat, mis kokku moodustab kuus umbes 900 kWh ja aastas umbes 10,800 kWh.¹⁰⁸ Energia tarbimise määratlus sõltub väga paljudest teguritest, sealhulgas hoone geograafilisest asukohast, suurusest, ehitustehnoloogiast, seal kasutatavatest seadmetest ning kasutatavatest kütelahendustest (nt elektriküte, maaküte, õhk-vesi soojuspump jne).

Säästvamad energiakasutuse võimalused (lahendused lähtuvad nutika maja tööpõhimõttest, kus on eraldi spetsiaalne automaatika) :

- Minimaliseerida energia kasutust tippaegade, milleks on 07-11:00 ja 17-21:00.
- Vee külmumise ja lekkimise vastased andurid. Aitavad ennetada kuumades piirkondades veetorustike külmumist, mis põhjustaks suuri väljaminekuid remonditöödele.

107 M. Polikarpus, Üksikelamu arvutuslik ja tegelik energiatarve.

108 M. Polikarpus, Üksikelamu arvutuslik ja tegelik energiatarve.

- Tark termostaat, mis reguleerib vee soojendamist vastavalt tarbimisele ja nõudlusele. Kui hoones pole inimesi, ei ole vaja veel kõrget temperatuuri hoida ja enne koju saabumist soojendatakse kas kütte või tarbevesi üles, et oleks mugav kasutada.

- Tark valgustus, mis aitab reguleerida hoones kasutatavat valgustust. Kas valguse efektiivsust või ruumist lahkudes lülituvad tuled automaatselt välja.

- Tark valvesüsteem aitab vältida valesi häireid ja valveteenusepakkuja lisa arveid.

- Tark kastmissüsteem, mis vaatab ilmateadet ja ei kasta muru kui on vihmane ilm.¹⁰⁹

2.3.3. Näide 2-toalise renoveerimata tellistest korterelamu kohta

Tegemist on 1960. a ehitatud tellistest korterelamuga. Kortere lamu on väljast soojustamata ja renoveerimata, tuul puhub läbi. Põhilise soojavee tarbe moodustab hügieeni toimetuste tegemine ja nõude pesemine (puudub nõudepesumasin). Külma vesi kulub peamiselt WC kasutamiseks ja osaliselt nõudepesemiseks. Kortoris

puudub pesumasin, mis moodustaks suhteliselt suure veetarbimise. Kortere lamu on tsentraalküttega (tartu katlamaja), kus soe vesi juhitakse energiakandjatesse, milleks on malmradikad. Elektrit tarbivad peamiselt keskmise vanusega külmkapp (klass C või D), TV, sülearvuti ja monitor. Kõige suurem energia tarbimine on söögitegemisel elektripliidiga. Süüa tehakse pliidil umbes 1-2x nädalas. Kortoris elab 1 in. Vahepeal elas kaks inimest, siis olid kulud suuremad.

¹⁰⁹ How Many Kilowatt Hours Does It Take to Power Your House? – Pineappleenergy, <https://pineappleenergy.com/resources/how-many-kilowatts-does-it-take-to-power-a-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Näide	SOE VESI (m³)	KÜLM VESI (m³)	VESI KOKKU (m³)	ELEKTER (kWh)	KÜTE (eur/m²)
Detsember (2022)	0,4	0,9	1,3	54,08	2,51
Jaanuar (2023)	0,3	0,4	0,7	53,43	2,16
Veebruar (2023)	0,2	0,5	0,7	45,7	2,16
Talve keskmine	0,3	0,6	0,9	51,07	2,28
Märts (2023)	0,2	0,5	0,7	54,25	2,04
Aprill (2023)	0,2	0,5	0,7	55,5	1,3
Mai (2023)	0,1	0,1	0,2	60,03	0,67
Kevade keskmine	0,2	0,4	0,5	56,6	1,3
Juuni (2022)	0,8	1	1,8	106,13	0,03
Juuli (2022)	0,3	0,2	0,5	101,13	0,04
August (2022)	0,7	1,6	2,3	69,41	0,04
Suve keskmine	0,6	0,9	1,5	92,22	0,04
September (2022)	0,8	1,1	1,9	107,48	0,05
Oktoober (2022)	1,2	1,2	2,4	99,37	0,81
November (2022)	1,1	1,3	2,4	103,53	1,92
Sügise keskmine	1,0	1,2	2,2	103,5	0,9

Tabel 16. Tarbimine 2-toalise renoveerimata tellistest korterelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Analüüside energia ja kütte kasutust, siis kütte osas on antud korteri puhul suhtelised minimaalsed võimalused kulusid vähendada, kuna vastavalt aastaajale antakse korterisse vajalik soojusenergia, et kõiki korterite vajadus rahuldada. Kortoris eraldi reguleerimist pole. Talvel on küttekulu 2,8 eur/m² ja suvel ei kütteta. Elektri osas on rohkem võimalusi energia säästuks. Üks inimene kulutab umbes 50 kWh kuus, siis kahe inimesega 100 kWh. Seda numbrit saab veel vähendada, kui kasutab energiasäästlikumaid elektroonikat. Milleks antud puhul võib tuua külmkapp, ahi ja televiisor.

2.4. SADEMEVEE HULGA ARVUTUSED

Kogutav sademeveehulga kogus sõltub katuse kogumisalast ja võib aasta jooksul olla üsna märkimisväärne. Analüüsisime erinevate riikide keskmist sademete hulka aastas ning arvutasime, kui suur peab olema teatud piirkonnas katuse pindala, et sademevee filtreerimine suudaks ära täita kogu vajaduspõhise vee tarbimise.

Erinevad kalkulaatorid ja arvutusmeetodid sademevee hulga arvutamiseks katuse pindalalt:

1. <https://www.omnicalculator.com/other/rainfall-volume>
2. <https://www.ruvival.de/rainwater-collection-calculator/>
3. https://www.gosnells.wa.gov.au/Building_and_development/Engineering/Stormwater_and_drainage/How_to_Use_the_Stormwater_Design_Calculator

2.4.1. Sademevee hulk vastavalt piirkonnale

Aastapõhine		
Riikide maksimaalne aasta sademete hulk	Maksimaalne sademete hulk aastas (mm)	Andmete aastajärk
Eesti	533	2022
Läti	681	1991–2020
Leedu	679	1991–2020
Soome	606	2022
Norra	1406	2022
Rootsi	647	2022
Taani	612	2022
Poola	579	2021–2022
Saksamaa	627	2022
Ukraina	495	2012–2020
Pakistan	455	2022
Türgi	649	2012–2022

Tabel 17. Keskmise sademete hulk aastas vastavalt piirkonnale.

Kuupõhine		
Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes	Keskmine sademete hulk kuus (mm)	Andmete aastajärk
Jaanuar	61	2022
Veebruar	49	2022
Märts	5	2022
Aprill	29	2022
Mai	49	2022
Juuni	4	2022
Juuli	71	2022
August	46	2022
September	46	2022
Oktoober	45	2022
November	38	2022
Detsember	54	2022

Tabel 18. Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes.

2.4.2. Sademevee tootlikkus vastavalt katusepindalale

			Vihmavee kadu tegur		0.8				
Aastapõhine			Katuse pindala (m²)				Katuse pindala (m²)		
Riikide max aasta sademete hulk	Max sademete hulk aastas (mm)	Andmed aastast	46	95	70	250	46	95	250
Eesti	533	2022	19 618 l	40 515 l	29 853 l	106 617 l	19.6	40.5	106.6
Läti	681	1991-2020	25 048 l	51 730 l	38 117 l	136 132 l	25.0	51.7	136.1
Leedu	679	1991-2020	24 975 l	51 578 l	38 005 l	135 732 l	25.0	51.6	135.7
Soome	606	2022	22 305 l	46 064 l	33 942 l	121 222 l	22.3	46.1	121.2
Norra	1406	2022	51 744 l	106 862 l	78 740 l	281 215 l	51.7	106.9	281.2
Rootsi	647	2022	23 796 l	49 144 l	36 211 l	129 327 l	23.8	49.1	129.3
Taani	612	2022	22 517 l	46 503 l	34 266 l	122 377 l	22.5	46.5	122.4
Poola	579	2021-2022	21 293 l	43 975 l	32 402 l	115 722 l	21.3	44.0	115.7
Saksamaa	627	2022	23 081 l	47 668 l	35 124 l	125 442 l	23.1	47.7	125.4
Ukraina	495	2012-2020	18 214 l	37 616 l	27 717 l	98 990 l	18.2	37.6	99.0
Pakistan	455	2022	16 731 l	34 554 l	25 461 l	90 932 l	16.7	34.6	90.9
Türgi	649	2012-2022	23 897 l	49 353 l	36 366 l	129 877 l	23.9	49.4	129.9

Tabel 19. Keskmine sademete hulk aastas vastavalt piirkonnale ja sademevee tootlikkus vastavalt katusepinna suurusle. Viimases sektsioonis on võrreldud kogutava vihmavee hulka vajamineva

tarbitava veehulga alusel: 46 m² pindala vastab 18.5 m³ veetarbimisele aastas (üksik inimene); 95 m² pindala vastab 64.6 m³ veetarbimisele aastas (2-liikmeline perekond); 250 m² pindala vastab 108.8 m³ veetarbimisele aastas (4-liikmeline perekond). Halliga märgitud numbrid näitavad, et kogutav vihmavesi aastas ei ole piisav aastaseks vee tarbimiseks.

			Vihmavee kadu tegur		0.8				
Kuupõhine			Katuse pindala (m²)				Katuse pindala (m²)		
Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes	Keskmine sademete hulk kuus (mm)	Andmed aastast	46	95	70	250	46	95	250
Jaanuar	61	2022	2 245 l	4 636 l	3 416 l	12 200 l	2.2	4.6	12.2
Veebruar	49	2022	1 803 l	3 724 l	2 744 l	9 800 l	1.8	3.7	9.8
Märts	5	2022	184 l	380 l	280 l	1 000 l	0.2	0.4	1.0
Aprill	29	2022	1 067 l	2 204 l	1 624 l	5 800 l	1.1	2.2	5.8
Mai	49	2022	1 803 l	3 724 l	2 744 l	9 800 l	0.8	3.7	9.8
Juuni	42	2022	1 546 l	3 192 l	2 352 l	8 400 l	1.5	3.2	8.4
Juuli	71	2022	2 613 l	5 396 l	3 976 l	14 200 l	2.6	5.4	14.2
August	46	2022	1 693 l	3 496 l	2 576 l	9 200 l	1.7	3.5	9.2
September	46	2022	1 693 l	3 496 l	2 576 l	9 200 l	1.7	3.5	9.2
Oktoober	45	2022	1 656 l	3 420 l	2 520 l	9 000 l	1.7	3.4	9.0
November	38	2022	1 398 l	2 888 l	2 128 l	7 600 l	1.4	2.9	7.6
Detsember	54	2022	1 987 l	4 104 l	3 024 l	10 800 l	2.0	4.1	10.8

Tabel 20. Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes ja sademevee tootlikkus vastavalt katusepinna suurusele.

3. TARK MOODUL (3 eskiisi)

3.1. Lahendus 1 – hübriid lahendus (suvila või alaline elamine)

Hübriid lahendus on üldjuhul kõige levinum eramajade puhul või suvila rajoonides, kus majadel võib olla taastuva energia kogumiseks päikesepaneelid katusel või tuulegeneraator kinnistul ning mittetootlikul aastaajal varustatakse elamu tsentraalse kütte või elektriga. Antud lahendust on hea kasutada näiteks suuremates asulates või linnas, kus on võimalus ühendada hoone ka välisvõrku ja kanalisatsiooni.

3.1.1. Reovesi

Imb- ja filterväljak rajatakse hoonel siis, kui puudub võimalus liituda ühiskanalisatsiooniga, et reoveest vabaneda. Imbväljak on osa reoveepuhastussüsteemist, mis rajatakse septiku lähedale ning sellesse suunatakse septikust väljuv heitvesi.

Hange.ee sisestatud tööde põhjal tehti keskmine arvutus imbväljaku rajamise kogumaksumuseks. Minimaalne hind oli 1500 eurot, keskmine 2108 eurot ning maksimaalne maksumus on 3065 eurot.

Imbväljaku paigaldamise kulu on esialgu küll kallim, kuid hoolduskulud on selle võrra soodsamad.

3.1.2. Puhas vesi

Pooleldiüldveevõrgus, pooleldi vihmavesi. Seadmed on valitud selliselt, et vee maht oleks vähendatud, et tarbimine oleks säästlikum. Vihmavee kogumist antud juhul ei oleks mõistlik puhastada joogiveeks, kui hoone on ühendatud tsentraalvõrku. Hübriid lahenduse puhul oleks vaja kasutada võimalikult vähe filtreid. Palju läheb raisku puhast joogivett just vetsupoti loputuseks või kastmiseks. Viimsis tekkis puhta joogivee kriis kuuma perioodi ajal, kus puhta veega kasteti liigselt aedu. Vihmavett hübriid lahenduse puhul kasutada wc ning aia kastmis veena.

Vihmaveesüsteemi väljaehitamise puhul mängib olulist rolli katuse kuju. Ühe kaldega katusel kogu süsteem saab paikneda ühel maja küljel. Teine variant oleks kahe kaldega, kus katusehari on negatiivi pööratud, et vesi jookseks kokku. Kahekaldelise katuse puhul, kus mõlemad kalded jooksevad eri suunda, tekib topelt kogumissüsteemi, mille puhul veekadu on suurem.

3.1.3. Soojusenergia

Päikesepaneelidega on võimalik kompenseerida täielik vee soojendamine, mida kasutatakse igapäevasteks tegemisteks. Kui tahame kompenseerida päikesepaneelidega näiteks energia tootmist, siis hoone pindade suurused peavad jääma vahemikku 50–100 m². Küttena kasutame õhk–õhk soojuspumpa, mille aastane energiatarve on max 7500 kWa ja sellist võimust saavad tagada hooned millel on vähemalt 30–41 paneeli ja ruumi selleks peab olema 50–70 m² (katusepinda). Väiksemate hoonete puhul on mõistlik kasutada õhk–õhksoojuspumpa või radiaatoreid, kuid energiat tuleb kompenseerida pigem võrguga.

Üle 100 m² hoonete puhul kasutada pigem maasoojus või õhk–vesi soojuspumpa. Energiatarvet on võimalik kompenseerida osaliselt päikesepaneelidega. Näiteks 100m² hoone suudab toimida pörandaküttega maasoojuspump Thermia Calibra 12 kand, mille aastane energiatarve on 21800 kWh/a. Juhul, kui ei ole võimalik rajada hoonele imbväljakut, siis on võimalus kasutada hallvett (reovett) vesipörandaküttes, kuid see ei ole efektiivne lahendus väikese hoone puhul. Samuti saab

seda kasutada soojuskandjana radiaatorkütte puhul.

Toodete näited:



Toote näited 25–100 m²: Õhk–õhk soojuspump Electrolux Avalanche 12



*Toote näited 100–250 m²: Maasoojuspump Thermia Calibra 12,
mõõdud 1845 x 596 x 690*

3.2. Lahendus 2 – täielikult off-grid (alaline elamine)

Off-grid ehk võrguvälise süsteemi rajamine eeldab, et toodetakse ise elektrienergiat taastuvatest energiaallikatest ja kogutakse vihmavett ning filtreeritakse reovett tarbeveeks. Võrguvälise lahenduse eelised on see, et see on sõltumatu ühistvõrgust ning teenustasudevaba. Seda süsteemi saab alati täiendada ja kohandada vajanduspõhisemaks. Võrguvälist süsteemi on kasulik ehitada siis, kui ühisvõrguga liitumine hakkab maksma rohkem kui 40 000 eurot. Tuleb silmas pidada, et kuni 150 m² hoone puhul oma mõistlik paigaldada päikesepaneeli elektri tootmiseks. Suurema hoone puhul läheb tarbimine liiga suureks ja ei suudeta varustada enam elektrit taastuvenergiaga.

3.2.1. Reovesi

Hallvesi (greywater)- reovesi (wastewater), mis tuleb pesupesemisest, vannist, dušist, kraanist

Mille jaoks saab kasutada hallvett:

- Taimede/maastiku kastmine
- WC poti vesi

- Pesumasin

Süsteemid:

- Mehaaniline puhasti WC poti tarbeks (Ecoplay¹¹⁰)
- Bioloogiline süsteem, mis filtreerib vett puhtaks toidujäätmetest
- Bioloogilised filtrid

3.2.2. Puhas vesi

Vihmavesi toidab ära kogu hoone vee kasutuse, mis nõuab kahte puhastus lüli. Esimene filtreerimine hõlmab endas esmase suurema saaste eemaldamist ning esmaseid loputusseadmeid. Ilma viimaseta ei oleks võimalik vihmavett kasutada joogiveena. Kui vihmavett kasutatakse joogivee tarbeks, siis mahutist välja pumbatud vesi liigub puhastus süsteemi ja sealt edasi vajalikesse sihtpunktidesse. Puhastus süsteem hõlmab filtreid, desinfitseerimist ning pH taseme mõõtmist. Off grid lahenduse puhul võib kasutada päikeseenergial põhinevat vee destilleerimist, mis on kõige energiatõhusam variant.

3.2.3. Sanitaarruum

Kuna wc poti vett ei ole efektiivne omakorda teise filtriga veelkord puhastada, siis hoonesse peaks jooksuma kaks süsteemi: destilleeritud ehk puhas vesi ning vaid esmase filtreerimise läbinud vesi tualeti jaoks.

Teine variant oleks kasutada wc kloseti asemel kuivkäimla varianti. Veevaba tualett on jäätmekäitlussüsteem, mis ei kasuta vett. See kasutab vee tarbimise vähendamiseks bioloogilisi protsesse.

- Kompostkäimlad – lagundavad inimjäätmelooduslikult toidainerikkaks kompostiks, mida saab kasutada põllukultuuride väetamiseks. Inimjätmeid hoitakse istme aluses konteineris või kaugemal tualetist. Inimjäätmel jagunevad tahkeks ja vedelaks aineks ning algab lagunemisprotsess. Jäätmel lagunevad väetiseks, kas anaeroobse või aeroobse lagunemise teel.

- Põletuskäimlad – põletab inimjäätmel steriilseks tuhaks. Need kasutavad elektrienergiat/maagaasi/gaasi. Vajalik temperatuur on 520–760 kraadi. Jätmete põletamine võtab aega kuskil tund

- Kuivpuhastusega tualett – kasutavad vooderkotte,

mis langevad kokku ja sulgevad jäätmel iga kord kui loputada ning hoiavad need õhukindlates taskutes. Süsteem vajab toimimiseks energiat ja need on varustatud enamjaolt aku ja laadimise kaabliga.

3.2.4. Energia

Off-grid lahenduse puhul on oluline määrata hoones elava leibkonna suurus ja nende tarbimine, et teada palju on vaja energiat toota. Samuti oleneb energia tootmine ka hoone suurusel, et mõista kui palju oleks vaja soojusenergiat. Kui võtame aluseks 150 ruutmeetrisel hoone, mis toodab ca 1500 kWh kuus, siis sellele tuleb juurde lisada ka elektri tarbimisvajadus, mis neljaliikmelisel pere puhul võib olla ca 2000 kWh. Sellele juurde tuleb arvestada põletustoaletile kuluva energia, mis on umbes 120 kWh kuus. Vee filtreerimise ja pumpamise lahendamel tuulegeneraatoriga, mis võtab umbes 30 kWh kuus. Tehnoruumi suurus võib olla umbes 5 m².

Kõetav pind	25–50 m²	50–100 m²	100–150 m²	150–200 m²
Asukoht	Tallinn	Tallinn	Tallinn	Tallinn
Päiksetunde a.	2,9	2,9	2,9	2,9
kütteks vajalik võimsus	kuni 6000 kWh/a	6000–12000 kWh/a	12000–18000 kWh/a	18000–24000 kWh/a
ligikaudu Kombenseeritav	90 %	90 %	90 %	90 %
el. vajadus Energia tootlikkus (arvestades tolmu ja ilma)	85 %	85 %	85 %	85 %
Päikesepaneelide võimsus (kW)	6	6–12	12–18	18–24
Paneelide arv (tk)	21	21–41	41–61	61–81
Tootlikkus (kWh)	5997	5997–11994	11994–17991	17991–23998
Vajalik pind (m²)	30	30–72	72–96	96–145
Efektiivseim nurk	35	35	35	35
Hind	8000–10000	10000–14000	14000–21000	21000–28000

Tabel 21. Päikesepaneelide kasuteguri arvutamine Tallinnas.

Elektri tarbimisharjumused	1 IN ELEKTER (kWh)	2 IN ELEKTER (kWh)	4 IN ELEKTER (kWh)
Talvekuude keskmine	125.7	163.6	171.5
Kevadkuude keskmine	73.0	153.7	182.7
Suvekuude keskmine	87.5	88.9	155.2
Sügiskuude keskmine	105.6	150.8	186.4
KUU KESKMINE	98.0	139.2	173.9
Talveperioodi keskmine	377.2	371.4	514.4
Kevadperioodi keskmine	219.1	354.4	548.0
Suveperioodi keskmine	262.6	230.9	465.6
Sügisperioodi keskmine	316.7	334.2	559.2
AASTASE TARBIMISE KESKMINE	1175.5	1290.9	2087.1

Tabel 22. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus erinevate peretüüpide stsenaariumite põhjal, kes võiksid elada ühepereelamus. Andmed kogutud I+X uurimisrühma poolt.

3.2.5. Elekter

Taastuvast energiaallikast toodetud energia muundatakse alalisvoolult vahelduvvoolule, mis tagab laiema kodutehnikavaliku, kuna enamus kodutehnikat on disainitud vahelduvvoolule. Elektri muundamiseks on vaja soetada inverterid, mille võimsus peaks olema ca 10 kW. Sellele lisaks on vaja soetada energiasalvesti võimsusega ca 15 kWh.

3.2.6. Soojusenergia

Soojuskandjaks tuleks valida õhk-õhk soojuspump, mille puhul üks õhksoojuspump suudab tagada soojuse kandvuse kõikidesse ruumidesse kuni 150 ruutmeetrise hoone puhul. Soojuspumpade hinnad 1250 eurost kuni 2900 euron. Päikesepaneelid suudavad 100–150 m² hoone puhul toota aastas umbes 12000–18000 kw. Mis jätab maasoojuspumba ca 4000 kWh/a vaegusesse ja tuleb arvestada, et päiksepaneelid pole talvel kõige suurema efektiivsusega, kui just maasoojuspumpa on vaja toita.

3.2.7. Maksumus ja tasuvus

Täielikult võrguvaba lahendus on kasulik ehitada siis, kui kogu tehnika investeeringu tasuvusaeg on 5–10 aastat, sest päikesepaneelide enda 100% tootlikku on kuni 10 aastata. Peale seda hakkab tootlikkus langema. Kogu süsteemi väljaehitamine võib maksta ca 40 000 eurot¹¹¹ põhinedes Igor Šramovi magiströö uurimistulemusele.

¹¹¹ I. Šramov, Võrguühendusega eramu elektrivarustussüsteemi lahendus, lk 29–30.

3.3. Lahendus 3 – täielikult võrgus (ühiskondlik hoone)

Täielikult võrgus elektri ja vee kasutamine on otstarbekas ühiskondlikel hoonete puhul, sest ruumi pindalad on nii suured, mida ei suudaks kompenseerida taastuva energiaga. Suurte hoonete puhul saab taastuvenergiat põhinevaid lahendusi kasutada kas sooja energia tootmiseks või valgusallikate toitmiseks.

3.3.1. Reovesi

Lokaalse kanalisatsiooni puhul voolab vesi majast välja, kas kogumiskaevu või septikusse. Seda on mõistlik paigaldada väikese tarbimisega majas või piirkonnas, kus puudub ühiskanalisatsioon. Ühiskanalisatsiooniga liitumiseks on vaja ühendus torustikku ning liitumispunkti. Reovee mahuna arvestatakse võrdseks võetud vee mahuga. Tallinna vee tasu reovee ärajuhtimise ja puhastamise eest juriidilisele isikule 2.10 eur/m³ km-ga.¹¹²

3.3.2. Puhas vesi

Tiheasustustes on üldjuhul olemas tsentraalsed

¹¹² Vee- ja kanalisatsiooniteenuse hinnakirjad. – Tallina Vesi, <https://tallinnavesi.ee/klient/arveldamine/vee-ja-kanaliteenuse-hinnakirjad-3/> (vaadatud 24. VIII 2023).

trassid. Hajaasustuses kasutatakse lokaalseid lahendusi, kus rajoonid on lahendatud lokaalsete lahendustega näiteks pumbamaja süsteem ja lokaalsed kanalisatsiooni lahendustega.¹¹³ Eelistatud on kasutada ühisveevärgi vett, mis vastab joogivee nõuetele. Lokaalne veevarustus ehk näiteks puurkaevu vee kvaliteet ei ole alati teada ega turvaline joomiseks.¹¹⁴ Tallinna vee tasu olmevee eest juriidilisele isikule 2.18 eur/m³ km-ga.¹¹⁵

3.3.3. Soojusenergia

Kaugküte on Eestis levinuim küttekiik, Eestis tarbitakse soojust vähemalt 8 kuud aastas ning mahult elektrist kaks korda rohkem.

Soojusenergia levib katlamajast kahel erineval viisil, kas kinnise või lahtise süsteemi vahendusel. Kinnise ehk sõltumatu süsteemi puhul jõuab soe vesi hoonesse torustiku kaudu. Lahtises ehk sõltuvas süsteemis eraldatakse üksteisest välis- ja sisevõrgud soojusvahendite abil, külma vesi lisandub

soojaveesüsteemi majas.¹¹⁶

Kaugküte teekond hoonesse:

- Katlamajas või koostootmisjaamas toodetakse soojust, millega köetakse hooned ja soojendatakse tarbevett
- Kuum vesi pumbatakse torustiku kaudu hoone soojussõlme
- Kuum vesi annab soojusvahetite abil soojust radiaatoritesse ja/või pörandaküttesse ja soojendab tarbevee
- Soojuse ära andnud vesi suunatakse tagasi katlamajja või koostootmisjaama, kus see uuesti kuumutatakse¹¹⁷

Utilitase Tallinna ja Maardu taastuvenergia ja heitsoojuse osakaal on 68%, köetavate hoonete pindala 17 700 000 m², 4676 soojust tarbivat hoonet.¹¹⁸

113 VESI- JA KANALISATSIOON. MILLISEID LAHENDUSI EELISTADA JA MILLISED ON RISKID? – Eri, <http://www.eri.ee/vesi-ja-kanalisatsioon-milliseid-lahendusi-eelistada-ja-millised-riskid/> (vaadatud 24. VIII 2023).

114 Kust tuleb vesi ja kuhu läheb reovesi? – Arcovara.ee, <https://www.arcovara.ee/et/blogi/118-kasulik-teada-head-vihjed/114127-kust-tuleb-vesi-ja-kuhu-laeheb-reovesi> (vaadatud 24. VIII 2023).

115 Vee- ja kanalisatsiooniteenuse hinnakirjad. – Tallinna Vesi

116 Millist küttesüsteemi valida? – Hange.ee, <https://www.hange.ee/blogi/millist-kuttesusteemi-valida/> (vaadatud 24. VIII 2023).

117 Kaugküte. – Utilitas.ee, <https://www.utilitas.ee/kaugkute-ja-kaugjahutus/kaugkute/> (vaadatud 24. VIII 2023).

118 Kaugküte. – Utilitas.ee.

KOKKUVÕTE

Käesolev raport avas isemajandava hoone süsteemi erinevaid viise hõlmates endas lisaks energia salvestamisele, vihma- ja reovee käsitlesele ka erinevaid lahendusi uurimisgrupi kogutud andmete põhjal. Põhjalik kaardistus erinevatest isemajandava hoone näidetest ja võimalustest annab hea ülevaate tänapäeval toimivatest lahendustest.

Aina enam vaadatakse ehituses konkreetse hoone keskkonnamõju. Isemajandava hoone süsteem mängib olulist rolli, kuidas süsiniku jalajälg oleks väiksem ka hoone enda eluea ajal mitte vaid hoone ehituse või lammutuse ajal. Need süsteemid on loodud tagama hoone iseseisva toimimise ilma väliste ressurssideta ning hoonel puudub vajadus olla ühenduses välisvõrkudega. Taastuvad energiaallikad ja vee kasutamine aitavad vähendada loodusressursside liigset kulutamist ning pakuvad suuremat kindlust ka kriisiolukordades või maal elavatele inimestele, kellel puudub võimalus enda hoone lülitada välisvõrkudesse.

Antud teemad on lähteülesandeks projekti "Moodulsüsteemi 1+X arendus, tehnomooduli

väljatöötamine ja põhu kui materjali kasutamise uurimine" eskiisprojektide staadiumi aluseks. Välja valitud näidete uurimine loob lähteülesande, mille alusel uuritakse ja projekteeritakse modulaarse hoonestuse mustersüsteemi tark ehk tehniline moodul, mis hõlmab endas märg- ja tehnoruume ning töötab justkui hoone ajuna. Antud dokumendis välja toodud praktilised lahendused ja erinevate leibkondade elektri ja vee tarbimised toetavad ka arhitektuurilisi otsuseid, mida on ka kaardistatud näidete puhul näha, et taolisi tehnilisi lahendusi saab panna mängima ka arhitektuuris.

KASUTATUD ALLIKAD

Raamatud

A. Bridgewater, G. Bridgewater, The off-grid energy handbook. Warrong: New Holland Publishers, 2008.

G. A. Heath, T. J. Silverman, M. Kempe, M. Deceglie, D. Ravikumar, T. Remo, H. Cui, P. Sinha, C. Libby, S. Shaw, K. Komoto, K. Wambach, E. Butler, T. Barnes, A. Wade, Research and development priorities for silicon photovoltaic module recycling to support a circular economy. – Nature Energy 5, 2020.

H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse. Gabriola Island: New Society Publishers, 2007.

J. Green, Good energy: renewable power and the design of everyday life. New York: Princeton Architectural Press, 2021.

N. Griffiths, Eco-house manual: a guide to making environmentally friendly improvements to your home. Somerset: Haynes Publishing, 2015.

Uurimistööd ja magistritööd

C. W. Forsberg, D. C. Stack, D. Curtis, G. Haratyk, N. A. Sepulveda, Converting excess low-price electricity into high-temperature stored heat for industry and high-value electricity production. 2017, Massachusetts Institute of Technology: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619017300362?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=80dcdc77fec3543a.

I. Šramov, Võrguühendusest eramu elektrivarustussüsteemi lahendus. Magistritöö, 2022, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/Item/0ce93ed6-ecd6-4045-9345-9b47de13c220>.

J. Faltn, C. von Knorre, W. Walther, B. F. Zimmermann, D. Indriksone, I. Aļeksejeva, I. Brēmere, Ehitise enrgiatõhusus. 2009, Balti Keskkonnafoorum: https://bef.ee/wp-content/uploads/2014/04/Ehitiste-energiat%C3%B5husus_terminite-s%C3%B5nastik-inglise-ja-eesti-keeles.pdf.

K. Koonik, Energiatõhusad hooned Eestis. Bakalaureuse töö, 2018, Eesti Maaülikool: <https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/4116/Koonik%20Kerdi%202018BA%20KK%20t%C3%A4istekst>.

[pdf?sequence=1&isAllowed=y](#).

M. Polikarpus, Üksikelamu arvutuslik ja tegelik energiatarve. Magistritöö, 2014, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/Download/6cb481c9-4b43-4faa-bcd1-fc42733d585>.

R. Feldman, Päikseenergia kasutamine väikeelamu näitel. Magistritöö, 2017, Eesti Maaülikool: https://dspace.emu.ee/xmlui/bitstream/handle/10492/3566/Regina_Feldman_2017BA_EK_täistekst.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

S.-E. Alamaa, Võrguühendusest kortermaja elektrivarustuslahenduse modelleerimine ja tehnilis-majanduslik analüüs. Magistritöö, 2018, Tallinna Tehnikaülikool: <https://digikogu.taltech.ee/et/item/8930229d-fbe8-448a-904d-80cdc7d9c44b>.

Interneti allikad

Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture, 2009, <https://architizer.com/projects/cape-russell-retreat/> (vaadatud 24. VIII 2023).

D. L. Chandler, This ancient technology could be the

answer to one of renewable energy's biggest problems. – World Economic Forum, 2017, <https://www.weforum.org/agenda/2017/09/this-ancient-technology-could-be-the-answer-to-one-of-renewable-energys-biggest-problems> (vaadatud 24. VIII 2023).

Data. – National Centres for Environmental Information, <https://www.ncei.noaa.gov/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Eesti veetarbija on Euroopa keskmisest säästlikum. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/eesti-veetarbija-on-euroopa-keskmisest-saastlikum/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Energiatarbimine kodumajapidamistes. – Energiatalgud, https://energiatalgud.ee/Energiatarbimine_kodumajapidamistes (vaadatud 24. VIII 2023).

Grey Water: What It Is, What to Avoid & More. – Ecolife, 2022, <https://ecolife.com/dictionary/grey-water/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Greywater Recycling. – The GreenAge, 2023, <https://www.thegreenage.co.uk/tech/greywater-recycling/> (vaadatud 24. VIII 2023).

How Many Kilowatt Hours Does It Take to Power Your House? – Pineappleenergy, <https://pineappleenergy.com/resources/how-many-kilowatts-does-it-take-to-power-a-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Imb-ja filterväljakute rajamine. – Heidomer, 2023, <https://heidomer.ee/imb-ja-filtervaljakute-rajamine/> (vaadatud 24. VIII 2023).

J. Desjardins, What Uses the Most Energy in Your Home? – U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php> (vaadatud 24. VIII 2023).

J. Marsh, How Many Watts Does it Take to Run a House? – EnergySage Blog, <https://news.energysage.com/how-many-watts-does-it-take-to-run-a-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

J. Marsh, Solar panel recycling: what you need to know. – EnergySage, 2023, <https://news.energysage.com/recycling-solar-panels/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Joogivee kvaliteet. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/joogivee-kvaliteet/> (vaadatud 24. VIII 2023).

K. Ham, Lingering effect of Katrina. – Answers In

Genesis, 2005, <https://answersingenesis.org/blogs/ken-ham/2005/08/31/lingering-affect-of-katrina/> (vaadatud 17. IX 2023)

Kas kallis elektrivõrgu liitumistasu või võrguühenduseta lahendus? – Eesti Päiksevägi OÜ, <https://paiksevagi.ee/kas-kallis-elektrivorgu-liitumistasu-voi-vorguuhenduseta-lahendus/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Kaugküte. – Utilitas.ee, <https://www.utilitas.ee/kaugkute-ja-kaugjahutus/kaugkute/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Kõige keskkonnasõbralikum kastmisvesi on vihmavesi. – Tallinna Vesi, <https://tallinnavesi.ee/algamas-on-kastmishooaeg/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Kui palju maksab imbväljaku rajamine? – Hange, 2021, <https://www.hange.ee/blogi/kui-palju-maksab-imbvaljaku-rajamine/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Kust tuleb vesi ja kuhu läheb reovesi? – Arcovara.ee, <https://www.arcovara.ee/et/blogi/118-kasulik-teada-head-vihjed/114127-kust-tuleb-vesi-ja-kuhu-laeheb-reovesi> (vaadatud 24. VIII 2023).

L.Wilson, Average Household Electricity Consumption

2023. – Shrink That Footprint, <https://shrinkthatfootprint.com/average-household-electricity-consumption/> (vaadatud 28. IX 2023).

Määrus nr 63, Hoone energiatõhususe miinimumnõuded. – Riigi teataja, 11. XII 2018, https://www.riigiteataja.ee/aktiis/1050/7202/3309/MKM_m63_lisa2.pdf# (vaadatud 24. VIII 2023).

Millist küttesüsteemi valida? – Hange.ee, <https://www.hange.ee/blogi/millist-kuttesusteemi-valida/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Mis on hüdroenergia? Selle eelised ja puudused. – Energia Foorum, 2022, <https://energiafoorum.ee/t/mis-on-hydroenergia-selle-eelised-ja-puudused/13> (vaadatud 24. VIII 2023).

Mõõtmised maapinnal. – Keskkonnaagentuur, <https://www.ilmateenistus.ee/ilmatarkus/mootetehnika/mootmised-maapinnal/sademed/> (vaadatud 24. VIII 2023).

OutSide In House. – STUDIO-FV, 2010, <https://architizer.com/projects/outsidein-house-1/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Päikesepaneelide kinnitused ja kaldenurk. – ENERGIA

PARTNER, <https://energiapartner.ee/paikeseenergia/paikesepaneelide-kinnitused-ja-kaldenurk/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Shishiodoshi House. – Avignon-Clouet Architecture, 2010, <https://architizer.com/projects/shishiodoshi-house/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Solar still. – Desalination, 2023, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-still> (vaadatud 24. VIII 2023).

Strong septik koos imbväljaku komplektiga kuni 6-le inimesele, mahutavusega 3000 l. – Kanalisatsioon.ee, <https://kanalisatsioon.ee/toode/septik-strong-imbvaljak-3m3/> (vaadatud 24. VIII 2023).

The Ecoplay System. – yumpu, <https://www.yumpu.com/en/document/view/3432192/the-ecoplay-system> (vaadatud 24. VIII 2023).

Use of energy explained. – U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php> (vaadatud 24. VIII 2023).

Vee- ja kanalisatsiooniteenuse hinnakirjad. – Tallina Vesi, <https://tallinnavesi.ee/klient/arveldamine/vee-ja-kanaliteenuse-hinnakirjad-3/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Vee tarbimine Eestis on kasvanud. – Keskkonnaagentuur, <https://keskkonnaagentuur.ee/uudised/vee-tarbimine-eestis-kasvanud> (vaadatud 24. VIII 2023).

VESI- JA KANALISATSIOON. MILLISEID LAHENDUSI EELISTADA JA MILLISED ON RISKID? – Eri, <http://www.eri.ee/vesi-ja-kanalisatsioon-milliseid-lahendusi-eelistada-ja-millised-riskid/> (vaadatud 24. VIII 2023).

Water-Efficient Technology Opportunity: Rainwater Harvesting Systems. – Energy.gov, 2023, <https://www.energy.gov/femp/water-efficient-technology-opportunity-rainwater-harvesting-systems> (vaadatud 24. VIII 2023).

2022. aasta ilma ülevaade. – Eesti Keskkonnaagentuur, <https://storymaps.arcgis.com/stories/4228816a72904bd0854447a6d89728a0> (vaadatud 24. VIII 2023).

Illustratsioonid

Joonis 1. Horisontaalse pöörlemisteljega tuulegeneraator.

Joonis 2. Vertikaalse pöörlemisteljega tuulegeneraator.

Joonis 3. Lihtsustatud hallvee kasutuse süsteem.

Joonis 4. Täiustatud hallvee puhastus.

Joonis 5. Imbväljak.

Joonis 6. Filterväljak.

Joonis 7. Veepuhastus süsteemi moodustavad seadmed. Allikas: H. Kinkade-Levario, Design for Water: Rainwater Harvesting, Stormwater Catchment, and Alternate Water Reuse. Gabriola Island: New Society Publishers, 2007, lk 17.

Joonis 8. Vaakumlüliti.

Joonis 9. Veekogumis ja filtreerimissüsteem.

Joonis 10. Päikeseenergial töötav veepuhasti. Allikas: Solar still. – Science Direct, <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-still>.

Joonis 11. Vee kogumine katuse pinnaga. Allikas: Cape Russell Retreat. – Sanders Pace Architecture, 2009, <https://architizer.com/projects/cape-russell-retreat/>.

Joonis 12. Vee kogumise hulga suurendamine pikendatud räastaga. Allikas: OutSide In House.

– STUDIO-FV, 2010, <https://architizer.com/projects/outsidein-house-1/>.

Joonis 13. Kodumasinaga vee tarbimine protsentuaalselt.

Joonis 14. Energiatarbimine kodumajapidamistes. Allikas: Energiatarbimine kodumajapidamistes. – Energiatalgud, https://energiatalgud.ee/Energiatarbimine_kodumajapidamistes.

Joonis 15. Ameerika Ühendriikide energia tarbimine vastavalt asukohale. Allikas: Use of energy explained. – U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php>.

Joonis 16. Üldine energiatarve protsentides. Allikas: J. Desjardins, What Uses the Most Energy in Your Home?. – U.S. Energy Information Administration, <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/homes.php>.

Joonis 17. Köppen-Geigeri kliima klassifikatsioonid Euroopas energiasäästliku hoone projekteerimisel. Allikas: S.-E. Alamaa, Võrguühendusega kortermaja elektrivarustuslahenduse modelleerimine ja tehnilis-majanduslik analüüs. Magistritöö, 2018, Tallinna

lasteaia stsenaariumite põhjal. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 8. Ühe inimese elektritarbimine korteris kolme stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 9. Kaheliikmelise pere elektritarbimine korteris kolme stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 10. Neljaliikmelise pere elektritarbimine korteris ühe stsenaariumi näitel. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 11. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus erinevate peretüüpide stsenaariumite põhjal, kes võiksid elada ühepereelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 12. Elektri tarbimine ühe stsenaariumi põhjal, kus on elektriküte. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 13. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus kolme lasteaia stsenaariumite põhjal. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 14. Nõuded ehitatavatele ja rekonstrueeritavatele hoonetele. Algallikas: Määrus nr 63, Hoone energiatõhususe miimumnõuded. – Riigi teataja, 11. XII 2018, https://www.riigiteataja.ee/aktiis/1050/7202/3309/MKM_m63_lisa2.pdf#.

Tabel 15. Energia tarbijate edetabel riikide põhjal. Algallikas: L. Wilson, Average Household Electricity Consumption 2023. – Shrink That Footprint, <https://shrinkthatfootprint.com/average-household-electricity-consumption/>.

Tabel 16. Tarbimine 2-toalise renoveerimata tellistest korterelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.

Tabel 17. Keskmise sademete hulk aastas vastavalt piirkonnale. Algallikas: Data. – National Centres for Environmental Information, <https://www.ncei.noaa.gov/>.

Tabel 18. Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes. Algallikas: 2022. aasta ilma ülevaade. – Eesti Keskkonnaagentuur, <https://storymaps.arcgis.com/stories/4228816a72904bd0854447a6d89728a0>.

Tabel 19. Keskmise sademete hulk aastas vastavalt piirkonnale. (algallikas: Data. – National Centres for Environmental Information, <https://www.ncei.noaa>.

gov/) ja sademevee tootlikkus vastavalt katusepinna suurusele. Viimases sektsioonis on võrreldud kogutava vihmavee hulka vajamineva tarbitava vee hulga alusel: 46 m² pindala vastab 18.5 m³ veetarbimisele aastas (üksik inimene); 95 m² pindala vastab 64.6 m³ veetarbimisele aastas (2-liikmeline perekond); 250 m² pindala vastab 108.8 m³ veetarbimisele aastas (4-liikmeline perekond) (andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt) Halliga märgitud numbrid näitavad, et kogutav vihmavesi aastas ei ole piisav aastaseks vee tarbimiseks.

Tabel 20. Eesti keskmine sademete hulk kuude lõikes ja sademevee tootlikkus vastavalt katusepinna suurusele. Algallikas: 2022. aasta ilma ülevaade. – Eesti Keskkonnaagentuur, <https://storymaps.arcgis.com/stories/4228816a72904bd0854447a6d89728a0>.

Tabel 21. Päikesepaneelide kasuteguri arvutamine Tallinnas.

Tabel 22. Elektri tarbimisharjumuste võrdlus erinevate peretüüpide stsenaariumite põhjal, kes võiksid elada ühepereelamus. Andmed kogutud 1+X uurimisrühma poolt.