



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

ÜHEPEREELAMU ENERGIATÕHUSUS JA KÜTTESÜSTEEMI KAVANDAMINE

Single Family Detached House Energy Efficiency And Heating
System Planning

NTS60LT

Magistritöö

Materjalide taaskasutamise erialal

Üliõpilane: **Juhani Võik**

Juhendaja: **dotsent Toivo Kabanen**

Kaasjuhendaja: **dotsent Aime Ruus**

Tartu, 2015

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.
Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite
tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt
pärinevad andmed on viidatud.

..... (töö autori allkiri ja kuupäev)

Üliõpilase kood: EAKI 092642

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

Võik, J. „Single Family Detached House Energy Efficiency And Heating System Planning“. Master's thesis. Work is written in Tartu 2015, in 1 volume. It contains 88 pages, 27 tables, 14 drawings. Master's thesis is written in Estonian language.

The aim of this research is to compare ground source heat pump and air-water heat pump properties and cost. This research also compares solar panels and wind generators for producing electricity on site. Based on the results, the most cost effective heating solution and electricity producer is chosen.

In this thesis conceptual architectural design is made for existing building. The thermal conductivities of floor, external walls, roof, doors and windows are used to find the heat loss from the house. The heat loss from thermal bridges and air infiltration is also taken into account. Depending on the results the heating demand and source is found. To find the optimal heating solution, the cost of different heating systems is calculated. The payback time of ground source heat pump and air-water heat pump is compared.

By analyzing solar panels and wind generators properties and cost, most effective electricity producer is chosen. Previous energy consumption and climate features are taken into account. To find the optimal electricity producer, the payback time is calculated and compared.

This research can be used as reference material if choosing heating systems for a similar house.

Keywords: ground source heat pump, air-water heat pump, solar panels, wind generators, energy efficiency.

SISUKORD

ABSTRACT	3
SISUKORD	4
SISSEJUHATUS	6
TERMINOLOOGIA.....	7
1. KIRJANDUSE JA NORMATIIVIDE ÜLEVAADE.....	8
1.1 Energiatõhususe miinimumnõuded Eestis	8
1.2 Küttesüsteemide liigid, kütte projekteerimine	10
1.3 Külmasillad	13
1.4 Hoonepiirete õhulekked	14
1.5 Niiskus ehituskonstruksioonides	15
1.6 Küttesüsteemide ja elektritootjate tööpõhimõtted	16
1.6.1 Päikeseenergia	16
1.6.2 Tuuleenergia	19
1.6.3 Maasoojuspump.....	21
1.6.4 Õhk-vesi soojuspump	22
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	24
3. MATERJAL JA METOODIKA.....	25
3.1 Hoone kirjeldus, hoone seletuskiri.....	25
3.1.1 Üldosa.....	25
3.1.2. Arhitektuurne lahendus.....	25
3.1.3. Arhitektuurne üldlahendus	25
3.1.4. Arhitektuursed nõuded hoone piirdekonstruktsioonidele.....	25
3.1.5. Hoone piirdekonstruktsioonide üldine iseloomustus.....	25
3.1.6. Tuleohutusnõuded	27
3.1.7. Keskkonnamõjud	28
3.1.8. Hoone sisearhitektuur	28
3.1.9. Konstruktiiivne lahendus	29
3.2. Välispiirde soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika	30
3.3. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika.....	33
3.4. Akende soojusjuhtivuse arvutamise meetoodika.....	34
3.5. Välispiirete summaarse soojuserikao arvutamise meetoodika	34
3.6. Välispiirde kondenseerumisrisi arvutamine Glaseri meetodiga	36
3.7. Küttesüsteemi arvutamise meetoodika	39
4. PIIRETE SOOJUSTEHNILISTE OMADUSTE ANALÜÜS	44
4.1. Välispiirde soojusjuhtivuse arvutamine	44
4.1.1. Välisseina soojusjuhtivuse arvutamine.....	44

4.1.2.	Katuse soojusjuhtivuse arvutamine	46
4.2.	Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutamine	48
4.3.	Akende soojusjuhtivuse arvutamine	49
4.4.	Välispiirete summaarse soojuserikao arvutamine.....	50
4.5.	Küttesüsteemi võimsuse arvutamine	51
4.6.	Välispiirde kondenseerumisriski arvutamine.....	53
4.6.1.	Välisseina kondenseerumisriski arvutamine	53
4.6.2.	Katuse kondenseerumisriski arvutamine	55
5.	TULEMUSED JA ARUTELU	57
5.1.	Kütte osa tasuvusarvutuste alused	57
5.2.	Elektri tootmise tasuvusarvutuste alused	58
5.3.	Maasoojuspumba tasuvusarvutus	59
5.4.	Õhk-vesi soojuspumba tasuvusarvutus	61
5.5.	Päikeseenergia tasuvusarvutus.....	62
5.6.	Tuuleenergia tasuvusarvutus.....	64
5.7.	Tulemuste analüüs	69
	KOKKUVÕTE	74
	KASUTATUD KIRJANDUS	75
	LISAD	77
	Lisa 1. Olemasoleva hoone pildid	77
	Lisa 2. Koostatud joonised	79

SISSEJUHATUS

Energia hinna tõusust lähtuvalt on suurenenud huvi taastuenergiaallikate ja lokaalsel tasandil energia tootmise võimaluste kohta. Turul on palju erinevaid firmasi, kes pakuvad varieeruvaid lahendusi. Kõikide nende vahel on raske majandulikult õige valik teha, silmas peab pidama objekti asukohta, rajamismaksumust, tootlikkust, eluiga ja tasuvusaega.

Ühepereelamu laiendatud eelprojekt sai valitud lõputöö objektiks, kuna autor on isiklikult kursis seal tehtud töödega. Hoone välis- ning siseviimistlust, samuti lisasoojustamist, ei ole otstarbekas muuta ega korrastada. Tõhusama ja säästlikuma kütteallika kasutusele võtmine on aga pikemalt kavas olnud. Lõputöös keskendutakse soojusallika uuendamisele – hoone konstruktsioonide ega viimistluse uuendamist ei ole arvestatud. Lisaks kaalutakse võimalust krundil elektrienergia tootmist alustada.

Kuivasilla talu näol on tegemist puitsõrestikhoonega, mis on valminud 2000.aastal. Hoone asub Tartu vallas Sojamaa külas, 15 kilomeetri kaugusel Tartu kesklinnast. Kuna andmete digitaliseerimisega on valla arhiivist kaduma läinud eramu projekt ja ilma selleta ei saa taotleda kasutusluba, siis autor kogus mõõdistuste käigus andmeid hoone kohta ning koostas uue eelprojekti.

Käesolevas lõputöös koostatakse olemasolevale hoonele uus arhitektuurne eelprojekt. Arvutatakse soojuskaod läbi hoone välispiirete, külmasildade ja õhulekete ning tulemustest sõltuvalt leitakse küttevajadus. Kontrollitakse välispiirete kondenseerumiskiriski Glaseri meetodiga. Analüüsitakse maasoojuspumba ning õhk-vesi soojuspumba rajamismaksumust ja tasuvusaega. Antakse ülevaade päikesepaneelidega ning tuulegeneraatoriga elektri tootmise võimalustest ning nende tasuvusaegadest.

Lõputöös on ehitusfüüsikalised arvutused tehtud hoonete energiatõhususe arvutamise meetodikat, vastavaid standardeid ning erialast kirjandust kasutades. Uuritava hoone arhitektuursed joonised on koostatud autori poolt kohapealsete mõõtmiste tulemusel. Planeeritavad kütteallikad ja elektrienergia tootmise seadeldised on projekteeritud lähtudes arvutustulemustest ning vastavate süsteemide paigaldusjuhendeid järgides.

Käesolev töö on jaotatud viieks osaks. Esimeses osas antakse ülevaade tööd puudutavatest kirjandusallikatest ning normidest. Teises osas tuuakse välja töö ülesanne ning eesmärgid. Kolmandas osas käsitletakse töö materjale ning meetodikat. Neljandas osas esitatakse piirete soojustehniliste omaduste analüüs. Viiendas osas võrreldakse küttesüsteemide ning elektritootjate tasuvusaegu, esitatakse arvutuskäigud, võrdlustabelid ning analüüs. Lisade alla kuuluvad fotod hoonest ning koostatud joonised.

TERMINOLOOGIA

Piirdetarind	ehitise põhiosa või piire nagu sein, põrand, vahelagi, uks, aken, katus, mis eraldab ruumi teisest ruumist, välisõhust või pinnasest. [1]
Soojustus	materjalikiht soojusülekanne oluliseks tõkestamiseks. [1]
Põrand pinnasel	põrandatarind, mis toetub kogu pinna ulatuses otse pinnasele. [2]
Soojusvoog (q)	soojusvool vaadeldava pinna pindalaühiku kohta, W/m^2 . [1]
Soojuserijuhtivus (λ)	materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja $1 m^2$ pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastike pindade vahel on 1 K, $W/(m \cdot K)$. [1]
Soojustakistus (R)	kindla paksusega toote või elemendi omadus takistada soojust voogu läbi toote või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes, $m^2 \cdot K/W$. [1]
Soojusjuhtivus (U)	iseloomustab soojuse voogu läbi piirdetarindi statsionaarsetes tingimustes, $W/(m^2 \cdot K)$. [1]
Soojuslääbivus (U_c)	saadakse arvatud soojusjuhtivusele, U , paranduse ΔU lisamisega, mis koosneb õhupiludest, mehaanilistest kinnititest, pööratud katusest, soojustuse õhujuhtivusest ja külmasildadest tingitud parandusest, $W/(m^2 \cdot K)$. [1]
Külmasild	hoone välispiirde osa, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem. [3]
Joonkülmsilla lisasoojusjuhtivus (Ψ_j)	lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad joonkülmsilla pikkuse kohta, $W/(m \cdot K)$. [1]
Punktkülmsilla lisasoojusjuhtivus (χ_p)	lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad punktkülmsilla kohta, W/K . [1]

1. KIRJANDUSE JA NORMATIIVIDE ÜLEVAADE

1.1 Energiatõhususe miinimumnõuded Eestis

Hetkel kehtivad energiatõhususe miinimumnõuded Eesti Vabariigis on vastu võetud 30. augustil 2012.aastal Vabariigi valitsuse poolt. [4]

Määrusega sätestatakse kõikide hoonete energiatõhususe miinimumnõuded, sealhulgas madalenergiahoonetele ja liginullenergiahoonetele. Määruse reguleerimisalasse kuuluvad kõik uued ehitatavad ja oluliselt rekonstrueeritavad sisekliima tagamisega hooned. Hoonete puhul, mida ei ole seaduses nimetatud, tuleb rakendada energiatõhususe miinimumnõuete määramiseks vajalikku pädevust ning kohaldada määruse nõudeid, kontrollida vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele, lähtudes kõige sarnasema hoone kasutusotstarbest. [4]

Hoone maksimaalseks lubatavaks energiatõhususarvuks on köetava pinna alusel arvatud hoone osade kasutusotstarvete kaalutud keskmine energiatõhususarv. Energiatõhususe miinimumnõuded kehtestatakse kogu hoonele tervikuna. Hoone koosseisu arvatakse energiatõhususarvu arvutamisel lisaks piiretele ja tehnosüsteemidele hoonesse või kinnistule paigaldatud hoonet teenindava kohaliku energiatootmise süsteemid (näiteks päikesepaneelid ning tuulegeneraatorid). [4]

Energiatõhususe miinimumnõuded on ehitatavate ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete summaarse energiakasutuse piirmäärad. Hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele hinnatakse hoone projekteerimisel ehitusprojekti alusel. Energiatõhususe miinimumnõuded on väljendatud energiatõhususarvuna. See on arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone tavakasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Energiatõhususarv kajastab hoone kompleksset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks ning see arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta. [4]

Ehitatava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: [4]

- 1) väikeelamutes $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 2) korterelamutes $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 3) büroohoonetes, raamatukogudes ja teadushoonetes $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 4) ärihoonetes $210 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 5) avalikes hoonetes $200 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 6) kaubandushoonetes ja terminalides $230 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 7) haridushoonetes $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 8) koolieelsetes lasteasutustes $190 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 9) tervishoiuhoonetes $380 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: [4]

- 1) väikeelamutes $210 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 2) korterelamutes $180 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 3) büroohoonetes, raamatukogudes ja teadushoonetes $210 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- 4) ärihoonetes $270 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;

- 5) avalikes hoonetes 250 kWh/(m²*a);
- 6) kaubandushoonetes ja terminalides 280 kWh/(m²*a);
- 7) haridushoonetes 200 kWh/(m²*a);
- 8) koolieelsetes lasteasutustes 240 kWh/(m²*a);
- 9) tervishoiuhoonetes 460 kWh/(m²*a).

Hoone välispiirded peavad olema õhkupidavad ja piisavalt soojustatud. Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, sisepindadel ja tarindites. Ruumide soojusliku mugavuse tagamiseks ei või piirde soojusläbivus üldjuhul ületada väärtust 0,5 W/(m²*K). Sellest kõrgema soojusläbivusega avatäidete puhul tuleb tagada soojuslik mugavus küttelahendustega. Soojustuse valikul tuleb lähtuda sellest, et ehitis oleks hea energiatõhususe tasemega. Elamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest: [4]

- 1) välisseinte soojusläbivus 0,12–0,22 W/(m²*K);
- 2) katuste ja põrandate soojusläbivus 0,1–0,15 W/(m²*K);
- 3) akende ja uste soojusläbivus 0,6–1,1 W/(m²*K), kusjuures lõplikud valikud tuleb teha, lähtudes hoone kompaktsusest ning kütte- ja ventilatsioonilahendusest.

Mitteelamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisena lähtuda järgmistest väärtustest: [4]

- 1) välisseinte soojusläbivus 0,15–0,25 W/(m²*K);
- 2) katuste ja põrandate soojusläbivus 0,1–0,2 W/(m²*K);
- 3) akende ja uste soojusläbivus 0,6–1,1 W/(m²*K).

Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi üldjuhul ületada üht kuupmeetrit tunnis välispiirde ruutmeetri kohta [m³/(hm²)]. Niiskuskonvektsiooni riskide vältimiseks tuleb tarindite kriitilised sõlmed (seina ja vundamendi ning põranda ühendus, sein ja katuse ühendus, katuslae auru- või õhutõkke jätkukohad, läbiviigid) teha võimalikult õhkupidavaks. Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi ületada energiatõhususe miinimumnõuete vastavuse tõendamiseks tehtud energiaarvutuses kasutatud väärtust. [4]

Energiaarvutusega määratakse hoone summaarne energiakasutus hoone sisekliima tagamiseks: nii kütmiseks, jahutamiseks, ventilatsiooniks, valgustuseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks. Sellest lähtuvalt arvutatakse tarnitud ja eksporditud energiakasutused ning hoone energiatõhususarv. [4]

Energiaarvutus tehakse energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamise ja/või energiamärgise koostamise eesmärgil. Määruses sätestatud korras tehtud energiaarvutuse tulemused on kasutatavad mõlemal otstarbel. [4]

Hoone energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust näitavad energiaarvutuste tulemused esitatakse ehitatavate ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete ehitusloa taotluse ehitusprojekti dokumentatsiooni ühe osana. Ehitamise ajal on omaniku kohustus jälgida, et ehitusprojekti ei tehta selliseid muudatusi, mille tulemusena energiatõhususe miinimumnõudeid ei täideta. Juhul kui ehitusprojekti tehakse muudatusi, mis võivad muuta energiatõhususe miinimumnõuded mittevastavaks, siis tehakse kontrollimiseks uus energiaarvutus. [4]

Energiamärgis on dokument, mis antakse projekteeritava või olemasoleva hoone kohta ja mille eesmärk on teada anda, milline on selle hoone projekteeritud energiavajadus või tegelik energiatarbimine ning vajaduse korral tõendada hoone vastavust energiatõhususe miinimumnõuetele. Energiamärgisele lisatakse soovitusel hoone energiatõhususe parandamiseks. Energiamärgisel kajastatakse hoone tegelik või eeldatav aastane energiakasutus, mis märgitakse energiamärgisel asuvale skaalale, andes hoonele vastava energiatarbe klassi. [5]

Energiamärgis on kohustuslik uutel ehitatavatel hoonetel, üle 1000 m² kasuliku pinnaga avalikel hoonetel ja olemasoleva hoone/hoone osa müügil või väljaüürimisel, kui seda nõuab ostja või üürilevõtja. [6]

Tabelis 1 on välja toodud hoone energiatõhususarvu või kaalutud energiakasutuse klassid.

Tabel 1. Väikeelamute (kood 11100, 11210) hoone energiatõhususarvu (ET) või kaalutud energiaerikasutuse (KEK) klassi skaala. [7]

ET või KEK, kWh/(m ² *a)	Klass
ET või KEK ≤ 120	A
121 ≤ ET või KEK ≤ 130	B
131 ≤ ET või KEK ≤ 150	C
151 ≤ ET või KEK ≤ 190	D
191 ≤ ET või KEK ≤ 250	E
251 ≤ ET või KEK ≤ 320	F
ET või KEK > 321	G

1.2 Küttesüsteemide liigid, kütte projekteerimine

Küttesüsteemi ülesanne on soojuse vähimate kadudega edastamine ja soojuse ühtlane jaotamine nii, et hoone kõikides ruumides oleks tagatud vajalik minimaalne siseõhu temperatuur nendes tekkiva vabasoojuse ärakasutamisega. [8]

Võttes arvesse soojuse tootmise iseloomu, küttesüsteemi toimimispõhimõtteid ja ehituslikke iseärasusi, liigitakse küttesüsteeme paljude erinevate kriteeriumide järgi. [8]

Küttesüsteemide liigitus soojusallika asukoha järgi

- Kohtküttesüsteemid [8]
Soojusenergiat toodetakse kohapeal soojuskadude kompenseerimiseks. Kui kohtküttesüsteem hõlmab tervet korterit, siis niisugust lahendust nimetatakse korterkütteks. Kõige tüüpilisemaks kohtküttesüsteemideks on ahiküte, elekterküte, gaasiküte ja soojuspumpadel põhinevad lahendused.
- Keskküttesüsteemid [8]
Soojust toodetakse väljaspool köetavaid ruume ja soojus on ette nähtud ruumide soojusega varustamiseks. Sellisel juhul võib soojusallikas asuda köetavas hoones endas (nt katlamaja, soojussõlm, soojuspump) või väljaspool eraldi hoones. Kui

soojusvarustussüsteem on ette nähtud linna, asula või mõne nende piirkonna soojusega varustamiseks, on tegemist kaugküttega.

Küttesüsteemide liigitus energiakandja järgi

- Fossiilkütustel põhinev küte [8]
Fossiilkütused on mittetaastuvast fossiilsest orgaanilisest ainest pärinevad kütusena kasutatavad põlevmaavarad.
Need võivad põhineda:
 - a) tahketel kütustel, nagu kivisüsi või pruunsüsi;
 - b) vedelkütustel, nagu kerge ja raske kütteõli, diislikütus, põlevkiviõli;
 - c) gaaskütustel, nagu maagaas, põlevkivigaas.
- Biokütustel põhinev küte [8]
Soojuse allikaks on bioloogilist päritolu taastuvkütused ja organismide elutegevuse tagajärjel tekkinud kas otseselt kütustena kasutatavad või spetsiaalselt selleks töödeldud tahked, vedelad või gaasilised ained, mille hulka kuuluvad puit, pelletid, roog, energeetilised kultuurid, orgaanilised põllumajandus-, tööstus- ja olmejäätmed ning nende tahked, vedelad ja gaasilised töötlemisaadused. Selle alla kuuluvad ka hakkpuidul, puidul, pelletitel või prügimäegaasil töötavad katlamajad.
- Elekterküte [8]
Elekterkütet võib liigitada otseseks elekterkütteks, mille puhul ruumide kütteks kasutatav elektrienergia muundatakse vahetult soojuseks, ja kaudseks elektriks, mille puhul pannakse elektriga tööle soojuspump, mis kütab välisõhu soojuse arvelt ruumiõhku.
- Alternatiivsetel taastuenergiaallikatel põhinev küte [8]
Päikese kui energiaallika kasutamine on seotud eelkõige saadava soojuse akumulierimise vajadusega. Aasta ringi saab päikeseenergiat kütteks kasutada ainult suurtes päikeseküttesüsteemides, kus on lahendatud soojuse salvestamine pikemaajaliseks kasutamiseks.

Küttesüsteemide liigitus kasutusviisi järgi

- Pidev küte [8]
Tegemist on valmis ehitatud ja ruumiga kohtkindlalt seotud küttesüsteemiga, mis annab soojust nii, et on tagatud soovitud siseõhutemperatuur.
- Perioodiline küte [8]
Sellisel juhul välja ehitatud ja ruumiga kohtkindlalt seotud küttesüsteem, kuid see ei tööta pidevalt. See võib sõltuda kas soojusallika iseärasustega või ruumide kasutamise otstarbega. Nendeks on näiteks ahiküttega ruumid, kus perioodilisus on seotud ahju kütmissagedusega, ja laoruume, kus kütmine toimub ainult säilitatavate ühikute olemasolul, või siis tootmisruume, kus enne tööpäeva algust tõstetakse õhutemperatuur valverežiimist inimestele normaalsete töötingimuste tagamiseks vajalikule tasemele. Nendega sarnane on ka avalik-ühiskondlike hoonete küte.

- Ajutine küte [8]
Kasutatakse lühikest aega mingi konkreetse ülesande täitmiseks. Üldjuhul on need soojuse tootmiseks ette nähtud teisaldatavad kütteseadmed. Näiteks hoonest liigniiskuse eemaldamiseks ja siseviimistlustööde kvaliteedi tagamiseks.

Küttesüsteemide liigitus soojakandja iseloomu järgi

- Vesiküte [8]
Soojuskandjaks on vesi või mingi aine vesilahus. See on kõige laiemalt levinud küttesüsteemi liik.
- Õhkküte [8]
Soojuskandjaks on õhk. Kasutatakse avalik-ühiskondlike ja tootmishoonete ning ka elamute kütmiseks.
- Aurküte [8]
Soojuskandjaks on aur. Liigitatakse vaakum-, madal- ja kõrgrõhu aurküttesüsteemideks. Aurkütet kasutatakse suhteliselt harva, peamiselt tehnoloogilist auru tarbivates hoonetes.

Küttesüsteemide liigitus soojusenergia ruumi ülekandmisviisi järgi

- Kiirgusküte [8]
Põhiline osa soojusest antakse ruumiõhule kiirguse teel. Tavaküttekehadest on see osa suurim üherealistel konvektiivemendita plekk- ehk paneelradiaatoritel. Mida kõrgemal asub küttepaneel, seda suurem osa soojusest kandub ruumi kiirguse teel, sest ruumi ülemises osas konvektiivsete õhuvoolude intensiivsus väheneb. Samuti on oluline, kuhupoole on pööratud paneeli küttepind, kas üles, küljele või alla. Vastavalt sellele räägitakse kas põrand-, sein- või lagiküttest. Kiirguskütte korral on ruumi vajalik operatiivne temperatuur saavutatav madalama siseõhu temperatuuri juures kui traditsioonilisi küttekehasid kasutades ning ruumisviibijate mugavustunne on saavutatav madalama ruumiõhu temperatuuri juures ja väiksemate küttekuludega kui konvektiivkütel.
- Konvektiivküte [8]
Enamus soojusest antakse ruumiõhule üle konvektiivsel teel. Sellised on enamik traditsioonilisi vesi- ja aurküttesüsteemid ning kõik õhkküttesüsteemid. Konvektiivküte puhul toimub valdav soojuse ülekandmine madalama temperatuuriga ruumiõhu kokkupuutel kõrgema temperatuuriga küttekeha pinnaga. Kui sellistes süsteemides on tegemist õhu loomuliku konvektsiooniga, siis õhkküttesüsteemides kasutatakse soojusülekanne parandamiseks sundkonvektsiooni ehk õhk pannakse liikuma puhurite abil. Tänu sellele suureneb oluliselt ruumiõhule ajaühikus ülekantav soojushulk, mis mille tõttu saab kiiresti ruume üles kütta, kuid sellega kaasneb ka sellega sisekliima mõningane halvenemine (suurenevad õhu liikumise kiirused inimeste viibimisalas, tõuseb mikroorganismide, tolmu jmt osakaal ruumiõhus, võimalikud on ka müraprobleemid). Kuna konvektiivküte puhul soojendatakse ruumi õhku, siis peab vajaliku operatiivtemperatuuri tagamiseks köetavas ruumis olema õhutemperatuur kõrgem ruumi piirdetarindite kaalutud keskmisest pinnatemperatuurist.

Küttesüsteemide liigitus soojuskandja liikumisviisi järgi

- Loomuliku ringlusega süsteemid [8]
Soojuskandja liikumapanevaks jõuks on soojusallikast väljuva sooja vee ja küttesüsteemist tagastuva jahtunud vee tiheduste erinevusest ja soojenemis- ning jahtumispunkti kõrguste vahel tingitud loomuliku ringluse rõhk ringluskontuuris.
- Sundringlusega süsteemid [8]
Soojusallika liikumapanevaks jõuks väline energiaallikas, nt elektrimootoriga ringluspump.

Küttesüsteemide liigitus küttekehade tüübi järgi

- Radiaatorküte [8]
Küttekehadena kasutatakse ruumi seinte äärde paigaldatud radiaatoreid. Kiirgusliku soojusülekanne osa jääb vahemikku 25-50%.
- Paneelküte [8]
Küttekehadeks on sisseehitatud kütteelementidega piirdekonstruktsioonid või nende külge kinnitatud siledapinnalised küttelepaneelid. Siia alla kuuluvad nii põrand-, lagi- kui ka seinküte. On kiirgusküte alaliik.
- Konvektorküte [8]
Küttekehadena kasutatakse ruumi seinte äärde paigaldatavaid konvektoreid. Kasutatakse enamasti suurte klaaspindadega ruumide või hooneosade kütmisel. Konvektiivse soojusülekanne osa on üle 75%.
- Siledapinnalistel torudel põhinev küte [8]
Kasutatakse torukütteelemente, nt vannitubades käterätikukuivateid. Kasutatakse ka põllumajanduslikes ja tööstushoonetes.
- Ribitorudel põhinev küte [8]
Kasutatakse malmist, teras-, alumiinium- või vaskribistusega kütteelemente. Malmribitorukütteelement on enam levinud tootmis- ja abiruumide küttesüsteemides.
- Põrandaliist küte [9]
Kütteelement koosneb põrandaliistu imiteerivast korpusest ning selle sees olevast kütteelementist. Kuulub kiirgusküte alaliiki.

1.3 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusläbivus on suurem ümbritseva tarindi soojusläbivusest. Külmasillad võivad olla geomeetrilised, näiteks välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine või välisseina ja akna liitekoht. Need võivad olla põhjustatud ka ehituskonstruktiiivsest lahendusest, näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigud. [9]

Külmasillade kahjulikkus seisneb ühelt poolt soojusvoolu suurenemises ja teisalt tarindi sisepinna temperatuuri alanemises. Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur

madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. Lisaks külmasillale võivad sisetemperatuuri lokaalset jahenemist põhjustada ka soojustuse puudumine, vead soojustuse paigaldamisel, märgunud soojustus või alarõhu tingimustes õhutõkke lekkes. [10]

Külmasildadega on tähtis arvestada, sest: [10]

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest tingitud madalam sisepinna temperatuur ja sellest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni. Veeaur kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kui suhteline niiskus on 100%. Hallituse kasvuks sobiv suhteline niiskus on 75...80%;
- madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest;
- külmasillad suurendavad hoonete energiakulu.

Kuna hoone välispiirete soojuskaod arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvutatud pindalade järgi, tuleb külmasildadest tingitud lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse külmasildade joonsoojusjuhtivusega. Külmasilla soojusjuhtivus on soojuskadu vattides külmasilla kaudu, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. [10]

1.4 Hoonepiirete õhulekkes

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub kontrollimatu õhuvoolu näol läbi pragude ja ebatiheduste hoone välispiiretes. Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, lekkekohtade asukohtadest, õhurõhkude erinevusest, kasutatavate materjalide omadustest ning kliimatingimustest (näiteks tuule kiirus, suund). Õhurõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul ja temperatuuride erinevus (nn. korstna efekt) või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevus. [10]

Hoonete energiatõhususe analüüsis on oluline roll hoonepiirete õhupidavusel, sest see mõjutab otseselt hoone kütte- ja jahutuskulusid. Hoonepiirete soojusjuhtivuse vähenemisega kasvab kulutus õhuvahetusele. Hoonel, mille välispiirete õhuleke on suur, võib piirete õhulekkekohtade kaudu toimuv õhuvahetus olla suuremgi kui ventilatsiooniseadmete poolt vahetatav õhuhulk. Tavapärase hoone energiakulu võib olla oluliselt suurem kui väga väikese õhulekkega hoonel. [10]

Õhulekete teel kandub siseruumidesse hallituseoseid, radooni või õhusaastet garaazist. Eestis tehtud uuringud on näidanud, et suurema õhulekkega hoonepiirete korral kurtsid elanikud külmade põrandate ja kõikuva sisetemperatuuri üle, samuti pistikupesadest tuleva külma õhu üle. [10]

Kogu hoone õhupidavust mõjutavad kõikide piirete, liitekohtade, akende ja uste õhupidavused. Piirdedetailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõkke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt tehtud. [10]

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv q_{50} ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$), mis näitab õhuvooluhulka (m^3/h), mis läbib 1 m^2 suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on õhurõhkude erinevus (tavaliselt 50 Pa). [10]

1.5 Niiskus ehituskonstruksioonides

Vee hulka piirdes ei ole näha, kuid on näha kahjustust, mis on põhjustatud liigse niiskuse poolt. Hoone tarindisse sattuv vesi kahjustab nii viimistlust kui ka konstruktsiooni. Metallpindade puhul on niiskuskahjustuseks korrosioon, puitpindade puhul on hallitus ja mädanik. Liigne niiskus annab mikroorganismidele (näiteks kõdu ja hallitusseened) soodsad kasvutingimused. [11]

Niiskuskahjustusega ruumides võib hallitusseente eoste sisaldus õhus tõusta normaalsega võrreldes kuni sajakordseks. Selline hulk on inimese tervisele ohtlik, põhjustades silmade ja hingamisteede ärritust ning kopsupõletikku. [11]

Kondenseerumine toimub siis, kui hoone piirete temperatuur on liiga madal, see omakorda on põhjustatud sellest, et piirde soojustakistus on liiga madal. Niiskus liigub kõrgema aurusisaldusega õhust madalama aurusisaldusega ehk kuivema õhu suunas. Enamasti tähendab see seda, et niiskus liigub ruumist välja, aga vahest võib olukord olla ka vastupidine. Kui niiskus liigub ruumist välja ning hoone välissein on liiga tihe, siis see ei võimalda niiskusel läbi minna ja tekib vee kondenseerumine piirdes. [11]

Külm õhk on raskem, soojenedes muutub õhk kergemaks ja tõuseb ülespoole. Sellisel juhul tekib põranda pinna lähedal tekib alarõhk ja külm õhk tungib hoonesse põrandapragude ja avauste kaudu. Kui soe õhk jõuab lae alla, siis tekib seal ülerõhk ja selle tulemusel hakkab niiskus pragudest, pooridest ja avaustest pööningu kaudu välja pressima. Vahelae konstruktsioonid hakkavad niiskuma ja tekib suur kondenseerumise oht. Külmasillad on eriti ohtlikud kohad niiskuse kondenseerumiseks. [11]

Vee ja veeauru liikumist mõjutavad difusioon, konvektsioon ja kapillaarne imendumine. [11]

- 1) Difusioon - niiskuse liikumine suuremalt rõhult väiksema rõhu poole. Difusiooni levik sõltub materjali poorsusest. Mida poorem on materjal, seda rohkem laseb see niiskust endast läbi. [11]
- 2) Konvektsioon - veemolekulid liiguvad õhuvooluga kaasa. Õhuvoolu liikumist põhjustab erinevus õhurõhus. Välisõhurõhu lühiajalisi erinevusi võib põhjustada tuul, sisetingimustel võivad õhurõhu erinevused olla tingitud ventilatsioonist või temperatuurist. Konvektsiooni mõjul liigub niiskus kiiremini konstruktsiooni kui difusiooni puhul. [11]
- 3) Kapillaarne imendumine - on vee liikumine materjali poorides oleva kapillaarjõu ja vee pindpinevuse toimel. Mida väiksemad on poorid, seda kõrgemale vesi tõuseb. [11]

Veeauru kondenseerumist saab vältida, kui kasutada allolevaid meetmeid: [11]

- Hoonesse paigaldada hea ventilatsioonisüsteem;
- ventileerides ruume jahedama õhuga;
- jahedaid ruume ventileerides veel jahedama õhuga;
- kasutada vähem vett ruumides;
- väliskonstruktsioonid peavad olema tihedad ja piisavalt soojustatud;
- välisvoodrilaua taha tuleb jätta õhuvähe, et niiskus saaks konstruktsioonist välja aurustuda.

Vältimaks hoone niiskuskahjustusi, tuleb märgades ruumides paigaldada hüdroisolatsioon, et niiskus ei pääseks konstruktsiooni. Märjad ruumid on näiteks vannituba, dušširuum, leili- ja pesuruum. [11]

1.6 Küttesüsteemide ja elektritootjate tööpõhimõtted

1.6.1 Päikeseenergia

Saksamaa suurim päikeseenergia tootja maailmas, seal asub ligikaudu 50% kogu maailma päikeseelektrijaamadest. Kui võrrelda päikesepaneelide tootlikkust Eestis ja Saksamaal, siis aasta lõikes on see sama, sest Eestis on päikeseenergiat küll vähem, aga seda kompenseerib keskmisest madalam õhutemperatuur, mille tõttu tõuseb päikesepaneelide efektiivsus. Eesti langeb talvekuudel päikesepaneelide tootlikkus oluliselt ehk perioodil märts kuni oktoober toodavad päikesepaneelid 90% kogu aastasest energia kogusest. [12]

Tabelis 2 on välja toodud päikesepaneelide tootlikkus Eesti kliimas.

Tabel 2. Mono- ja polükristall päikesepaneelide tootlikkus Eestis [12]

Suund lõunasse ja nurk maapinna suhtes 40° kraadi	1kW päikesepaneelide süsteemi tootlikkus		Tootmiseks 1kWh energiat päevas peab olema paneelide võimsus
	kWh kuus	kWh päevas	kW
Jaanuar	20,2	0,65	1,54
Veebruar	48,7	1,74	0,57
Märts	87,7	2,83	0,35
Aprill	125	4,17	0,24
Mai	154	4,96	0,20
Juuni	148	4,94	0,20
Juuli	150	4,83	0,21
August	122	3,95	0,25
September	85,5	2,85	0,35
Oktoober	52,7	1,70	0,59
November	20,9	0,70	1,43
Detsember	12,2	0,39	2,56
Aastas kokku	1030 kWh		

Päikesekiirgus, mida kasutavad päikesepaneelid elektri tootmiseks, saab jagada kolme klassi: [12]

- 1) Otsekiirgus - paralleelsete kiirtena leviv päikesekiirgus, mis jõuab maapinnani siis, kui taevast on pilvitu. Otsekiirgus annab kõige rohkem energiat, mille maksimaalseks püüdmiseks kasutatakse ka päikest järgivaid ajameid. Otsekiirgust esineb Eestis kõige enam saartel ja Põhja-Eestis. Lõuna-Eestis on pilvisust enam ja otsekiirguse vähesusetõttu on paneelide tootlikkus mõnevõrra väiksem. [12]
- 2) Hajuskiirgus – nimetatakse ka difuusseks kiirguseks. See tekib pilvede või udu mõjul, aga ka õhusaaste on hajuskiirguse tekkimise allikaks. Hajuskiirguse puhul ei ole vahet, mis ilmakaarde paneelid suunatud on, energia tootlikkus jääb samaks. Seda seletab asjaolu, et pilvise ilmaga ei teki objektist varju. Kuigi difuusne päikesekiirgus on oluliselt väiksema energiaga kui otsekiirgus, siis ikkagi on see arvestatav suurus elektri tootmisel. Mõõtmised näitavad, et pilves ilmaga on paneelide tootlikkus umbes 7 korda väiksem võrreldes otsekiirgusega. [12]
- 3) Maapinnalt peegelduv päikesekiirgus - Eesti puhul on täiesti arvestatav lume pinnalt peegelduv päike. Veebruaris keskpäevase päikesepaistelise ilmaga näitasid

mõõtmistulemused Tallinna lähiümbruses otsekiirguseks 850 W/m^2 , aga $80\text{-}85^\circ$ nurga all maapinna suhtes paigaldatuna peegeldus lume pinnalt päikesevalgus, mille suuruseks mõõtis kiirgusemõõtja 900 W/m^2 . [12]

Päikesepaneeli saab paigaldada nii katusele, seinale kui ka maapinnale.

1) Statsionaarne paigaldamine katusele

Eestis on optimaalseim päikesepaneelid paigaldada lõuna suunas ja 40° maapinna suhtes. Selline asetus on parim, kui on soov saada aastaringselt maksimaalne energiakogus. Võrreldes lõuna suunas paigaldatud paneelidega väheneb päikesepaneelide tootlikkus aastas kagu või edela suunal orienteeruvalt 5% ja ida või lääne suunal umbes 20%. Võrreldes 40° maapinna suhtes paigaldatud paneelidega väheneb päikesepaneelide tootlikkus aastas katuse kaldega 30° või 50° orienteeruvalt 1% ja kaldega 20° orienteeruvalt 4%. [12]

Mida suurem on paneelide nurk seda paremini tuleb sealt lumi maha. Samas kui lumi kataks paneeli detsembrist veebruari lõpuni, siis väheneks aastane tootlikkus vaid 8%. Mida kõrgemale katuse pinnast või kaugemale seinast paneelid paigalda, seda rohkem energiat need toodavad, sest nõnda on paneelidel parem jahutus. [12]

2) Paigaldamine vertikaalselt

Novembrist veebruarini on vertikaalselt paigaldatud päikesepaneelide tootlikkus umbes 7% suurem kui 40 kraadise nurga all. Kuid aastaringselt 90° maapinna suhtes olevatel paneelidel on tootlikkus 26% väiksem kui aasta ringi 40° nurga all olevatel paneelidel. [12]

3) Paigaldamine maapinnale

Kui katuse ei võimalda päikesepaneelide paigaldamist kagu – edel suunal, katuse nurk on ebasobiv või pole katusel piisavalt ruumi, siis on võimalik päikesepaneelid paigaldada maapinnale. Sellel alternatiivil on tagatud ka hea jahutus, seega tõuseb aastane tootlikkus orienteeruvalt 5%. [12]

Kuna Eestis on hajutatud kiirguse osakaal suur ning päikest järgiva automaatika tasuvus tekitab küsimusi. Järgivajamite kasutamine tõstab küll tootlikkust, aga seadmete hind võrreldes päikesepaneelide maksumusega on kahandanud nende kasutamist. Odavam on lisada juurde mõned paneelid, et katta ära lisaenergia kogus mida järgivajami kasutamine juurde annaks. [12]

Päikesepaneeli ehk PV paneeli ehituseks kasutatakse viite kihti materjale: [12]

- 1) Peegeldust vähendava pinnatöötlemisega klaas;
- 2) polümeerist kilematerjal;
- 3) omavahel ühendatud päikesepatarei elemendid;
- 4) polümeerist kilematerjal;
- 5) alusmaterjal, milleks on tavaliselt plastikust plaat.

Päikesepatarei elemente valmistatakse erinevatest materjalidest ning seetõttu nimetatakse ka neid erinevalt: [12]

- 1) Monokristall – efektiivsus 11–17%;
- 2) polükristall – efektiivsus 11–15%;

- 3) õhukesekileline – viit erinevat alaliiki, mille tüüpiline efektiivsus jääb vahemikku 3 kuni 11%.

Enim levinud on monokristall ja polükristall paneelid. Eestis on nende efektiivsus sama. Efektiivsus iseloomustab, mitu protsenti suudab päikesepaneel päikeseenergiat elektrienergiaks muundada. Kindla suurusega pinnaühikult toodavad suurema efektiivsusega paneelid rohkem energiat. Samas on efektiivsemad paneelid ka kallimad. Seega ei ole vahet, mis on paneeli efektiivsus, olulisem on 1 W maksumus. [12]

1.6.2 Tuuleenergia

Väikese tuulegeneraatoriga (<10 kW) autonoomses süsteemis (*Off grid*) elektri tootmiseks sobivaid tuulised kohti on Eestis piisavalt. Tuleb vältida viga paigaldamisel - madala masti tõttu jääb tuulegeneraator turbulentsi alasse. Sisemaal keset avarat põldu paiknev tuulegeneraator toodab rohkem energiat kui elektrituulik, mis asub ranniku ääres, aga on ümbritsetud kõrgete puudega. Autonoomses süsteemis on väiketuuliku kasutamine ratsionaalne kui aasta keskmine tuule kiirus on paigalduskohas vähemalt 3,5 m/s. Väiksema tuule kiiruse puhul on tasuvam paigaldada vaid päikesepaneelid. [13]

Üldvõrguga (*On grid*) seotud lahenduse puhul on väikese tuulegeneraatori kasutamine majanduslikus mõttes raskendatud, sest aasta keskmine tuule kiirus peaks olema paigalduskohas vähemalt 4,5 m/s. Üldjuhul leiab selliseid kohti vaid rannikuäärsetel tuultele avatud aladel. [13]

Tuulegeneraatorid jagatakse tiiviku pindala järgi järgnevatesse klassidesse: [13]

Mikrotuulegeneraatorid

Mikrotuulegeneraatoreid kasutatakse akude laadimiseks näiteks purjejahtidel, valve- ja andmesidesüsteemides. Mikrotuulegeneraatori tiiviku läbimõõt jääb vahemikku 0,5 – 1,25 m, tiiviku pindala 0,2 – 1,2 m² ja nominaalvõimsus 0,04 – 0,25 kW. Näiteks 0,2 kW generaatori aastane tootlikkus keskmise tuule kiiruse 5,5 m/s puhul on 400 kWh/aastas. Paigaldatakse maja katusele või alates 4 m mastile. [13]

Minituulegeneraatorid

Minituulegeneraatorid toodavad 2 kuni 10 korda enam energiat kui mikrogeneraatorid ja aastane tootlikkus keskmise tuule kiirusega 5,5 m/s jääb vahemikku 800 kuni 4000 kWh. Tiiviku läbimõõt on 1,25 – 3 m, tiiviku pindala 1,2 – 7,1 m² ja nominaalvõimsus 0,25 – 1,4 kW. Paigaldatakse enamasti vantidega mastile alates 6 m. Minituulegeneraatorid on Eestis kasutuses olevatest kõige populaarsem generaatorite klass. [13]

Pereelamu tuulegeneraatorid

Generaatorite nominaalvõimsus jääb vahemikku 1,4 – 16 kW, tiivik on läbimõõduga 3 kuni 10 m ja tiiviku pindala vastavalt 10,2 – 40,7 m². Sobivad akudega süsteemi, vee kütmiseks ja üldvõrku ühendamiseks. Generaatori masti kõrgus vähemalt 9 m. [13]

Väikesed kommertskasutusse mõeldud tuulegeneraatorid

Tiiviku läbimõõt 10 – 20 m, tiiviku pindala 79 – 314 m² ja võimsus vahemikus 25 – 100 kW. Tuulegeneraatoreid kasutatakse peamiselt asutuste juures ja põllumajanduses lisaelektri tootmiseks, samuti väiksema äritegevuse tarvis. [13]

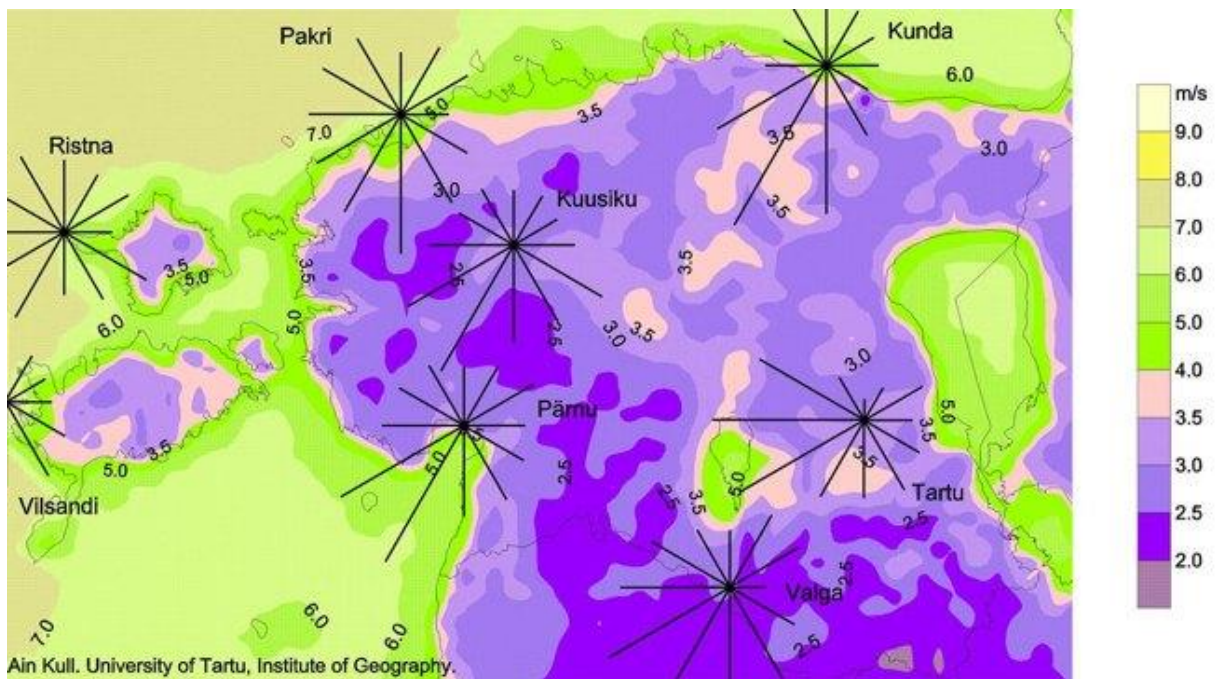
Keskised kommerts tuulegeneraatorid

Nende tuulegeneraatorite tiiviku läbimõõt on vahemikus 20 - 50 m, tiiviku pindala 314 – 1963 m² ja võimsus vahemikus 100 – 1000 kW. Kasutatakse peamiselt tööstusettevõtetes ja põllumajanduses lisaelektri tootmiseks ja väikeste tuuleparkide loomisel. [13]

Suured kommerts tuulegeneraatorid

Tiiviku läbimõõt vahemikus 50 – 100 m, tiiviku pindala 1963 – 7854 m² ja võimsus 1 – 3 MW. Suured tuulegeneraatorid on kõige efektiivsemad ja suudavad püüda kõige rohkem energiat tuulest. [13]

Joonisel 1 on kujutatud Eesti keskmine tuule kiirus. Tabelis 3 on välja toodud Tartu piirkonna keskmine tuule kiirus.



Joonis 1. Keskmine tuule kiirus aastas 10 meetri kõrgusel [13]

Tabel 3. Keskmine tuule kiirus Tartus m/s [13]

m/s	jaan.	veeb.	märts	apr.	mai	juuni	juuli	aug.	sept.	okt.	nov.	dets.	aasta
TARTU	4,4	4,1	4,1	3,9	3,5	3,4	3,2	3,3	3,7	4,3	4,4	4,5	3,9

1.6.3 Maasoojuspump

Maasoojuskütte ehk maakütte energia ammutab soojuspump maa seest. Suvel kütab päike maapinna soojaks ja talvel juhitakse pinnasesse salvestatud päikeseenergia maasoojuspumbaga hoone küttesüsteemi. Soojuspumba tööks tarvilikule maakollektorile tuleb leida piisavalt suur ala, kus talvel ei trambita peal ega lükata lund ära, sest lumi kaitseb maakollektorit liigse külmumise eest. [14]

Maasoojuspumba tööpõhimõte

Maasoojuspumba tööpõhimõtte aluseks on termodünaamika II seadus, mis määratleb iseeneslike protsesside suuna ja ütleb, et soojus ei lähe iseenesest külmemalt kehalt soojemale. Lihtsustatult seisneb seadme tööpõhimõtte selles, et soojuspumbas asuv kompressor surub gaasilise külmaaine kokku, mille tagajärjel see kuumeneb ja suunatakse soojusvahetisse, kus see loovutab tekkinud soojuse radiaator- või põrandaküttesüsteemile. Protsessis ei toimu sooja tootmist, vaid ammutatakse maa seest suvel salvestunud päiksesoojust ja pumbatakse see kompressori abil hoone küttesüsteemi. [14]

Maasoojuspumpa saab võrrelda veepumba tööpõhimõttega. Kui vesi liigub ülevalt alla ise, siis alt üles liigutades on vaja vett pumbata. Pump on lihtsalt transpordivahend. Sama funktsiooni täidab maasoojuspumbas kompressor: kui kütteperioodil liigub soojus ruumist läbi välispiirde õue ise, siis tupp tuleb soojus tagasi tuua soojuspumbaga. [14]

Maasoojusenergia saadakse kätte pinnasesse paigaldatud plasttorustiku ehk maakollektoriga. Torustikus ringlevale külmaainele üle kantud soojus kogutakse soojuspumbaga kokku. Kompressoriga muudetakse saadud energiaväärtus kõrgemaks ning kasutatakse see ära hoonete kütmiseks ning tarbevee soojendamiseks. [14]

Maasoojuspumbal on palju eeliseid: [14]

- See on väga mugav;
- kogu maaküttesüsteemi juhitakse ühest ja lihtsasti kasutatavast puldist;
- ollakse vaba kütuse, korstnapühkija ja korralise hoolduse tellimise kohustusest;
- müratase on madal;
- pole tuleohtu;
- töötab nii radiaator- kui ka põrandaküttega;
- soojendab ka tarbevett;
- väiksed kasutus- ja hoolduskulud;
- keskkonnasäästlik;
- kütmine on suitsu-, tuha-, tahma- ja tolmuva;
- õhk püsib maja ümber värskes ja puhas;
- maaküttega hoonet on vajaduse korral lihtsam müüa;
- sõltuvus energiapoliitikast on väiksem.

Rusikareegel ütleb, et 1 m² eramu köetavat pinda vajab 3 m torustikku ning 3,6 m² vaba maapinda. Maakollektori pikkuse kohta kehtib ka järgmine reegel: mida parem on soojuspump, seda pikem peab olema maakollektor, sest mida kehvem on soojuspump, seda rohkem saadakse soojust elektrist ning mida parem on soojuspump, seda rohkem saadakse soojust maapinnast. Ühest ruutmeetrist pinnasest ei ole võimalik lõpmatuseni energiat ammutada, sest muidu jääb maapind haigeks ja tekib igikelts. Maapinna haigestumisel

tõusevad küttekulud ning taimestik hakkab sellel alal halvasti kasvama. Õigesti paigaldatud kollektori puhul sellist ohtu ei teki. [14]

Maakollektori torustik paigaldatakse maapinda 1 m sügavusele ja vähemalt 1 m vahedega. Sügavus peab olema üsna täpne, kuid kahe toru vahemaa võib olla ka suurem. Maakollektorit ei tohi liiga sügavale paigaldada, sest päikesesoojus ei jõua sel juhul piisavalt kiiresti torustiku ümber tekkinud jääd üles sulatada. Maakollektorit ei tohi paigaldada vilusse kohta ning torustikku ei või paigaldada pinnasesse ka kõrgemale kui 1 m, sest sellisel sügavusel külmub maapind talvel läbi ning kollektor ei suuda ammutada piisavalt soojust. Kõige paremini sobib maakollektorile niiske pinnas, mida niiskem pinnas, seda lühem võib olla ka torustik. Kõige ebasobivam on kuiv ja liivane maa. [14]

1.6.4 Õhk-vesi soojuspump

Õhk-vesi soojuspumbaks nimetatakse seadeldist, mis võtab soojust õhust ning annab saadud soojust veele. Õhk-vesi soojuspump ei tooda ise energiat, vaid pumpab seda ühest keskkonnast teise. Eelis õhksoojuspumba ees on see, et õhk-vesi soojuspumpa ei pea ühegi teise küteliigiga ristama. Eelis maakütte ees on maakollektori puudumine. Õhk-vesi soojuspump kütab radiaatoreid ja põrandakütet ning soojendab tarbevett. [15]

Õhk-vesi soojuspumba tööpõhimõte

Õhk-vesi soojuspumba tööpõhimõtte aluseks on samuti termodünaamika II seadus, mis määrab ära protsesside suuna ning ütleb, et soojus ei lähe iseenesest külmemalt kehalt soojemale. Tööpõhimõtte on sarnane nagu maaküttele, lihtsalt õhk-vesi soojuspump ammutab oma energia õhust, mitte maapinnast. Kompressor surub gaasilise külmaaine kokku, mille tagajärjel see kuumeneb ning soe külmaaine suunatakse soojusvahetisse, kus see omakorda loovutab soojust radiaator- või põrandaküttesüsteemile. [15]

Õhk-vesi soojuspumba eelisteks on: [15]

- Kogu küttesüsteemi juhitakse ühest lihtsasti kasutatavast puldist;
- vabadus kütuse, korstnapühkija ja hoolduse tellimise kohustusest;
- soojussõlm töötab vaikselt;
- pole tuleohtu;
- töötab nii radiaator- kui ka põrandaküttega;
- süsteem soojendab ka tarbevett;
- õhk-vesi soojuspumba kompressor on kaks korda pikema elueaga kui katla põleti;
- kütmine on suitsu-, tuha-, tahma- ja tolmuva;
- õhk püsib maja ümber värske ja puhas;
- ei ole vaja tulenormidele vastavat katlaruumi;
- ei ole vaja korstent;
- ei ole vaja suurt kütuseruumi;
- ei ole vaja katlamaja normidele vastavat ventilatsiooni;
- õhk-veisisoojuspumbaga hoonet on vajaduse korral lihtsam müüa;
- kuna enamik energiat ammutatakse loodusest, siis on sõltuvus energiapoliitikast väiksem.

Soojustegur ehk COP on arv, mis näitab, mitu korda annab seade rohkem soojusenergiat võrreldes kulutatud elektrienergiaga. Mida suurem on COP, seda rohkem see seade säästab. COP-i arvutamiseks jagatakse toodetud soojusenergia kulutatud elektrienergiaga: kui COP on 4,4, siis järelikult toodab soojuspump 1 kWh elektriga 4,4 kWh soojust. [15]

Soojustegur on soojuspumpadel erineva välisõhutemperatuuri puhul erinev. Mida soojem ilm väljas on, seda suurem on COP. Seepärast tuleb süsteemi tasuvusaja arvestamisel vaadata aasta keskmist COP-i ning võrreldes seda elekterküttega, siis see COP on 2 või natuke üle selle. [15]

Õhk-vesi soojuspump sobib hästi põhikütteks uues hoones, kus maakütte paigaldamiseks ei ole piisavalt vaba maa-ala. Õhk-vesi soojuspump on säästlik ning erinevalt maaküttest reageerib tema soojustegur kohe kui välistemperatuur muutub. [15]

Õhk-vesi soojuspump annab hea säästu ka hoones, kus küttesüsteem on juba välja ehitatud, kuid püsikulud kütusehinna kallinemise tõttu liiga suureks kasvanud. Samuti on õhk-vesi soojuspump abiks siis, kui puidu- või kivisöekatla kütmist igapäevaselt teha ei soovita. Puidukütteil katlaga võrreldes püsikulu soodsamaks ei lähe, küll aga jääb oluliselt rohkem vaba aega. [15]

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Lõputöö eesmärgiks on olemasolevale hoonele arhitektuurse projekti koostamine ning uute lokaalsete küttesüsteemide väljavalimine. Samuti on eesmärgiks uurida krundil elektri tootmise võimaluste ja tasuvuse kohta.

Lahendatavad ülesanded:

- teaduskirjanduse läbitöötamine;
- tutvumine Eesti energiatõhususe miinimumnõuete ning asjakohaste standarditega;
- arhitektuurse eelprojekti koostamine;
- hoone ehituskonstruksioonide ja tehnilise seisukorra hindamine;
- välispiirete soojusjuhtivuste arvutamine kasutades standardi arvutuspõhimõtteid;
- välispiirete kondenseerumise ohu kontroll Glaseri meetodiga;
- välispiirete soojuskadude leidmine tingituna piirete soojuseri juhtivusest ja õhu infiltratsioonist;
- välispiirete summaarse soojuserikao leidmine köetava pinna ruutmeetri kohta;
- küttevajaduse arvutamine;
- erinevate küttesüsteemide hinnapakkumiste küsimine ning nende analüüs;
- erinevate elektri tootmise võimaluste kohta hinnapakkumiste küsimine ning nende analüüs;
- erinevate süsteemide tasuvusaegade leidmine;
- tulemuste analüüs.

3. MATERJAL JA METOODIKA

3.1 Hoone kirjeldus, hoone seletuskiri

3.1.1 Üldosa

Seletuskirja koostamisel on aluseks võetud EVS 865-1:2006 – eelprojekti seletuskiri. Käesolev eelprojekt käsitleb Tartumaal Tartu vallas Sojamaa külas Kuivasilla talus kavandatava eramu arhitektuur-ehituslikku osa. Projekt vastab Eesti Vabariigis kehtivale ehitus- ja projekteerimisstandarditele, normidele ja määrustele ning tellija poolt seatud tingimustele. Projekti tellijaks on eraisik Ahti Võik.

3.1.2. Arhitektuurne lahendus

Ehitise üldandmed

Hoone funktsioon:	elamu
Hoone pikkus:	14,50 m
Hoone laius:	13,25 m
Hoone kõrgus:	7,25 m

Ehitise tehnilised näitajad

Krundi sihtotstarve:	maatulundusmaa 100 %
Hoonealune pind:	145,0 m ²
Krundi täisehituse protsent:	0,004 %
Korruselisus:	2
Hoone kasulik pind:	202,0 m ²
Hoone eluiga:	50 aastat

3.1.3. Arhitektuurne üldlahendus

Projekteeritud hoone on keldrita kahekorruseline elamu. Planeeritavate ruumide puhul on arvestatud ruumide omavahelist funktsionaalsust. 1. korrusel paiknevad kaks magamistuba, WC, elutuba, köök, esik, panipaik ja garderoob. 2. korrusel paiknevad kolm magamistuba, WC ja hall/koridor.

3.1.4. Arhitektuursed nõuded hoone piirdekonstruktsioonidele

Hoone sise-ja väliskeskkonna üldised arvestusparameetrid

Eluruumid:	+21 °C ± 2 °C
Panipaigad ja abiruumid:	+17 °C ± 2 °C
Vannituba, WC :	+24 °C ± 2 °C
Suhteline õhuniiskus:	30-70 %

Hoone akustikale esitatavad nõuded

Hoone akustikale ei ole esitatud erilisi nõudeid.

3.1.5. Hoone piirdekonstruktsioonide üldine iseloomustus

Vundamendid

Hoone alt eemaldati pinnas ja asendati tihendatud kruusaga. Väljakaevatud pinnasega planeeriti hoone ümbrus. Vundamendiks on monoliitsest betoonist 300 mm paksune kandev sein. Vundamendi alla valati betoonist taldmik 200 mm paksu ja 600 mm laiana.

Taldmiku rajamissügavus on -1,400 m hoone nullist. Taldmike alla rajati tihendatud killustikupadi 200 mm.

Vundamendi peale pandi bituumenrullmaterjalist horisontaalne hüdroisolatsioon kapillaarse niiskustõusu vältimiseks. Vundamendid kaeti välisküljelt murtud fassaadikiviga. Soojustust vundamentidele ei paigaldatud.

Välisseinad

Välisseinte kandev osa rajati puidust prussidega ristlõikega 50*150 mm sammuga 600 mm. Puitkarkassi vahele paigaldati kivivill 150 mm. Kandva seina välisküljele pandi diagonaallaudis 22*100 mm sammuga 500 mm. Diagonaallaudise peale pandi vertikaalne roovitus 50*50 mm sammuga 600 mm, mille väliskülg on rihitud kandva seina välisküljest 125 mm kaugusele. Vertikaalse roovituse ning diagonaallaudise vahele pandi 100 mm kivivilla. Kivivill kaeti väljaspoolt 13 mm VKL tuuletõkkeplaadiga. Tuuletõkkeplaadi peale pandi voodrilaua roovitus 25*50 mm sammuga 600 mm. Viimasena paigaldati voodrilaud ning värviti beeži tooni.

Siseseinad

Hoone siseseinad on puitkarkass-seinad ristlõikega 50*100 mm sammuga 600 mm. Karkassi vahel on mineraalvill 100 mm ning mõlemalt poolt kaetud ühekordse kipsplaadiga 13 mm. Seejärel kipsplaadid pahteldati ja värviti/tapeediti. Vannitoas ja WC-s kaeti seinad niiskustõkkega ja paigaldati keraamilised seinaplaadid. Esimesel korrusel rajati arhitektuursel kaalutlusel WC üks sein tellisseinana.

Põrandad

Elamu alt eemaldati pinnas ja täideti tihendatud kruusaga. Kruusa peale pandi 100 mm paksuselt EPS (vahtplast) soojustus. Selle peale kile ning põrand valati armeeritud monoliitbetoonist paksusega 100 mm. Terve esimese korruse ulatuses paigaldati põrandakütte torustik monoliitsesse raudbetoonplaati. Niiskettesse ruumidesse paigaldati ka hüdroisolatsioon.

Vahelaed

Vahelagi tehti puidust taladele ristlõikega 50*200 mm sammuga 600 mm. Vahelagi toetub hoone keskel puittalale 150*300 mm ja välisseintel puidust vööle. Talade vahele paigaldati mineraalvill 150 mm, talade peale must laudis 22*100 mm, selle peale kile ning valati 50 mm paksune betoonpõrand. Betoonpõranda sisse paigaldati küttemagistraalid radiaatoriteni.

Katus

Katuse kandekonstruktsiooniks paigaldati sarikad 50*150 mm sammuga 600 mm. Sarikate sisekülge paigaldati puitkarkass 50*50 mm sammuga 600 mm. Puitkarkassi vahele paigaldati EPS vahtplast 50 mm. Seespoolt kaeti katuslagi puitvooderdusega 25*90 mm. Sarikate vahele paigaldati kivivill 100 mm, selle peale paigaldati 13 mm VKL tuuletõkkeplaat. Siis pandi aluskate, tuulutusrööv 25*50 mm ning roovitus 25*100 mm sammuga 600 mm. Lõppviimistlusena kaeti katus Onduline laineplaadiga.

Avatäited

Hoone kõik aknad on PVC pakettaknad, väljast ning seest valge raamiga. Aknad on avatavad tuulutamiseks. Maja esiüks on puidust klaasitud välisüks. Maja taga asuv üks on paketraamiga rõduüks. Siseusteks on täispuidust profiilsed siseüksed.

Varikatused, rõdud, terassid

Nii maja sissepääsu ees olev trepp kui ka maja taga olev terrass on immutatud puidust.

3.1.6. Tuleohutusnõuded

Kasutatud normdokumentide loetelu

Eesti Vabariigi määrus „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“.

Hoone kasutusviis

Hoone kasutusviis I (üksikelamu). Tabelis 4 on välja toodud I kasutusviisi alla kuuluvad elamu tüübid.

Tabel 4. Ehitise kasutamisetstarve vastavalt hoone liigitusest [16]

Ehitise kasutamise liigitus tuleohutusest tulenevalt	Ehitise kasutamisetstarve
I kasutusviis	Elamud ja eluruumid Ühe korteriga elamud Üksikelamu Ridaelamu või kaksikelamu sektsioon (juhul kui on oma katus ja sissepääs maapinnalt) Suvila, aiamaja Kahe korteriga elamud Kaksikelamu Muu kahe korteriga elamu Kolme ja enama korteriga elamu Ridaelamu Muu kolme või enama korteriga elamu Elamu, talu, kooli vms majapidamisabihoone, nagu näiteks kuur, individuaalgaraaž ja saun

Hoone tulepüsivusklass

Hoone tulepüsivusklass on TP-2.

Tuldtakistav (tähis TP2) – ehitise kandekonstruktsioon ei tohi ettenähtud aja jooksul tulekahjus variseda. [16]

Tulekaitsetase

Tule tõrjumiseks on esmased tulekustutusvahendid ja suitsuandurid. Tulekahjusignalisatsiooniandur paigaldati igasse ruumi. Hoones on üks tulekustuti.

Kandekonstruktsioonide tulepüsivused

Hoone kandekonstruktsioonide tulepüsivus R30.

Ehitise kandekonstruktsioonide ja tuletõkkesektsioone moodustavate konstruktsioonide tulepüsivus määratakse lähtuvalt konstruktsiooni kandevõimest (tähis R), tihedusest ehk terviklikkusest (tähis E) ja soojus(sooja-)isolatsiooni võimest (tähis I). Tulepüsivust väljendatakse minutites vastavalt 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180 või 240 minutit. [16]

Korruste arv

Hoone on 2-korruseline.

Pindade tuletundlikkuse klassid

Põrandate klass:	piiranguid ei esitata
Siseseinad ja lagi:	B-s1,d0
Välisseinte välispinnad:	D-s2,d0
Katusekatte klass:	B _{ROOF}

Ehitise osad jaotatakse tuletundlikkusega seonduvalt järgmiselt: [16]

- B – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub süttivuses ja eriti vähesel määral suitsu eraldumises ning põlevaid tilku ega tükke ei esine;
- D – ehitise osa, mis on tuletundlik, kusjuures tuletundlikkus väljendub tulekahjus (põlemisprotsessis) osalemise lubatavuses;
- s1 – ehitise osa, milles suitsu moodustumine (eraldumine) on eriti vähene;
- s2 – ehitise osa, milles suitsu moodustumine on vähene;
- d0 – ehitise osa, milles põlevaid tilku või tükke ei esine.

Hoone jaotus tuletõkkeseksioonideks

Hoone ei ole jagatud tuletõkkeseksioonideks.

Evakuatsioonilahendus

Hoonest evakueeritakse inimesi 2 välisukse kaudu.

Suitsuärastus

Suitsuärastus toimub ruumidest avatavate akende kaudu.

Pääsud põõningule ja katusele

Katusele pääseb väljaspoolt hoonet redeliga.

Kommunikatsioonide läbiviigud tuletõkke konstruktsioonidest

Tuletõkkekonstruktsioone hoones ei esine.

3.1.7. Keskkonnamõjud

Projekteeritud ehitise ei ole tekita ohtu ümbritsevale keskkonnale. Hoone veevarustus tagatakse kohaliku salvkaevuga. Reovesi juhitakse oma krundil olemasse kaheastmelisse septikusse. Hoone kütmisel võib kasutada nii halupuitu kui ka kivisütt. Tahked jäätmed kogutakse prügikasti ja antakse üle sellekohast litsentsi omavale jäätmekäitlusettevõttele. Prügikonteiner paigaldatakse hoone lähedusse. Ohtlikud jäätmed tuleb viia vastavasse ladustamiskohta.

3.1.8. Hoone sisearhitektuur

Siseseinad pahteldati ja seejärel kas tapetseeriti või värviti. Magamistubade laed pahteldati ja värviti, elutoa ning teise korruse lagi kaeti naturaalselt tooni voodrilauaga. Põrandatele paigaldati naturaalne parkett (va elutuba, köök ja esik, kus on keraamiline plaat). Niiskettesse ruumidesse paigaldati hüdroisolatsioon ja keraamiline plaat. Siseustena kasutati puitu.

3.1.9. Konstruktiivne lahendus

Kasutatavad normdokumendid

Vabariigi Valitsus 27.oktoobri 2004.a määrus nr 315 „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“.

Majandus- ja kommunikatsiooniministri 17.septembri 2010.a määrus nr 67 „Nõuded ehitusprojektile“.

Kasutatud arvutiprogrammid

ArchiCAD 16

AutoCAD Architecture 2014

Tehnilised lähteandmed

Ehitise planeeritav eluiga 50 aastat. Ehitusgeoloogilisi uuringuid ei ole teostatud. Projekteeritava ehitise mõjud keskkonnale on ainult ehitustegevusest tulenevad.

Tarinditele mõjuvad koormused

Kandetarinditele ja sõlmedele mõjuvad jõud ja koormused arvutatakse põhiprojekti vastavas osas. Kõik sõlmed ja tarindid ehitada vastavalt materjalitootjate juhenditele ja ehituse hea tava kohaselt.

Kandetarinditele mõjuvate koormuste normväärtused on määratud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002.

Omakoormuste normväärtused on määratud vastavalt standardile EVS-EN 1991-1-1:2002.

Lumekoormuse normväärtus on määratud vastavalt projekteerimismismnormile EPN-ENV 1.2.5, võttes lumekoormuse baasväärtuseks maapinnal $s_k=1,5 \text{ kN/m}^2$.

Tuulekoormuse normväärtus on määratud vastavalt projekteerimismismnormile EPN-ENV 1.2.6, võttes tuulekiiruse baasväärtuseks $v_{ref} = 21,0 \text{ m/s}$.

Eriosad

Küte

Hoone läheduses asjub katlamaja, kus on tahkeküttekatel, sooja saamiseks võib kasutada nii puitu kui ka kivisütt. Esimesel korrusele rajati põrandaküte, teisel korrusele radiaatorküte. Lisaküttevõimalusena tuleb esimesele korrusele kamin ning ahi, teisele korrusel õhksoojuspump, mis täidab suvisel perioodil jahutuse eesmärki.

Katla andmed: Viadrus U22S; 7 ribi; 35-41 kW; efektiivsus 71-80 %.

Õhksoojuspumba andmed: Toshiba RAS-10SKV-E; COP jahutamisel 3,33 ja kütmisel 3,72; soojendusvõimsus 3,2 kW ja jahutusvõimsus 2,5 kW.

Veevarustus ja kanalisatsioon

Vesi saadakse kohalikust salvkaevust ja pumbatakse hoone veevärki. Kanalisatsioon suunatakse kohalikku septikusse.

Ventilatsioon

Õhuvahetus tagatakse loomuliku ventilatsiooniga. Kööki paigaldati köögikubu toidu valmistamisel tekkivate lõhnade eemaldamiseks.

Elekter

Elektrit saab peakilbist, mis asub saunamajas. Sisemine elekter lahendatakse eraldi elektriprojektiga. Samas projektis lahendatakse ära ka nõrkvoolu paigaldus.

3.2. Välispiirde soojusjuhtivuse arvutamise meetodika

Piirde soojusjuhtivus, U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga (1) ümardatuna kahe kohani pärast koma: [1]

$$U = \frac{1}{R_T}, \frac{W}{m^2 K} \quad (1)$$

kus,

R_T piirde kogusoojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$.

Soojuslikult mittehomogeensete kihtidega tarindi kogusoojustakistus, R_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse valemiga (2): [1]

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (2)$$

kus,

R'_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;

R''_T mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Kogusoojustakistuse ülemise ja alumise piirväärtuse leidmiseks tuleb piirdetarind tükeldada soojuslikult homogeenseteks sektsioonideks ja kihtideks. [1]

Mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus R'_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga risti olevate sektsioonide soojusjuhtivuste summa abil vastavalt valemile (3): [1]

$$R'_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{R_{Tn}}}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (3)$$

kus,

A_a, \dots, A_n piirde üksikute sektsioonide osapindalad (osakaalud);

R_{Ta}, \dots, R_{Tn} piirde üksikute sektsioonide soojustakistused, mis arvutatakse vastavalt valemile 2.

Kogusoojustakistuse alumine piirväärtus R''_T , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse piirdetarindi pinnaga paralleelselt olevate kihtide ühemõõtmeliste soojusvoogude summana vastavalt valemile (4): [1]

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (4)$$

kus,

R_{si} piirde sisepinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral $0,13 (m^2 \cdot K)/W$;

- R_1, R_x, R_n iga kihi soojustakistus, mis arvutatakse vastavalt valemile 4 (soojuslikult mittehomogeenne kiht), $(m^2 \cdot K)/W$;
- R_{se} piirde välispinna soojustakistus, horisontaalse soojusvoolu korral $0,04 (m^2 \cdot K)/W$.

Tabelis 5 on välja toodud sise- ja välispinna soojustakistused.

Tabel 5. Piirdepindade soojustakistused [17]

Sisepinna soojustakistus			Välispinna soojustakistus		
R_{si} m^2K/W			R_{se} m^2K/W		
Soojusvoolu suund					
Horisontaalne	Üles	Alla	Horisontaalne	Üles	Alla
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Mittehomogeensete materjalikihtide soojustakistus R_x , $(m^2 \cdot K)/W$, arvutatakse vastavalt valemile (5): [1]

$$R_x = \frac{A_{xa} + A_{xb} + \dots + A_{xn}}{\frac{A_{xa}}{R_{xa}} + \frac{A_{xb}}{R_{xb}} + \dots + \frac{A_{xn}}{R_{xn}}}, \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad (5)$$

kus,

- A_{xa}, \dots, A_{xn} mittehomogeense kihi üksikute osade osapindalad (osakaalud), m^2 ;
- R_{xa}, \dots, R_{xn} mittehomogeense kihi üksikute osade soojustakistused.

Maksimaalne suhteline arvutusviga e , %, arvutatakse valemiga (6): [1]

$$e = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} * 100\%, \% \quad (6)$$

kus,

- R_T' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse ülemine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga risti olevaid sektsioone), $(m^2 \cdot K)/W$;
- R_T'' mittehomogeensete kihtidega piirdetarindi kogusoojustakistuse alumine piirväärtus (vaadeldakse piirde pinnaga paralleelselt olevaid kihte), $(m^2 \cdot K)/W$.

Et võtta arvesse soojustuses olevaid tühimikke, soojustuskihti läbivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses, tuleb soojusjuhtivust korrigeerida. Korrigeeritud soojusjuhtivus, U_c , saadakse arvutatud soojusjuhtivusele, U , paranduse ΔU lisamisega, valem (7): [1]

$$U_c = U + \Delta U, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (7)$$

Piirde soojusjuhtivust on korrigeeritud järgmistel eeldustel: [1]

- soojustus on hästi paigaldatud, kuid esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod; õhu ringlust soojustuse soojemal poolel ei esine;
- soojustus on sisemise õhutõkke ja välimise tuuletõkke vahel, millega on välditud konvektsioonist tingitud lisasoojuskaod;
- ei ole soojustust läbivaid metallkinniteid.

Parandus, ΔU , $W/(m^2 \cdot K)$, saadakse valemist (8): [1]

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r + \Delta U_a + \Delta U_{\psi x}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (8)$$

kus,

ΔU_g	õhupiludest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;
ΔU_f	mehaanilistest kinnititest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;
ΔU_r	pööratud katusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;
ΔU_a	soojustuse õhujuhtivusest tingitud parandus, $W/(m^2 \cdot K)$;
$\Delta U_{\psi x}$	külmasildadest põhjustatud parandus.

Õhupiludest tingitud parandust ΔU_g , mõjutavad kolm paigaldustaset, mis sõltuvad õhupilude ulatusest ja nende paiknemisest, valem (9): [1]

$$\Delta U_g = \Delta U'' * \left(\frac{R_l}{R_T}\right)^2, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (9)$$

kus,

$\Delta U''$	tegur, mis sõltub soojustuse paigaldustasemest, $W/(m^2 \cdot K)$
R_l	pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);
R_T	piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 2 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Võimaliku soojustusesisese mikrokonvektsiooni mõju piirde soojusjuhtivusele arvestab parandustegur ΔU_a , valem (10): [1]

$$\Delta U_a = \Delta U_a'' * \left(\frac{R_l}{R_T}\right)^2, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (10)$$

kus,

$\Delta U_a''$	tegur, mis mõjub seintele või järsemale kui 45° kaldega katuslaele ning katuslaele ja põrandale (postvundamendi puhul või kui põrandaaluse ruumi tuulutussavade pindala on suurem kui 8% põranda pindalast);
R_l	pilusid sisaldava materjalikihi soojustakistus, mis arvutatakse valemiga 4 (soojuslikult mittehomogeenne kiht);
R_T	piirdetarindi kogusoojustakistus, mis arvutatakse valemiga 2 (mittehomogeensete kihtidega piirdetarind).

Välispiirete nurkade ja liitekohtade (välissein-välissein, põrand-välissein, katuslagi-välissein, akna seinakinnituse sõlm) lisasoojuskaod võetakse eraldi arvesse geomeetriliste joonkülmasildade lisasoojusjuhtivusega Ψ_j , $W/(m \cdot K)$. Ka muud võimalikud tarinditest tulenevad külmasillad võetakse arvesse vastava külmasilla lisasoojusjuhtivusega. Kui

soojuslikult mittehomogeense tarindi materjalide soojuseri juhtivused erinevad üle viie korra või kui tarindis on süstemaatilised külmasillad, mida on otstarbekas teisendada välispiirde korrigeeritud soojusjuhtivuse väärtusesse, arvutatakse külmasildadest tingitud parandus vastavalt valemile (11): [1]

$$\Delta U_{\psi} = \frac{\sum \Psi_j \cdot l_j}{A} + \frac{\sum \chi_p \cdot n_p}{A}, \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (11)$$

kus,

ΔU_{ψ}	külmasildadest tingitud parandus, W/(m ² *K);
Ψ_j	joonkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/(m*K);
l_j	joonkülmasilla pikkus, m;
χ_p	punktkülmasilla lisasoojusjuhtivus, W/K;
n_p	samasuguste punktkülmasildade arv välispiirdeosas, tk;
A	piirdetarindi pindala, m ² .

Välisseina soojusjuhtivuse arvutus on esitatud peatükis 4.1.1. ning katuse soojusjuhtivuse arvutus on esitatud peatükis 4.1.2.

3.3. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutamise meetodika

Soojuslevi pinnasesse iseloomustavad järgmised tegurid: [2]

- soojuslevi läbi põranda, mis sõltub põranda tarindusest;
- soojuslevi läbi põranda ääreala, mis sõltub seal asuvast külmasillast;
- soojuslevi läbi põranda ääreala, mis sõltub pinnase soojuslikust inertsist.

Põrandas tekkiva soojusvoo kolmemõõtmelisusega arvestamiseks on käesolevas rahvusvahelises standardis toodud valemities kasutatud põranda „tunnusmõõtmeid“ B, mis on määratletud kui põrandapindala ja poole perimeetri väärtuse jagatis ja tähistatud valemiga (12): [2]

$$B' = \frac{A}{0,5P} \quad (12)$$

kus,	B'	põrandatunnusmõõde, m;
	A	põranda pindala, m ² ;
	P	põranda perimeeter, m.

Pinnasel asuva põranda puhul leitakse ekvivalentne kogupaksus valemiga (13). [2]

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (13)$$

kus,

w	välisseinte paksus, m;
λ	külmumata pinnase soojuseri juhtivus, W/(m*K);
R_{si}, R_{se}	vastavalt põranda sise- ja välispinna soojustakistused (väärtused 0,13 ja 0,04 m ² K/W);
R_f	põranda soojustakistus, m ² K/W, mis sisaldab kõiki soojustuskihte.

U-väärtuse arvutusvalem sõltub sellest, kas $d_t < B'$ (soojustamata või mõõduka soojustusega) või $d_t \geq B'$ (hästi soojustatud). Antud hoone puhul mõõduka soojustusega. Sellisel juhul kasutatakse valemit (14): [2]

$$U_t = \frac{2 * \lambda}{\pi * B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi * B'}{d_t} + 1 \right) \quad (14)$$

Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutus on esitatud peatükis 4.2.

3.4. Akende soojusjuhtivuse arvutamise meetodika

Akna soojusjuhtivus U_a arvutatakse järgmise valemiga (15): [18]

$$U_a = \frac{U_k * A_k + U_r * A_r + \psi_k * l_k}{A_k + A_r}, \frac{W}{m^2 * K} \quad (15)$$

kus,

U_k	klaasiosa U-arv, $W/(m^2 * K)$;
A_k	klaasiosa pindala, m^2 ;
U_r	lengi- ja raamiosa U-arv, $W/(m^2 * K)$;
A_r	raamiosa pindala, m^2 ;
Ψ_k	klaasiserva (aknalengi perimeetril) joonkülmsilla lisakonduktants, $W/(m * K)$;
l_k	klaasiserva perimeetri pikkus, m.

Klaasi- ja raamiosa soojuslähivustena ning klaasiserva joonkülmasilla arvudena kasutatakse tootja andmeid. Täpsemate andmete puudumisel võetakse raamiosa soojuslähivuseks plastakendel 1,6 $W/(m^2 * K)$. [18]

Täpsemate andmete puudumisel võetakse klaasiserva joonkülmasillaks plast- ja puitakendel 0,06. [18]

Akende soojusjuhtivuse arvutus on esitatud peatükis 4.3.

3.5. Välispiirete summaarse soojuserikao arvutamise meetodika

Välispiirete summaarne soojuserikadu leitakse valemiga (16): [19]

$$H_e = \Sigma A * U + \Sigma \Psi_j * l_j + \Sigma \Psi_p * n_p + \rho_a * c_a * V_{inf}, \frac{W}{K} \quad (16)$$

kus,

A	välispiirete pindala, m^2 ;
U	välispiirete soojusjuhtivus, $W/(m^2 * K)$;
Ψ_j	joonkülmasilla lisakonduktants, $W/(m * K)$;
l_j	joonkülmasilla pikkus, m;
Ψ_p	punktkülmasilla lisakonduktants, $W/(m * K)$;
n_p	punktkülmasildade arv välispiirdes;

ρ_a õhu tihedus, 1,2 kg/m³;
 c_a õhu erisoojus, 1,005 kJ/kg;
 V_{inf} infiltratsiooni õhuhulk, m³/s.

Infiltratsiooni õhuhulk arvutatakse valemiga (17): [18]

$$V_{inf} = \frac{q_{50} * A}{3600 * x}, \frac{m^3}{s} \quad (17)$$

kus,

q_{50} hoone välispiirete keskmine õhulekkearvu baasväärtus, m³/(h*m²);
 A välispiirete s.h. põrandate pindala, m²;
 x tegur, mis ühekorruselistel hoonetel 35, kahekorruselistel 24, kolme- ja enamakorruselistel 20.

Tabelis 6 on välja toodud tegur x-i väärtus. Tegur x määratleb infiltratsiooni õhuvooluhulga arvutamisel hoonete õhulekkearvu baasväärtused q_{50} välispiirete ruutmeetri kohta järgmiselt: [18]

Tabel 6. Hoone õhulekkearvu baasväärtused välispiirete ruutmeetri kohta [18]

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu baasväärtus m ³ /(h*m ²)	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	6	9
Muud hooned	3	6

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta leitakse valemiga (18): [19]

$$\frac{H_e}{A}, \frac{W}{m^2 * K} \quad (18)$$

kus,

H_e välispiirete summaarne soojuserikadu, W/K;
 A köetava pinna pindala, m².

Soojuskaod läbi piirete tingituna piirete soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist leitakse valemiga (19): [19]

$$\frac{H_e * kraadpäevad * 24}{A}, \frac{kWh}{m^2 a} \quad (19)$$

kus,

H_e välispiirete summaarne soojuserikadu, W/K;
 kraadpäevade arv;
 24 ööpäeva pikkus, h;
 A köetava pinna pindala, m².

Soojuskaod läbi piirete tingituna soojusjuhtivusest ja õhu infiltratsioonist moodustavad ühe komponendi energiatõhususarvu (ETA) koosseisust.

Soojuserikao leidmisel kasutatakse Tartu piirkonna baasaasta kraadpäevade arvu, mis pärineb Sihtasutus Kredex kodulehelt. [20]

Välispiirete summaarse soojuserikao arvutus on esitatud peatükis 4.4.

3.6. Välispiirde kondenseerumiskiriski arvutamine Glaseri meetodiga

Veeauruga seoses on tähtis hoone välispiirete selline ehitus, mis ei lase tekkida kondensatsioonivett või kui seda tekib, siis peab see saama välja kuivada. [21]

Difusioonitakistuskonstant μ iseloomustab difusiooni läbi seinamaterjali. See konstant näiteb, mitu korda on materjali difusioonitakistus suurem kui sama paksu seisva õhu või mineraalvilla kihi oma. See dimensioonita konstant annab teavet materjali omaduste kohta. Kuid selle kaudu ei ole võimalik hinnata sellest materjalist tehtud seinakihi aurutakistust S_d , mis annab mingi pildi kogu seina difusioonist käitumisest. [21]

Seinakihi aurutakistuse (difuusne veeaurutakistus) arvutamiseks on vaja materjali difusioonitakistuskonstant korrutada selle materjali kihi paksusega. Saadakse seisva õhu või mineraalvilla kihi paksus meetrites. Aurutakistus leitakse valemiga (20): [21]

$$S_d = \mu * s, m \quad (20)$$

kus,

μ	vaadeldava ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant;
s	materjalikihi paksus, m.

Seina ehitamisel peab jälgime, et seinakihtide aurutakistused peavad seest väljapoole vähenema. Väljaspool oleva kihi aurutakistus ei tohi olla suurem kui oli sisemise kihi aurutakistus. Kogu seina aurutakistus leitakse valemiga (21), mis koosneb üksikute kihtide aurutakistuste summast: [21]

$$S_d = S_{d1} + S_{d2} + S_{d3} + \dots + S_{dN} \quad (21)$$

Veeauru osarõhk (ehk partisaalrõhk) ruumis arvutatakse vastavalt valemile (22): [21]

$$P = P_s * \varphi \quad (22)$$

kus,

P_s	küllastunud aururõhk, Pa;
φ	relatiivne õhuniiskus, %.

Küllastunud aururõhk on maksimaalne võimalik õhus sisalduva veeauru rõhk antud temperatuuril. Relatiivne niiskus on õhus sisalduva veeauru koguse suhe veeauru küllastuskogusesse või vastavalt veeauru osarõhu suhe küllastusrõhuse. [21]

Materjalikihi veeauru difusioonitakistus vastavalt valemile (23): [21]

$$\frac{1}{\Delta} = \mu * s * \frac{1}{\delta_L}, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (23)$$

kus,

μ	ehitusmaterjali difusioonitakistuskonstant;
s	ehitusmaterjali kihipaksus, m;
δ_L	õhu aurujuhtivusväärtus, kg/mhPa.

δ_L on seotud ümbritseva õhu temperatuuriga, aga arvutustes võib võtta kui konstanti: [21]

$$\delta_L \approx 0,68 * 10^{-6} \text{ kg/mhPa}$$

Seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul tuleneb vastavalt valemile (24): [21]

$$\frac{1}{\Delta} = \Sigma(\mu_n * s_n) * 1,5 * 10^6, \frac{m^2 hPa}{kg} \quad (24)$$

kus,

$\mu_n * s_n$	difusioonitakistuskonstandi ja seinakihi aurutakistuse summa.
---------------	---

Veeauru difusioonivoog i tuleneb sisemisest p_i ja välimisest p_a partsiaalrõhkudest järgnevalt vastavalt valemile (25): [21]

$$i = \frac{p_i - p_a}{1/\Delta}, \frac{kg}{m^2 h} \quad (25)$$

kus,

p_i	sisemine partsiaalrõhk, Pa;
p_a	välimine partsiaalrõhk, Pa;
$1/\Delta$	seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul, $m^2 hPa/kg$.

Difusiooni arvutuse eesmärk on uurida, kas difusiooni tõttu tekib välispiirdes kondensvett. Kondensvee tekkimisel ei tohi see kahjustada seinakonstruktsioone ja soojustusmaterjale. Selle tingimuse täitmiseks peab jälgima, et: [21]

- kondenseerumisperioodil tekkinud kondensvesi peab kuivamisperioodil välja kuivama;
- konstruktsioon ei tohi kondensvee tõttu kahjustuda (korrosioon, seened);
- kondensvee kogus ei tohi ületada $1,0 \text{ kg/m}^2$;
- kapillaarselt mitteimavate ehitusainete puhul on kondensvee koguse piirang $0,5 \text{ kg/m}^2$;
- puidu puhul on piiranguks niiskusesisaldus 5%, puidust ehitusmaterjalide puhul 3%.

Raamtingimused, mis tuleks arvesse võtta arvutuste tegemiseks on järgmised: [21]

- kondenseerumisperioodil (t_T):
 - 1) väliskliima -10°C , 80% relatiivne niiskus;
 - 2) sisekliima $+20^\circ\text{C}$, 50% relatiivne niiskus;

3) perioodi pikkus 1440 h (60 päeva). Eesti tingimustes võiks see olla 2160 h (3 kuud).

• aurumisperioodil (t_v):

1) seinad ja mitte vastu katust olevate lagede puhul:

- a. väliskliima +12°C, 70% relatiivne niiskus;
- b. sisekliima +12°C, 70% relatiivne niiskus;
- c. kliima kondenseerumiskohas +12°C, 100% relatiivne niiskus;
- d. perioodi pikkus 2160 h (90 päeva).

2) laed vastu katust:

- a. väliskliima +12°C, 70% relatiivne niiskus;
- b. katusepinna temperatuur +20°C;
- c. sisekliima +12°C, 70% relatiivne niiskus;
- d. kliima kondenseerumiskohas temperatuur vastavalt temperatuurikõverale, 100% relatiivne niiskus;
- e. perioodi pikkus 2160 h (90 päeva).

Kondensvee kogus W_T on arvatav vastavalt valemile (26): [21]

$$W_t = t_T * (i_i - i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (26)$$

kus,

t_T	kondenseerumisperiood, h;
i_i	difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda, $kg/(m^2h)$;
i_a	difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, $kg/(m^2h)$.

Difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda leitakse vastavalt valemile (27): [21]

$$i_i = \frac{p_i - p_{sw}}{1/\Delta_i}, \frac{kg}{m^2h} \quad (27)$$

kus,

p_i	sisemine partsiaalrõhk, Pa;
p_{sw}	kondenseerumisele vastav rõhk, Pa;
$1/\Delta_i$	seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul, m^2hPa/kg .

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja leitakse vastavalt valemile (28): [21]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (28)$$

kus,

p_{sw}	kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;
p_a	väline partsiaalrõhk, Pa;
$1/\Delta_a$	seina veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinaga puhul, m^2hPa/kg .

Kuivava vee kogus arvutatakse valemiga (29): [21]

$$W_v = t_v(i_i - i_a), \frac{kg}{m^2} \quad (29)$$

kus,

t_v kuivamisperiood, h;
 i_i difusioonivoo tihedus seest kondenseerumispiirkonda, $kg/(m^2h)$;
 i_a difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja, $kg/(m^2h)$.

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast ruumi sisse leitakse vastavalt valemile (30): [21]

$$i_i = \frac{p_{sw} - p_i}{1/\Delta_i}, \frac{kg}{m^2h} \quad (30)$$

kus,

p_{sw} kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;
 p_i sisemine partsiaalrõhk, Pa;
 $1/\Delta_i$ seinä veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinä puhul, m^2hPa/kg .

Difusioonivoo tihedus kondenseerumispiirkonnast välja leitakse vastavalt valemile (31): [21]

$$i_a = \frac{p_{sw} - p_a}{1/\Delta_a}, \frac{kg}{m^2h} \quad (31)$$

kus,

p_{sw} kondenseerumispunktile vastav rõhk, Pa;
 p_a väline partsiaalrõhk, Pa;
 $1/\Delta_a$ seinä veeauru difusioonitakistus mitmekihilise seinä puhul, m^2hPa/kg .

Juhul kui kondenseerumine on toimunud mitmes tasandis või kihis tervikuna, tuleb arvutada kõik kihid eraldi. Kondenseerunud vee kogus on aktsepteeritav juhul kui $W_T < 1,0 kg/m^2$ (või $0,5 kg/m^2$ kapillaarselt mitteimavate ehitusmaterjalide puhul) ja $W_V > W_T$. [21]

Välisseina kondenseerumisrisiki arvutus on esitatud peatükis 4.6.1. ning katuse kondenseerumisrisiki arvutus on esitatud peatükis 4.6.2.

3.7. Küttesüsteemi arvutamise meetodika

Küttesüsteemi arvutuse koosseisus arvutatakse ruumide kütte, ventilatsiooniõhu ja tarbevee soojendamise energiakasutus. Energiakasutus (kWh/a) arvutatakse lähtudes vastavast netoenergiavajadusest. Soojusenergia- ja elektrienergiakasutust ei summeerita, vaid neid käsitletakse eraldiseisvalt. [18]

Küttesüsteemi elektri- ja soojusenergiakasutus arvutatakse vastavalt küttesüsteemi kasutegurile ja abiseadmete elektritarbimisele. Küttesüsteemi kasuteguriga võetakse

arvesse ka kaod soojusallikas, samuti soojuse jaotamisel ja väljastamisel ning ruumitemperatuuri reguleerimise ebatäpsusest tulenevad kaod. Küttesüsteemi energiakasutus saadakse netoenergiavajaduse jagamisel küttesüsteemi kasuteguriga. Küttesüsteemide kasutegur saadakse soojusallika kasuteguri ja soojuse jaotamise ja väljastamise kasuteguri korrutisena. Soojuspumpsüsteemides kasutatakse soojusallika kasuteguri asemel soojustegurit. Soojusallika kasutegur arvutatakse tootja andmetest või kasutatakse tabelis 7 toodud andmeid. Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegur ja abiseadmete elektritarbimine arvutatakse simulatsioonarvutusega või kasutatakse tabelis 8 toodud andmeid. [18]

Tabelis 7 on välja toodud soojusallika kasutegurid kütuse tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel. Tabelis 8 on esitatud erinevate kütteviiside kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine.

Tabel 7. Soojusallika kasutegurid kütuse tarbimisaine alumise kütteväärtuse alusel [18]

Soojusallikas	Kasutegur
Kaugkütte soojussõlm	1,0
Õli- või gaasikatel	0,85
Õli, kondensatsioonkatel	0,90
Gaas, kondensatsioonkatel	0,95
Pelletikatel	0,85
Muu tahkekütuse katel	0,75
Elekterküttega katel	1,0
Ahjud	0,6

Tabel 8. Soojuse jaotamise ja väljastamise kasutegurid ning abiseadmete elektritarbimine [18]

Hoone tüüp	Kütteviis	Kasutegur	Veeküttesüsteemide ringluspumba elektritarbimine ¹⁾ , kWh/(m ² *a)
Väikeelamu	Radiaatorid	0,97	1
	Põrandküte, plaat pinnasel või alt tuulutatud põrand	0,85	2
	Põrandküte vahelaes	1,0	2
	Lagiküte katuslaes	0,90	2
	Lagiküte vahelaes	1,0	2
Muu hoone	Radiaatorid	0,97	0,5
	Põrandküte, plaat pinnasel või alt tuulutatud põrand	0,85	1
	Põrandküte vahelaes	1,0	1

1) elektritarbimine köetava pinna m² kohta, elektriradiaatoritele, -kaablitele ja elektrilisele laeküttele ning soojuspumpsüsteemidele 0 kWh/(m²*a)

Soojuspumpsüsteemidega küttesüsteemide arvutus

Soojuspumpsüsteemide arvutus põhineb soojusteguril, mis näitab mitu kWh soojusenergiat toodetakse ühest kWh elektrienergiast. [18]

Soojuspumba töötamine kombineeritud küttesüsteemi osana võetakse arvutuses arvesse kui osa küttevajaduse tipvõimsustest kaetakse muu soojusallikaga. Vee- või pinnaseenergiast soojusenergiat tootvad maasoojuspumbad võivad katta kas kogu küttevõimsuse vajaduse või teatud osa sellest. Ülejäänud soojuspumbad on alati kombineeritud küttesüsteemi osaks. [18]

Soojuspumpsüsteemidega kombineeritud küttesüsteemide arvutus

Kombineeritud küttesüsteemides arvutatakse soojuspumbaga toodetud soojusenergia lähtudes soojuspumba soojuslikust võimsusest ja hetkelisest võimsusvajadusest ning seda vähendavast vabasoojuse võimsusest. Hetkeline võimsusvajadus sõltub ruumide ja kütte osas välistemperatuurist. [18]

Soojuspumpsüsteemi elektrienergiakasutuse arvutamiseks jagatakse soojuspumbaga toodetud soojusenergia soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmise soojusteguriga, milles on võetud arvesse kõikide võimalike abiseadmete ja ringluspumpade elektritarbimine. Soojustegur määratakse tabelis 7 toodud väärtuste või tootja poolt antud andmete põhjal tehtud arvutuse alusel, milles arvestatakse soojuspumba töötamist osavõimsustel ja erinevatel välistemperatuuridel. Kui kasutatakse tabelites 8 ja 9 toodud andmeid, siis soojuspumpsüsteemi keskmine soojustegur saadakse tabeli 9 soojusteguri ja tabeli 8 kasuteguri korrutisena. [18]

Tabelis 9 on välja toodud soojuspumpade kütteperioodi ja tarbevee soojendamise keskmised soojustegurid.

Tabel 9. Soojuspumpade kütteperioodi ja tarbevee soojendamise keskmised soojustegurid [18]

Soojuspumba tüüp	Kütteperioodi keskmine soojustegur	Soojustegurid erinevatel välistemperatuuridel, °C, ja osavõimsustel, %			
		-15°C/ 100%	-7°C/ 100%;	2°C/ 50%;	7°C/ 50%
Maasoojuspump, 35 °C/28 °C	3,6				
Maasoojuspump, 40 °C/33 °C	3,4				
Maasoojuspump, 45 °C/35 °C	3,2				
Maasoojuspump, 50 °C/35 °C	3,0				
Maasoojuspump, tarbevee soojendamine	2,7				
Väljatõmbeõhu soojuspump	3,0				
Õhk-õhk soojuspump	–	2,0	2,4	3,0	4,0
Õhk-vesi soojuspump, 40 °C/33 °C	–	1,7	2,1	2,7	3,5
Õhk-vesi soojuspump, tarbevee soojendamine	2,0				

Kütte ETA komponendi arvutus:

Energiatõhususarv ETA arvutatakse, jagades summaarse kaalutud tarnitud energiakasutuse ja summaarse kaalutud eksporditud energiakasutuse vahe kõetava pinna ruutmeetrite arvuga ning leitakse valemiga (32): [18]

$$ETA = \frac{\sum_i (E_{tar,i} - E_{eks,i}) * f_i}{A_{neto}} \quad (32)$$

kus,

$E_{tar,i}$	energiakandja i tarnitud energia kWh/a;
$E_{eks,i}$	energiakandjaga i eksporditud energia kWh/a;
f_i	energiakandja i kaalumistegur;
A_{neto}	kõetav pind, m ² .

Energiakandjate kaalumistegur on tegur, millega võetakse arvesse tarnitud energia tootmiseks vajalik primaarenergia kasutus ja selle keskkonnamõju. Energiakandjate kaalumistegurid on järgmised: [4]

- taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, v.a turvas ja turbabrikett) 0,75;
- kaugküte 0,9;
- vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas) 1,0;
- maagaas 1,0;
- tahked fossiilkütused (kivisüsi jms) 1,0;
- turvas ja turbabrikett 1,0;
- elekter 2.

Küttesüsteemi võimsuse arvutus on esitatud peatükis 4.5.

4. PIIRETE SOOJUSTEHNILISED OMADUSED

Arvutustes kasutatud materjalide soojuseri juhtivused on toodud tabelis 10 ja ehitismaterjalide paksused piirete kirjeldustest. Õhukeste kihtide (aurutõkkele, tapeet, värv) soojuseri juhtivusi pole arvestatud.

Tabel 10. Arvutustes kasutatud materjalide omadused

Materjal	Soojuseri juhtivus λ , W/(m*K)	Difusioonitakistuskonstant μ
Tuuletõkkeplaat	0,060 ³⁾	1 ²⁾
Mineraalvill	0,056 ^{3)*}	1 ⁴⁾
Puit	0,130 ³⁾	40 ⁴⁾
Kipsplaat	0,250 ³⁾	10 ⁴⁾
Õhkvahe	0,160 ³⁾	1 ⁴⁾
EPS	0,050 ³⁾	25 ¹⁾

- 1) Piirfeld, A. Soojustatud välisseina hingamine ja selle arvutusmeetodika. Kättesaadav: <http://www.tarmatrade.ee/File/FASSAADIDE%20HINGAMISE%20ARVUTUS.pdf> (23.05.2015)
- 2) Isover. Ehitisolatsioon. Tuuletõkketooted. Isover VKL. Kättesaadav: <http://www.isover.ee/tooted/ehitisolatsioon/tuulet-kketooted/4935/isover-vkl> (23.05.2015)
- 3) Riigi Kinnisvara. Eestis enamlevinumate piirdekonstruktsioonide soojajuhtivuste (U-arv) hindamise tabel. Kättesaadav: <http://rkas.ee/co2/piirdekonstruktsioonide-soojajuhtivuste-hindamine> (23.05.2015)
*sisaldab puitkarkassi 600mm sammuga
- 4) Ehitismaterjalid ja -tooted. Soojus- ja niiskustehnilised omadused. Tabuleeritud arvutusväärtused ja deklareeritavate ning arvutusväärtuste määramise meetoid. EVS-EN ISO 10456:2008. Tallinn. Eesti Standardikeskus. 2008.

4.1. Välispiirde soojusjuhtivuse arvutamine

Soojustuse valikul tuleb lähtuda sellest, et ehitis oleks hea energiatõhususe tasemega. Elamute välispiirete valikul võib esmase lähenemisenä lähtuda järgmistest väärtustest: [4]

- 1) välisseinte soojusläbivus 0,12–0,22 W/(m²*K);
- 2) katuste ja põrandate soojusläbivus 0,1–0,15 W/(m²*K);
- 3) akende ja uste soojusläbivus 0,6–1,1 W/(m²*K).

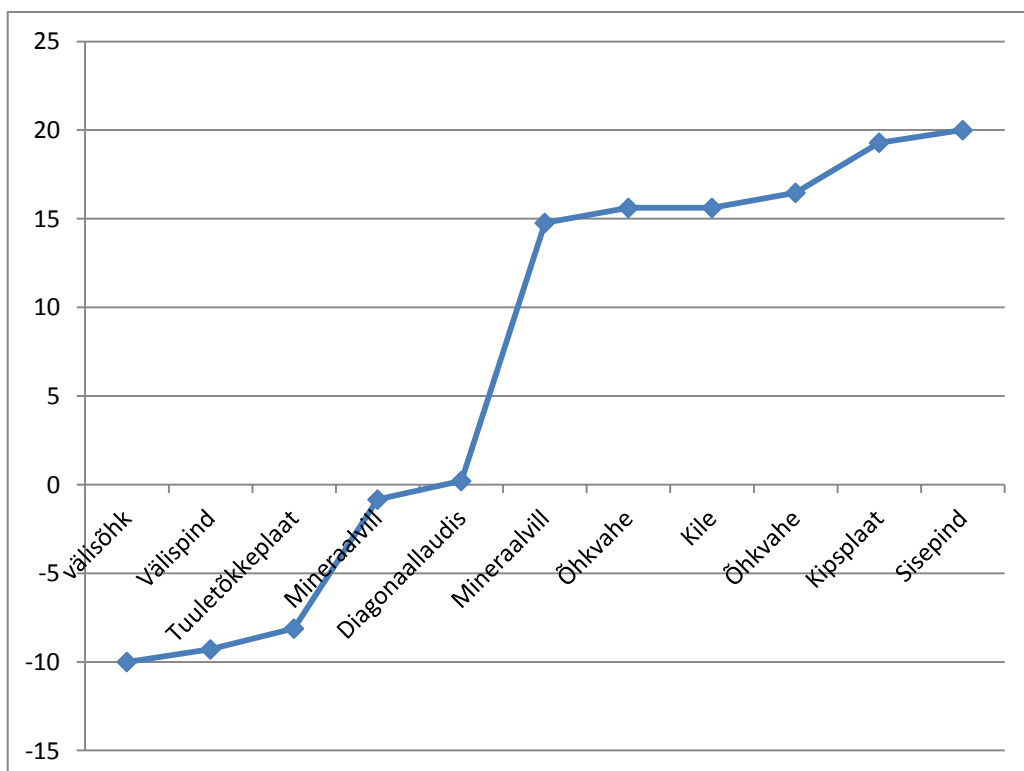
4.1.1. Välisseina soojusjuhtivuse arvutamine

Tabelis 11 on välisseina soojusjuhtivuse arvutus vastavalt valemitele (1 kuni 11). Joonisel 2 on välja toodud välisseina temperatuurigraafik. Joonisel 3 on projekteeritud olemasoleva välisseina lõige. Materjalide soojusjuhtivused on võetud tabelist 10.

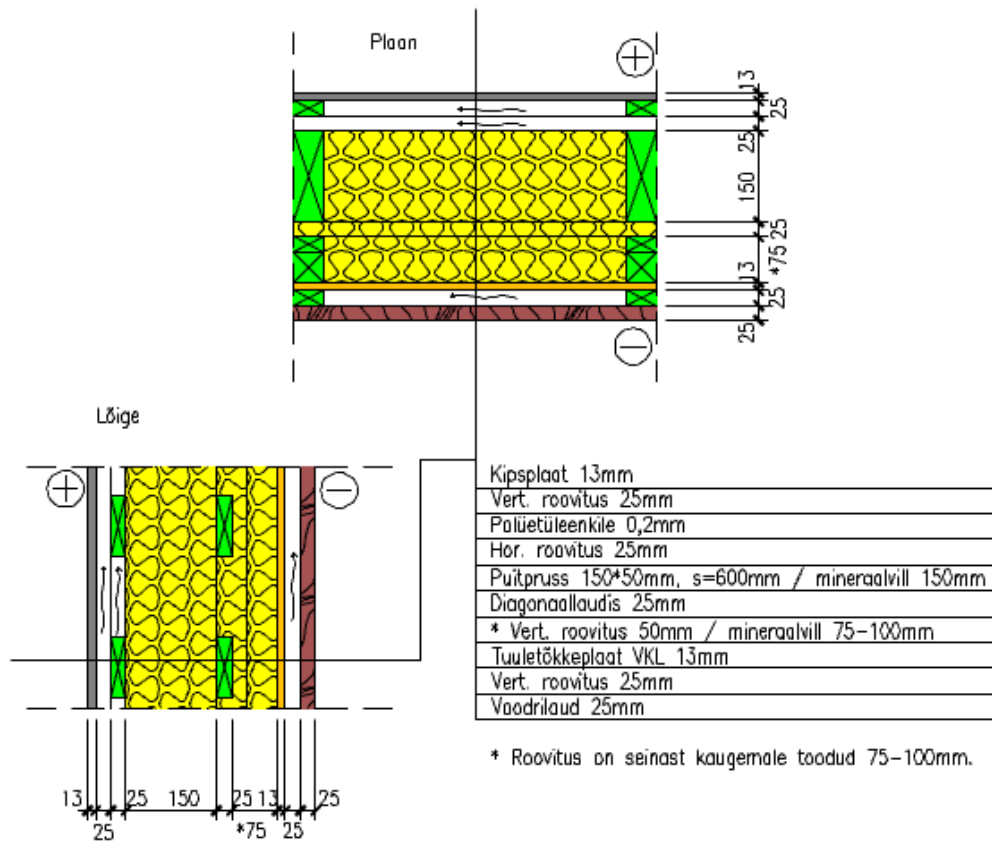
Tabel 11. Välisseina soojusjuhtivuse arvutus

					välis-temp	sis-temp
					-10	20
välisõhk	kihi paksus	lambda	R	%R	delta t	-10
Välispind			0,13	2,4	0,71	-9,29
Tuuletõkkeplaat	0,013	0,060	0,22	3,9	1,18	-8,12
Mineraalvill	0,075	0,056	1,34	24,3	7,28	-0,84
Diagonaallaudis	0,025	0,130	0,19	3,5	1,05	0,21
Mineraalvill	0,150	0,056	2,68	48,5	14,56	14,77
Õhkvahe	0,025	0,160	0,16	2,8	0,85	15,62
Kile	0,002	5,000	0,00	0,0	0,00	15,62
Õhkvahe	0,025	0,160	0,16	2,8	0,85	16,47
Kipsplaat	0,013	0,025	0,52	9,4	2,83	19,29
Sisepind			0,13	2,4	0,71	20,00
			R(m ² K)/W	5,520	100,00	
			U W/m ² K	0,181		

Välisseinte soojuslähivus peaks jääma 0,12 kuni 0,22 W/m²K vahele. Antud hoone välisseina puhul on see 0,181 W/m²K kohta. See näitab, et välisseinad on piisavalt soojustatud, et normidesse mahtuda.



Joonis 2. Välisseina temperatuurigraafik



Joonis 3. Välisseina lõige

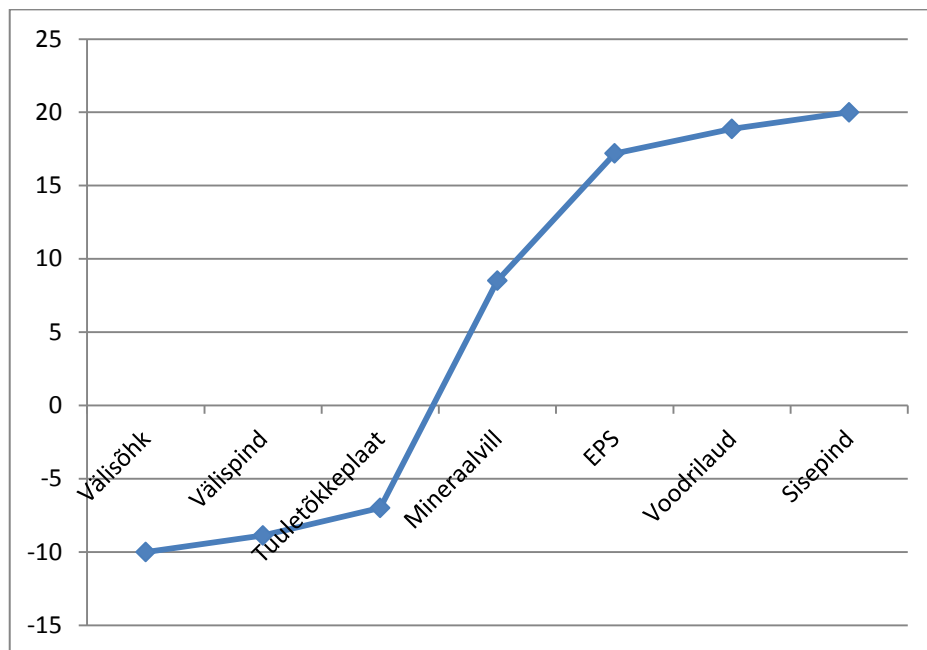
4.1.2. Katuse soojusjuhtivuse arvutamine

Tabelis 12 on katuse soojusjuhtivuse arvutus vastavalt valemitele (1 kuni 11). Joonisel 4 on välja toodud katuse temperatuurigraafik. Joonisel 5 on projekteeritud olemasoleva katuse lõige. Materjalide soojusjuhtivused on võetud tabelist 10.

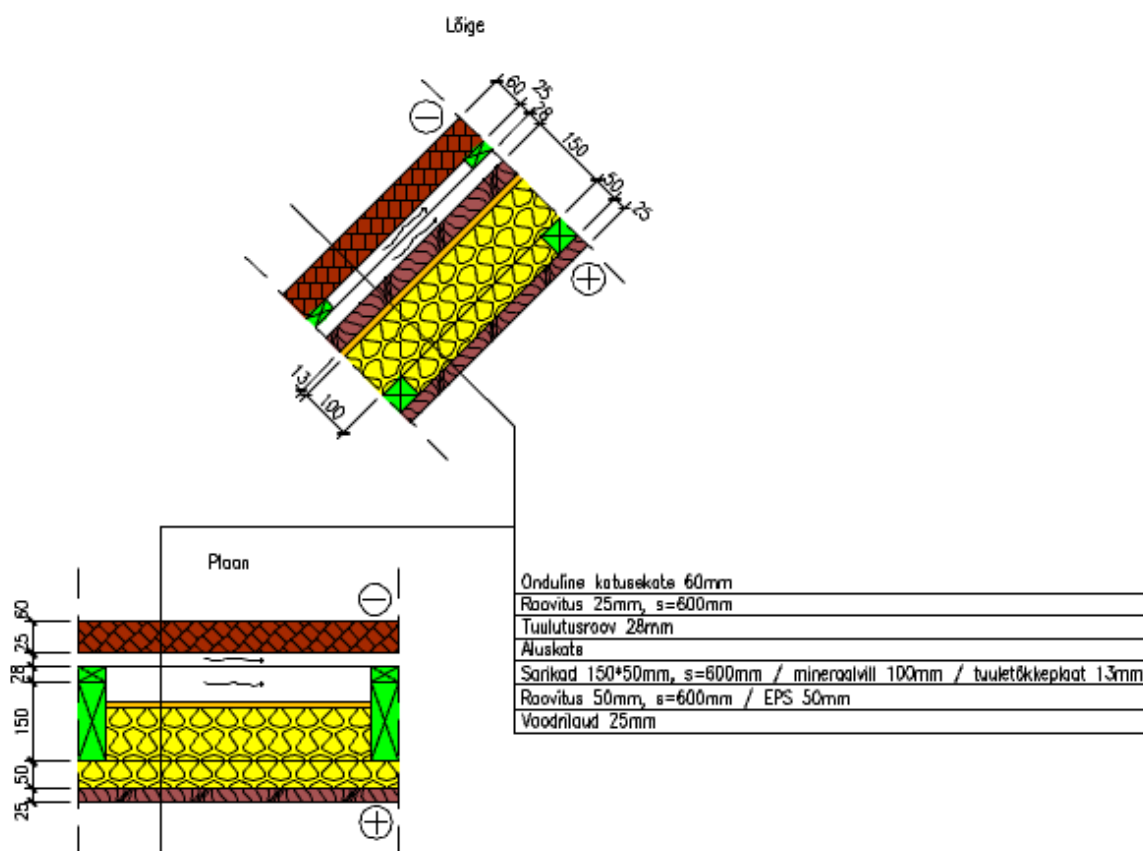
Tabel 12. Katuse soojusjuhtivuse arvutus

					välis-temp	sisetemp
					-10	20
Välisõhk	kihi paksus	lambda	R	%R	2	-10
Välispind			0,13	3,8	1,13	-8,87
Tuuletõkkeplaat	0,013	0,060	0,22	6,3	1,88	-6,99
Mineraalvill	0,100	0,056	1,79	51,7	15,51	8,52
EPS	0,050	0,050	1,00	28,9	8,68	17,20
Voodrilaud	0,025	0,130	0,19	5,6	1,67	18,87
Sisepind			0,13	3,8	1,13	20,00
			R(m ² K)/W	3,455		
			U W/m ² K	0,289		

Katuse soojuslähivus peaks jääma 0,10 kuni 0,15 W/m²K vahele. Antud hoone katuse puhul on see 0,289 W/m²K kohta. See näitab, et katus on seal ebapiisavalt soojustatud ning peaks kaaluma lisasoojustamist.



Joonis 4. Katuse temperatuuriprofiil



Joonis 5. Katuse lõige

4.2. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutamine

Põrandat iseloomustava mõõdu arvutus vastavalt valemile (12).

$$B' = \frac{128,2}{0,5 * 53,2} = 4,82 \text{ (m)}$$

Pinnasel asuva põranda puhul leitakse ekvivalentne kogupaksus vastavalt valemile (13).

$$d_t = 0,5 + 1,4 \left(0,13 + \frac{0,1}{0,04} + 0,04 \right) = 4,24 \text{ (m)}$$

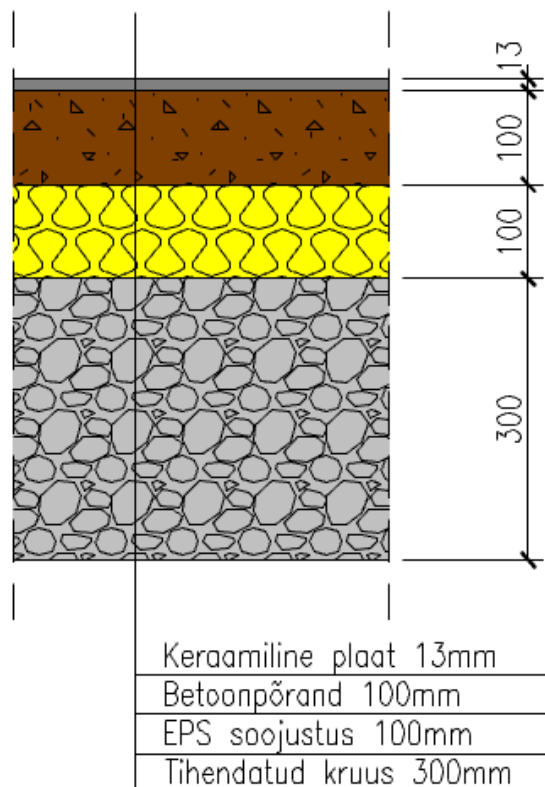
U-väärtuse arvutusvalem sõltub sellest, kas $d_t < B'$ (soojustamata või mõõduka soojustusega) või $d_t \geq B'$ (hästi soojustatud). Antud hoone puhul mõõduka soojustusega. Arvutuskäik vastavalt valemile (14):

$$U = \frac{2 * 1,4}{3,14 * 4,82 + 4,24} \ln \left(\frac{3,14 * 4,82}{4,24} + 1 \right) = 0,22 \text{ (W/m}^2\text{K)}$$

Põranda soojusläbivus peaks jääma 0,10 kuni 0,15 W/m²K vahele. Antud hoone puhul on see 0,22 W/m²K kohta. See näitab, et põranda all on ebapiisavalt soojustatud.

Joonisel 6 on projekteeritud olemasoleva põranda lõige.

Lõige



Joonis 6. Põranda lõige

4.3. Akende soojusjuhtivuse arvutamine

Tabelis 13 on välja toodud akende kaupa soojusjuhtivus. Akna soojusjuhtivus vastavalt valemile (15):

Tabel 13. Akende soojusjuhtivuse arvutus

Aken	a (m)	b (m)	S (m ²)	P (m)	U _k (W/m ² K)	A _k (m ²)	U _r (W/m ² K)	A _r (m ²)	Ψ _k (W/mK)	l _k (m)	U _a (W/m ² K)
A1	0,90	1,00	0,90	3,80	1,100	0,634	1,600	0,266	0,060	3,240	1,464
A2	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A3	0,70	1,00	0,70	3,40	1,100	0,462	1,600	0,238	0,060	2,840	1,513
A4	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A5	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A6	2,80	1,35	3,78	8,30	1,100	3,199	1,600	0,581	0,060	7,740	1,300
A7	0,90	1,00	0,90	3,80	1,100	0,634	1,600	0,266	0,060	3,240	1,464
A8	0,90	1,00	0,90	3,80	1,100	0,634	1,600	0,266	0,060	3,240	1,464
A9	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A10	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A11	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A12	1,50	1,00	1,50	5,00	1,100	1,150	1,600	0,350	0,060	4,440	1,394
A13	0,55	1,20	0,66	3,50	1,100	0,415	1,600	0,245	0,060	2,940	1,553
A14	0,45	1,00	0,45	2,90	1,100	0,247	1,600	0,203	0,060	2,340	1,638
			18,79	64,50						Keskmine	1,440

Akende keskmine U-väärtus on 1,44 W/m²K.

4.4. Välispiirete summaarse soojuserikao arvutamine

Tabelis 14 on arvatud välispiirete summaarne soojuserikadu.

Tabel 14. Energiaarvutuse lähteandmete esitamine oluliselt rekonstrueeritava hoone korral [17]

Soojuskaod läbi piirdetarindite				Soojuskaod läbi külmasildade				Soojuskaod läbi õhulekkekohtade	
Piirdetarind	U_i W/(m ² *K)	A_i m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m*K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Omadus	Suurus
Välisseinad	0,18 ¹⁾	166,8 ⁶⁾	30,0	Välissein-välissein välisnurk	0,3 ⁷⁾	18,0 ⁶⁾	5,4	Õhulekkearv q_{50} , m ³ /(h*m ²)	9 ⁷⁾
Katuslagi	0,29 ²⁾	217,5 ⁶⁾	63,1	Välissein-välissein sisenurk	-0,2 ⁷⁾	6,0 ⁶⁾	-1,2	A_{vp} (välispiirded), m ²	534,71 ⁶⁾
Põrand pinnasel	0,22 ³⁾	128,2 ⁶⁾	28,2	Põrand pinnasel-välissein	0,3 ⁷⁾	53,2 ⁶⁾	16,0	Korruste arv	2
Välisuksed	1,10 ⁴⁾	3,4 ⁶⁾	3,8	Välissein-katuslagi välisnurk	0,2 ⁷⁾	55,6 ⁶⁾	11,1	V_{inf} , m ³ /s	0,056
Aknad	1,44 ⁵⁾	18,8 ⁶⁾	27,1	Akende seinakinnitus	0,3 ⁷⁾	63,5 ⁶⁾	19,1		
				Uste seinakinnitus	0,3 ⁷⁾	11,6 ⁶⁾	3,5		
Kokku: $H_{piirded}$, W/K			152,1	Kokku: $H_{külmasillad}$, W/K			53,8	$H_{õhulekked}$, W/K	67,17
Välispiirete summaarne soojuserikadu					ΣH	W/K	272,10		
Välispiirete keskmine soojusläbivus					$\Sigma H/A_{vp}$	W/(m ² *K)	0,51		
Hoone köetav pind					$A_{kõetav}$	m ²	202,00		
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta					$\Sigma H/A_{kõetav}$	W/(m ² *K)	1,35		

- 1) Vastavalt Tabelile 11
- 2) Vastavalt Tabelile 12
- 3) Peatükk 4.2.2. Pinnasel põranda soojusjuhtivuse arvutus
- 4) AS Viljandi Aken ja Uks. Kättesaadav: <http://vau.ee/toode/gracia-6r/> (20.05.2015)
- 5) Vastavalt Tabelile 13
- 6) Pindalad ja pikkused arvatud vastavalt joonistele ja mõõtmistele
- 7) Vastavalt Tabelile 6

4.5. Küttesüsteemi võimsuse arvutamine

Tabelis 15 on arvatud hoone kütmiseks vajalik võimsus.

Tabel 15. Vajaliku küttevõimsuse arvutus

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta	1,35	W/(m ² *K)
Energiavajadus kütteks	139,36	kWh/m ²
Vajalik küttevõimsus	7,82	kW

Energiavajadus kütteks läbi soojuskadude ning infiltratsiooni leitakse vastavalt valemile (19):

$$\begin{aligned}
 \text{Energiavajadus kütteks} &= \frac{\Sigma H}{A_{\text{köetav}}} * \text{kraadpäevad} * \frac{24}{1000} = 1,35 * 4295 * \frac{24}{1000} = \\
 &= 139,26 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}}
 \end{aligned}$$

Normaalaasta kraadpäevad võeti Tartu piirkonna tasakaalutemperatuuril 17 kraadi, milleks on 4 295. [20]

Vajaliku küttevõimsuse arvutus:

$$\begin{aligned}
 \text{Küttevõimsus} &= \text{energiavajadus kütteks} * \frac{\text{netopind}}{3600\text{s}} = 139,26 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * \frac{202\text{m}^2}{3600\text{s}} \\
 &= 7,82 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Arvutustest kasutatakse edaspidi vajalikuks küttevõimsuseks 8 kW.

Kütte ETA komponendi arvutus:

Olemasoleva küttesüsteemi energiatõhususarvu komponent leitakse vastavalt valemile (32):

$$ETA = \frac{\left(\frac{28130,52}{0,95 * 0,75} - 0\right) * 1}{202} = 195,45 \frac{kWh}{m^2a}$$

kus,

$E_{tar,i}$	energiakandja i tarnitud energia	28130,52 kWh/a;
$E_{eks,i}$	energiakandjaga i eksporditud energia	0 kWh/a;
f_i	energiakandja i kaalumistegur kivisöega kütmisel	1,0;
A_{neto}	köetav pind	202 m ² ;
	katla kasutegur	0,75;
	radiaatorkütte kasutegur	0,95.

Kuna selle hoone kütetarve on piirete tõttu suur, siis katla ning radiaatorkütte kasuteguritega suureneb kütte ETA komponent orienteeruvalt 30 %.

4.6. Välispiirde kondenseerumisriski arvutamine

4.6.1. Välisseina kondenseerumisriski arvutamine

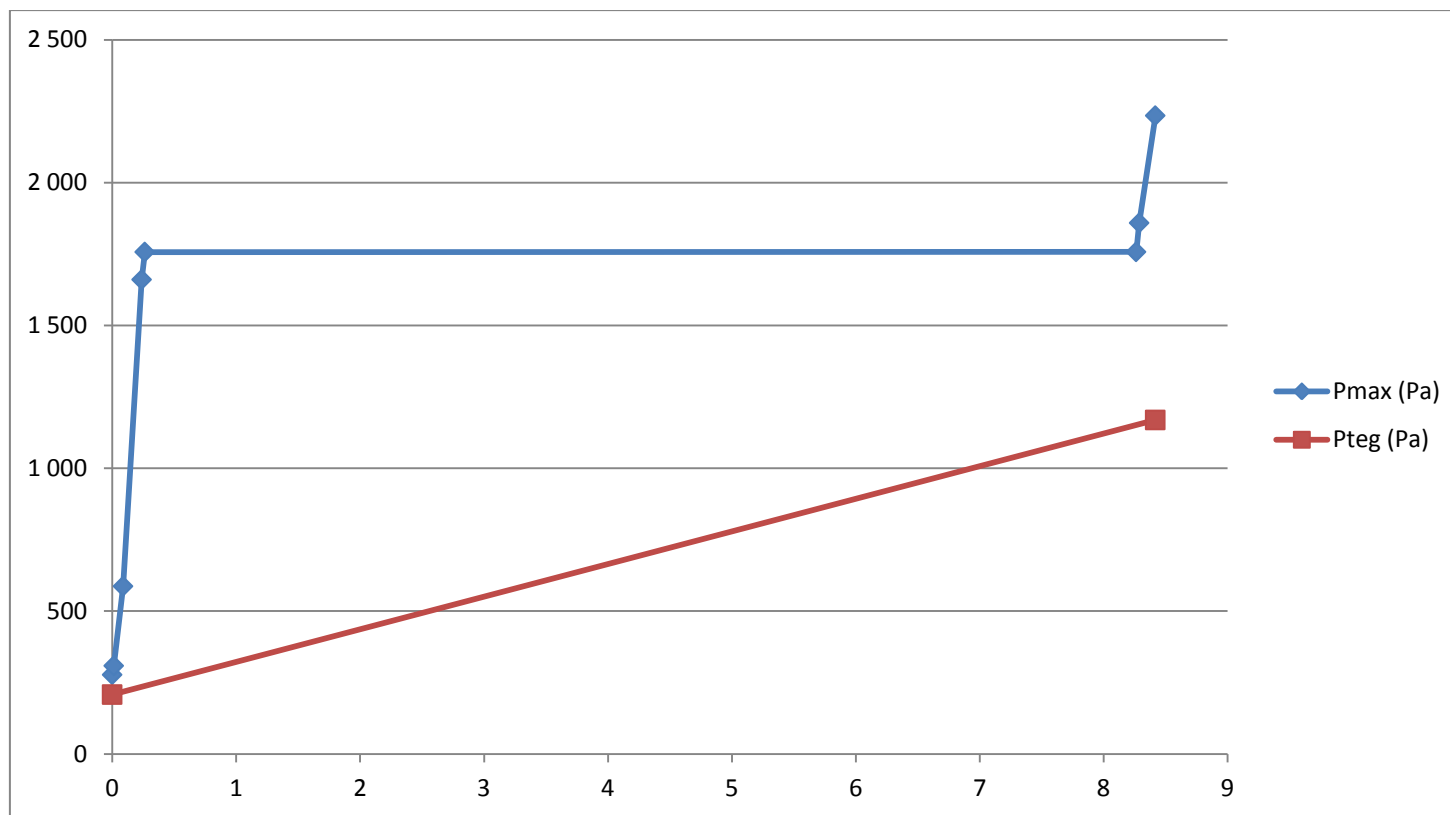
Tabelis 16 on välisseina niiskusrežiimi arvutus. Joonisel 7 on välja toodud kondenseerumise graafik. Materjalide difusioonitakistuskonstandid on võetud tabelist 10.

Tabel 16. Välisseina niiskusrežiimi arvutus

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	välisemp	sisemp
					-10	20
					delta t	-10
Välispind			0,13	2,44	0,73	-9,27
Tuuletõkkeplaat	0,013	0,060	0,22	4,07	1,22	-8,05
Mineraalvill	0,075	0,056	1,34	25,14	7,54	-0,51
Mineraalvill	0,150	0,056	2,68	50,28	15,08	14,58
Õhkvahe	0,025	0,160	0,16	2,93	0,88	15,46
Kile	0,002	5,000	0,00	0,01	0,00	15,46
Õhkvahe	0,025	0,160	0,16	2,93	0,88	16,34
Kipsplaat	0,013	0,025	0,52	9,76	2,93	19,27
Sisepind			0,13	2,44	0,73	20,00
		R(m ² K)/W	5,327	100,00		
		U W/m ² K	0,181			

tegelik rõhk	S _d summa
207,90	0,00
1169,09	8,42

μ	S _d	P _{teg} (Pa)	P _{max} (Pa)	S _d summa
			260	
		207,90	277	0,00
1	0,013		309	0,01
1	0,075		587	0,09
1	0,150		1 661	0,24
1	0,025		1 757	0,26
4000	8,000		1 757	8,26
1	0,025		1 859	8,29
10	0,130		2 234	8,42
		1169,09	2 338	
	8,418			
veeauru osarõhud sees ja väljas				
2 338	260			
50	80			
1169,09	207,90	961,19		



Joonis 7. Välisseina niiskusrežiimi graafik

Välisseinas niiskuse kondenseerumisega probleeme ei esine.

4.6.2. Katuse kondenseerumisrisi arvutamine

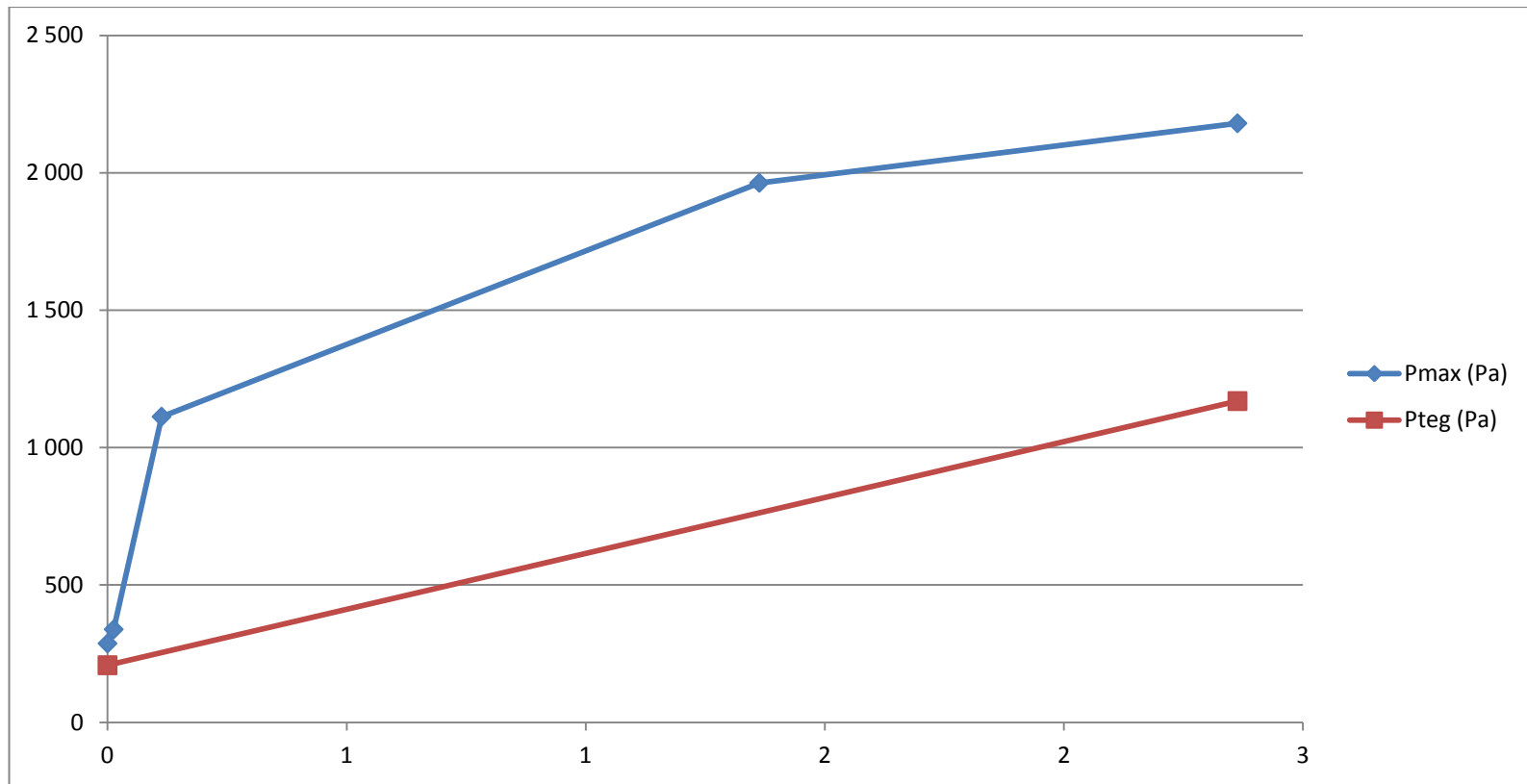
Tabelis 17 on katuse niiskusrežiimi arvutus. Joonisel 8 on välja toodud kondenseerumise graafik. Materjalide difusioonitakistuskonstandid on võetud tabelist 10.

Tabel 17. Katuse niiskusrežiimi arvutus

Tarindi osa	kihi paksus	lambda	R	%R	välis temp	sisetemp
					-10	20
					delta t	-10
Välispind			0,13	3,76	1,13	-8,87
Tuuletõkkeplaat	0,013	0,060	0,22	6,27	1,88	-6,99
Mineraalvill	0,100	0,056	1,79	51,69	15,51	8,52
EPS	0,050	0,050	1,00	28,95	8,68	17,20
Voodrilaud	0,025	0,130	0,19	5,57	1,67	18,87
Sisepind			0,13	3,76	1,13	20,00
		R(m ² K)/W	3,455	100,00		
		U W/m ² K	0,289			

tegelik rõhk	S _d summa
207,90	0,00
1169,09	2,36

μ	S _d	P _{teg} (Pa)	P _{max} (Pa)	S _d summa
			260	
		207,90	287	0,00
1	0,013		338	0,01
1	0,100		1 112	0,11
25	1,250		1 963	1,36
40	1,000		2 180	2,36
		1169,09	2 338	
	2,363			
veeauuru osarõhud sees ja väljas				
	2 338	260		
	50	80		
	1169,09	207,90	961,19	



Joonis 8. Katuse niiskusrežiimi graafik

Katuses niiskuse kondenseerumisega probleeme ei esine.

5. TULEMUSED JA ARUTELU

5.1. Kütte osa tasuvusarvutuste alused

Hetkel köetakse hoonet kivisõega, mis on aeganõudev ja töömahukas kütmissviis. Talvekuudel on vaja katelt kütta iga päev, et majas soe oleks. Samal ajal tekib palju kivisõetuhka ja -tolmu, katelt on vaja iga päev puhastada, samuti on vaja paar korda aastas korstent puhastada. Ei ole seda mugavust, et kodust ära minna ja jätta maja tühjaks, alati on vaja kedagi sinna kütma ja koristama vaja saata. Lisaküttevõimalusena on hoones ahi, kamin ja teisel korrusel ka õhk-õhk tüüpi kliimaseade.

Uuteks kütteallikateks valitakse maasoojuspump või õhk-vesi soojuspump, sest soojuspumbad on keskkonnasõbralikud, efektiivsed ja väikeste küttekuludega. Mõlemal puhul on tagatud täielik mugavus – keegi enam katelt kütma ei pea ning soe vesi alati olemas. Tabelis 14 on arvutatud välispiirete summaarne soojuserikadu ning Tabelis 15 on arvutatud hoone vajalik küttevõimsus. Hinnapakkumised on võetud 8 kW võimsuse järgi.

Tasuvusarvutustes on aluseks võetud hetkeline kivisõe kulu, transpordi ning töö maksumus. Varasematel aastatel on kivisütt kulunud ligikaudu 4 000 kg/aastas, ühe kilogrammi hind 0,18 €, see teeb sõe maksumuseks 720 €. Transpordi all on arvestatud kivisõe toomise kuluga – orienteeruvalt 100 €/aastas. Tööd ja mugavust on raske rahaliselt suurusesse arvestada, aga et see oleks võrreldav, siis arvestatakse viie kuu kütmisega, iga kuu 30 päeva ning ühe päeva eest tasu kolm eurot. See teeb töö tasuks 450 €/aastas (kütteperioodis). Selle töö sisse mahub nii katla puhastamine kui ka kütmine igapäevaselt. Aastane rahaline kulu on kokku võetud tabelis 18.

Tabel 18. Rahaline kulu kütmisele ühe aasta lõikes

Kivisõe maksumus	720 €/aastas
Transport	100 €/aastas
Töö/mugavus	450 €/aastas
Kokku	1 270 €/aastas

Kuna erinevatel firmadel on erinevad seadmed ning nende kvaliteet ja kasutegur mõjutavad hinda väga palju, siis jäetakse hinnapakkumised anonüümseteks ning on abistava suurusega. Käesolevas töös on võetud aluseks ühe tootja (Nibe) maasoojuspump ning ka õhk-vesi soojuspump samal võimsusel. Sellisel juhul tekib võrdlusmoment kahe erineva süsteemi maksumusel sama tootja seadmetega. Kui võtta maasoojuspumba ning õhk-vesi soojuspumba seadmete pakkumised erinevatelt tootjatelt, siis neid ei saa omavahel sarnaselt võrrelda.

Uute süsteemide rajamisel kindlasti võtta mitmeid pakkumisi konkreetsele objektile ning neid põhjalikult analüüsida. Odavama seadme valikul ning ainult rajamismaksumust vaadates võib eksploatatsioonikulude ning lühema eluea tõttu süsteem kallimaks osutuda kui kallima, kvaliteetsema ning efektiivsema seadme alginvesteeringu puhul.

5.2. Elektri tootmise tasuvusarvutuste alused

Elektrikulu on viimase kahe aasta jooksul olnud ligikaudu 6 300 kuni 6 500 kWh/aastas. Edasipidistes arvutustes võetakse elektritarbeks 6 500 kWh/aastas, see katab ära kogu elektri kulu krundil. Arvutusteks kasutatakse aastaseks elektriarveks 850 €. Elektri kulu hõlmab enda all kogu krundil olevaid seadmeid ja tarbijaid – nii saunamaja, garaaž, pumbamaja ning elumaja. Elektritarve on toodud tabelis 19.

Krundil elektri tootmise viisideks valiti päikesepaneelid või tuulegeneraatorid. Mõlemal puhul arvestati süsteemi võimsuseks kogu tarbitava energia kogus – elektrit on vaja toota vähemalt 6 500 kWh/aastas, et 100%-liselt taastuvenergiast saada elektritarve rahuldatud.

Tabel 19. Elektritarve viimase kahe aasta jooksul

Kuu	Aasta	Öö (kWh)	Päev (kWh)	Kokku (kWh)	Kokku (€)	Märkused
Jaanuar	2013	454,00	499,00	953,00	129,60	
Veebruar		366,00	367,00	733,00	98,87	
Märts		423,00	432,00	855,00	115,51	
Aprill		251,00	256,00	507,00	68,50	
Mai		193,00	188,00	381,00	51,26	
Juuni		131,00	284,00	415,00	59,65	
Juuli		95,00	51,00	146,00	10,63	pikad elektrikatkestused
August		129,00	192,00	321,00	44,67	
September		200,00	200,00	400,00	53,80	
Oktoober		268,00	342,00	610,00	83,80	
November		-	-	530,00	65,72	info kadunud, orienteeruvalt
Detsember		311,00	320,00	631,00	85,07	
		2 821,00	3 131,00	6 482,00	867,08	keskmine 0,133 €/kWh
Jaanuar	2014	356,00	406,00	762,00	102,62	
Veebruar		-	-	650,00	68,90	info kadunud, orienteeruvalt
Märts		-	-	600,00	63,60	info kadunud, orienteeruvalt
Aprill		231,00	241,00	472,00	62,39	
Mai		252,00	239,00	491,00	64,40	
Juuni		208,00	266,00	474,00	63,69	
Juuli		187,00	161,00	348,00	45,29	
August		208,00	178,00	386,00	50,20	
September		254,00	217,00	471,00	61,25	
Oktoober		302,49	301,00	603,49	79,47	
November		293,64	235,09	528,74	68,37	
Detsember		284,71	316,25	600,96	79,83	
		2 576,84	2 560,35	6 387,19	810,01	keskmine 0,127 €/kWh

Kahe aasta keskmine elektri maksumus on 0,130 €/kWh.

Kuna erinevatel firmadel on erinevad seadmed ning nende kvaliteet ja kasutegur mõjutavad hinda väga palju, siis jäetakse hinnapakkumised anonüümseteks ning on abistava suurusega. Uute süsteemide rajamisel kindlasti võtta mitmeid pakkumisi konkreetsele objektile ning neid põhjalikult analüüsida.

5.3. Maasoojuspumba tasuvusarvutus

Tabelis 20 on välja toodud Nibe maasoojuspumba tehnilised andmed, komplekti hind ning tasuvusarvutus.

Tabel 20. Nibe maasoojuspumba tehnilised andmed, hind ning tasuvusarvutus

Tehnilised andmed	
Küttevõimsus kW (0/+35 °C)	7,63
Küttevõimsus kW (0/+50 °C)	6,32
Elektrivõimsus kW (0/+35 °C)	1,62
Elektrivõimsus kW (0/+50 °C)	1,88
Soojustegur COP (0/+35 °C)	4,71
Soojustegur COP (0/+50 °C)	3,36
Müratase (dB)	44
Mõõtmed (mm)	600*620*1800
Kaal (kg)	320
Boileri maht (l)	180
Komplekti hind	
Maasoojuspump 8kW (Nibe)	8 500 €
Kontuur (~600 jm)	
Akupaak	
Automaatika	
Kaevetööd (2 päeva)	
Seadme paigaldus (2 päeva)	
Seadistamine	
Eluiga (aastat)	15-20
Tasuvusarvutus	
Kivisõe maksumus (€)	720
Transport (€)	100
Töö (€)	450
Kokku (€)	1270
Tasuvusaeg (aastat)	6,69
Eluea ja tasuvusaja suhe	2,24-2,99

Süsteemi hinnaks on orienteeruvalt 8 500 €. Siit selgub, et olemasoleva süsteemi väljavahetamisel tasuks maasoojuspumba rajamine end ära 6,7 aastaga. Süsteemi eluiga võib olla kuni 25 aastat, aga olemasolevad mudelid jäävad lihtsalt 15 kuni 20 aasta pärast oma kasuteguritega uutele ja täiustatud mudelite jalgu. Seetõttu arvestati elueaks 15 kuni 20 aastat. Kõige pessimistlikuma plaani juures tuleks süsteem välja vahetada 15 aasta pärast ning kui võrrelda seda 6,7 aasta tasuvusajaga, siis eluea ning tasuvusaja suhe on 2,24 ning kui süsteem vahetada välja 20 aasta pärast, siis see suhe on 2,99. Võrdlus õhk-vee soojuspumbaga on esitatud Joonistel 9 ja 10.

5.4. Õhk-vesi soojuspumba tasuvusarvutus

Tabelis 21 on välja toodud Nibe õhk-vesi soojuspumba tehnilised andmed, komplekti hind ning tasuvusarvutus.

Tabel 21. Nibe õhk-vesi soojuspumba tehnilised andmed, hind ning tasuvusarvutus

Tehnilised andmed		Kasutegur COP
Küttevõimsus kW (välisõhk +7 °C, pealevool +35 °C)	9,27	4,40
Küttevõimsus kW (välisõhk +7 °C, pealevool +45 °C)	9,08	3,55
Küttevõimsus kW (välisõhk +7 °C, pealevool +55 °C)	8,41	2,75
Küttevõimsus kW (välisõhk +2 °C, pealevool +35 °C)	7,21	3,66
Küttevõimsus kW (välisõhk +2 °C, pealevool +45 °C)	7,05	2,93
Küttevõimsus kW (välisõhk -7 °C, pealevool +35 °C)	6,24	3,05
Küttevõimsus kW (välisõhk -7 °C, pealevool +45 °C)	5,84	2,44
Küttevõimsus kW (välisõhk -7 °C, pealevool +55 °C)	4,93	1,78
Küttevõimsus kW (välisõhk -15 °C, pealevool +35 °C)	4,51	2,42
Küttevõimsus kW (välisõhk -15 °C, pealevool +45 °C)	4,24	1,96
Müratase (dB) (1m - 59,5dB; 4m - 47,5dB)	59,5	
Siseseadme mõõtmed (mm)	600*600*1760	
Välisseadme mõõtmed (mm)	970*370*845	
Siseseadme kaal (kg)	140	
Välisseadme kaal (kg)	74	
Mahuti (l)	270	
Õhk-vesi soojuspump		
Õhk-vesi pump 8kW (Nibe)	6 500 €	
Automaatika		
Seadme paigaldus (2 päeva)		
Akupaak		
Seadistamine		
Eluiga (aastat)	10-15	
Tasuvusarvutus		
Kivisõe maksumus (€)	720	
Transport (€)	100	
Töö (€)	450	
Kokku (€)	1270	
Tasuvusaeg (aastat)	5,12	
Eluea ja tasuvusaja suhe	1,95-2,93	

Süsteemi hinnaks on orienteeruvalt 6 500 €. Siit selgub, et olemasoleva süsteemi väljavahetamisel tasuks õhk-vesi soojuspumba rajamine end ära juba 5,1 aastaga. Süsteemi eluiga võib olla kuni 20 aastat, aga olemasolevad mudelid jäävad lihtsalt 10 kuni 15 aasta pärast oma kasuteguritega uutele ja täiustatud mudelite jalgu. Seetõttu arvestati elueaks 10 kuni 15 aastat. Kõige pessimistlikuma plaani juures tuleks süsteem välja vahetada 10 aasta pärast ning kui võrrelda seda 5,1 aasta tasuvusajaga, siis eluea ning tasuvusaja suhe on 1,95 ning kui vahetada süsteem välja 15 aasta pärast, siis see suhe on 2,93. Võrdlus maasoojuspumbaga on esitatud Joonistel 9 ja 10.

5.5. Päikeseenergia tasuvusarvutus

Hinnapakumised on saadud kahest firmast. Ühel juhul on pakutud suurema võimsusega ning teisel puhul väiksema võimsusega süsteemi ning need teisendati 7 kW suurusega süsteemiks. Suvekuudel toodavad paneelid palju rohkem kui tarbimist on, seega arvestati sisse ka mikrotootjana registreerimine, et suvekuudel toodetud elekter võrku müüa. See on ühekordne investeering, aga kui seda mitte teha, siis läheb toodetud elekter lihtsalt raisku. Mikrotootjana registreerimisel sõltub hind alajaama kaugusest ja reaalistest kulutustest. Antud objektile oli selleks suuruseks 750 €, mis sisaldab uue elektriarvesti paigaldust, kaitsmete vahetust, rikkevoolukaitsme paigaldust ning teostatava töö hinda.

Tabelis 22 on välja toodud esimese pakkuja süsteemi hind ning Tabelis 23 on teisendatud 11 kW süsteem 7 kW süsteemiks. Tabelis 24 on välja toodud teise pakkuja süsteemi hind ning Tabelis 25 on teisendatud 6 kW süsteem 7 kW süsteemiks.

Tabel 22. Esimese pakkuja 11kW süsteemi hind

PV paneelide süsteem 11000W			
Paigaldus maapinnale		Paigaldus katusele	
Päikesepaneelid	16 720,00	Päikesepaneelid	14 630,00
Võrguinventer		Võrguinventer	
Tootmisandmete e-teenus		Tootmisandmete e-teenus	
Raamistik paneelide paigaldamiseks		Raamistik paneelide paigaldamiseks	
Kruvivaiaid		Kaablid	
Kaablid		Paneelide paigaldus	
Paneelide paigaldus		Inventeri paigaldus	
Inventeri paigaldus			
Hind (€)	16 720,00	Hind (€)	14 630,00
Hind + käibemaks 20% (€)	20 064,00	Hind + käibemaks 20% (€)	17 556,00
Seadmed, paigaldus, liitumine (koos KM)	1,82 €/W	Seadmed, paigaldus, liitumine (koos KM)	1,60 €/W

Tabel 23. Esimese pakkuja teisendatud süsteemi hind ning tasuvusaeg

Paneelide ümberteisendamine 7000W süsteemiks			
PV paneelide süsteem 7000W (6800 kWh aastas)			
Elektritarve 6500kWh juures 850€			
Maapinnal (€)	12740	Katusel (€)	11200
Mikrotootjana registreerimine (€)	750	Mikrotootjana registreerimine (€)	750
Tasuvusaeg (aastat)	15,87	Tasuvusaeg (aastat)	14,06
Eluiga (aastat)	30,00	Eluiga (aastat)	30,00
Eluea ja tasuvusaja suhe	1,89	Eluea ja tasuvusaja suhe	2,13

Päikesepaneelide elueaks on arvestatud orienteeruvalt 30 aastat. Katusele paneelide paigaldamine on odavam, sest pole vaja rajada maapinnale metallraamistikku ning vundamente. 7 kW süsteemi rajamine koos mikrotootjaks registreerimisega maksab ligikaudu 12 000 kuni 13 500 € (sisaldab käibemaksu). Tasuvusajaks kujuneb 14 kuni 16 aastat. Arvestades eluiga, siis 30 aasta pärast on päikesepaneelid uue süsteemi rajamise raha tagasi teeninud. Maapinnale rajatuna oleks eluea ning tasuvusaja suhe 1,89, katusele paigaldatuna 2,13 korda. Võrdlus teise pakkumisega on esitatud Joonistel 11 ja 12.

Tabel 24. Teise pakkuja 6kW süsteemi hind

PV paneelide süsteem 6000W			
Paigaldus maapinnale		Paigaldus katusele	
Päikesepaneelid	8 333,33	Päikesepaneelid	7 000,00
Võrguinventer		Võrguinventer	
Tootmisandmete e-teenus		Tootmisandmete e-teenus	
Raamistik paneelide paigaldamiseks		Raamistik paneelide paigaldamiseks	
Kruvivaiaid		Kaablid	
Kaablid		Paneelide paigaldus	
Paneelide paigaldus		Inventeri paigaldus	
Inventeri paigaldus			
Hind (€)	8 333,33	Hind (€)	7 000,00
Hind + käibemaks 20% (€)	10 000,00	Hind + käibemaks 20% (€)	8 400,00
Seadmed, paigaldus, liitumine (koos KM)	1,67 €/W	Seadmed, paigaldus, liitumine (koos KM)	1,40€/W

Tabel 25. Teise pakkuja teisendatud süsteemi hind ning tasuvusaeg

Paneelide ümberteisendamine 7000W süsteemiks			
PV paneelide süsteem 7000W			
Elektritarve 6500kWh juures 850€			
Maapinnal (€)	11690	Katusel (€)	9 800
Mikrotootjana registreerimine (€)	750	Mikrotootjana registreerimine (€)	750
Tasuvusaeg (aastat)	14,64	Tasuvusaeg (aastat)	12,41
Eluiga (aastat)	30,00	Eluiga (aastat)	30,00
Eluea ja tasuvusaja suhe	2,05	Eluea ja tasuvusaja suhe	2,42

Päikesepaneelide elueaks on arvestatud orienteeruvalt 30 aastat. Katusele paneelide paigaldamine on odavam, sest pole vaja rajada maapinnale metallraamistikku ning vundamente. 7 kW süsteemi rajamine koos mikrotootjaks registreerimisega maksab ligikaudu 10 500 kuni 12 500 € (sisaldab käibemaksu). Tasuvusajaks kujuneb 12 kuni 15 aastat. Arvestades eluiga, siis 30 aasta pärast on päikesepaneelid uue süsteemi rajamise raha tagasi teeninud. Maapinnale rajatuna oleks eluea ning tasuvusaja suhe 2,05, katusele paigaldatuna 2,42 korda. Võrdlus esimese pakkumisega on esitatud Joonistel 11 ja 12.

5.6. Tuuleenergia tasuvusarvutus

Hinnapakumised on saadud kahest firmast. Ühel juhul on pakutud süsteemide võimsuseks 3, 5 või 10 kW, teisel puhul 3,5 kW süsteem. Arvutustes kasutasin Tartu piirkonna keskmist tuulekiirust, mis on 3,9 m/s vastavalt Tabelile 3.

Tuule võimsuse arvutamisel võetakse tuule kiirus astmel kolm (V^3). Sellest järeldub, et nõrga tuulega (1-3 m/s) on tuuleturbiin võimsus väga madal. Nõrga tuulega ei saavuta elektrituulik ka akude laadimiseks vajalikku pinget ja seega võrdub tootlikkus nulliga. [22]

Kuna puuduvad tuule kiiruste esinemise ajalised andmed aasta lõikes, on võimalus ligikaudsete arvutuste tegemiseks kasutada Rayleigh jaotust, mis on kaheparameetrilise Weibull'i jaotuse erijuhtum. Kogu Põhja-Euroopa ulatuses on tuulele avatud kohtades Rayleigh jaotuse keskmiseks väärtuseks 2. [22]

Elektrituuliku aastase toodangu arvutamise valem (33) arvestades Rayleigh jaotust on järgnev: [22]

$$Wh = \frac{1}{2} \rho * A * V^3 * C_p * 8760 * \text{Rayleigh jaotuse väärtus} \quad (33)$$

kus,

$\frac{1}{2}\rho$ õhu tihedus 1,226 kg/m³;

A tiiviku pindala;

V^3 piirkonna keskmine tuule kiirus astmel kolm;

C_p elektrituuliku kasutegur;

8760 on tundide arv aastas;

Rayleigh jaotuse väärtus 2 (Põhja-Euroopa keskmine tuulele avatud kohtades).

Võttes aluseks 5 kW võimsusega tuulegeneraatori ning Tartu piirkonna keskmise tuule kiiruse, siis aastane toodang oleks 5 941,2 kWh vastavalt valemile (33).

$$Wh = \frac{1}{2} * 1,226 * \pi * r^2 * 3,9^3 * 0,33 * 8760 * 2 = 5\,941\,204,4 \text{ Wh} = 5\,941,2 \text{ kWh}$$

Tabelis 26 on välja toodud esimese pakkuja tuulegeneraatorite tehnilised näitajad ning tasuvusanalüüs.

Tabel 26. AWG tuulegeneraatorite tehnilised näitajad, hind ning tasuvusarvutus

Tehnilised näitajad			
Tuulegeneraatori nimi	AWG-3000	AWG-5000	AWG-10000
Võimsus	3 kW	5 kW	10 kW
Tuuliku diameeter	5 m	6 m	8 m
Labade arv	3	3	3
Tuuliku pöörlemiskiirus	240	220	160
Tuulekiirus nominaalse võimsuse jaoks	10 m/s	10 m/s	10 m/s
Maksimaalne võimsus	4,5 kW	7 kW	15 kW
Toodetava elektri pinget	220 V	220 V	380 V
Tuule algkiirus	3 m/s	3 m/s	3 m/s
Töötamiseks sobilik tuulekiirusvahemik	3-25 m/s	3-25 m/s	3-25 m/s
Tormikaitse kuni	40 m/s	40 m/s	40 m/s
Masti kõrgus	15m, 18m, 27m	16m, 19m, 28m	16,5m, 19,5m, 28,5m
Lülitusseade	220 V 50 Hz	220 V 50 Hz	220 V 50 Hz

Tuulegeneraatori nimi	AWG-3000	AWG-5000	AWG-10000
Kontrolleri parameetrid	220 V	220 V	380 V
	60 A	60 A	120 A
Inverteri parameetrid	DC220V	DC220V	DC380V
Mastiseina diameeter ja paksus	159*5	159*5	219*6
Aku ja akumulaatorpatareide mahutatavus ja kogus	12V 100A/h	12V 150A/h	12V 200A/h
	18 tk	18 tk	30 tk
Komplekti hind			
Tuulegeneraatorikomplekti kuulub:			
Generaator	2 800 €	4 800 €	9 800 €
Labad			
Tormikaitse			
Flüüger			
Pöördemehhanism			
Vooluvastuvõtumehhanism			
Kaabel			
Laadimisregulaator			
Off-grid inverter			
Lülitusseade			
Tuuleenergiaseadme komplekti kuulub:			
Tuulegeneraatorikomplekt	2 800 €	4 800 €	9 800 €
Mast või torn	1 800 €	1 800 €	2 800 €
Akumulaatorpatarei	3 300 €	5 000 €	9 000 €
Töö	2 000 €	2 000 €	3 000 €
Hooldus	1 000 €	1 000 €	1 000 €
Kokku (koos KM)	10 900 €	14 600 €	25 600 €
Tasuvusarvutus			
Aastatootlikkus (kWh, 10 m/s korral)	13000-15000	22700-27000	45000-50000
Aastatootlikkus (kWh, 3,9 m/s korral)	4125,84 ¹⁾	5941,20 ¹⁾	10562,14 ¹⁾
Eluiga (aastat)	20	20	20
Tootlikkus elueaga (3,9m/s korral)	82516,73	118824,09	211242,82
Kogu maksumus/eluiga (€/aastas)	495,00	730,00	1280,00
1 kWh elektri maksumus (€/kWh, 3,9m/s korral)	0,132	0,123	0,121
1 kWh elektri maksumus (€/kWh, hetkel võrguteenuse keskmine)	0,130 ²⁾		
Vahe võrguteenuse hinnaga (€)	0,002	-0,007	-0,009
Kasum/kahjum (€/aastas)	13,61	-46,34	-57,28
Tasuvusaeg (aastat)	20,20	18,79	18,53
Eluea ja tasuvusaja suhe	0,99	1,06	1,08

1) Vastavalt valemile 33

2) Vastavalt tabelile 19

Tuulegeneraatorite elueaks on arvestatud orienteeruvalt 20 aastat. 3 kW süsteem maksab ligikaudu 11 000 €, 5 kW süsteem 15 000 € ning 10 kW süsteem 26 000 €. 3 kW süsteem toodab Tartu keskmise tuule kiiruse juures aastas ligikaudu 4 100 kWh elektrit. 5 kW süsteem sama tuulega vastavalt 5 900 kWh ning 10 kW süsteem 10 500 kWh. Sellise tuule kiirusega tuleb ühe kWh elektri hinnaks 0,121 € (10 kW süsteem), 0,123 € (5 kW süsteem) ning 0,132 € (3 kW süsteem). Kuna hetkel on võrguteenuse keskmine 0,130 €, siis 5 kW ja 10 kW süsteemiga suudaks generaator ühes aastas raha kokku hoida 45 kuni 60 €. 3 kW süsteemiga tuleb elektri hind kallim kui on võrgust elektrit ostes. Eluea ning tasuvusaja suhe on 3 kW süsteemi puhul 0,99, 5 kW süsteemi puhul 1,06 ning 10 kW süsteemi puhul 1,08. Võrdlus teise pakkumisega on esitatud Joonistel 13 ja 14.

Tabelis 27 on välja toodud teise pakkuja 3,5 kW süsteemi tehnilised näitajad ja tasuvusaja analüüs.

Tabel 27. Anelion tuulegeneraatori tehnilised näitajad, hind ning tasuvusarvutus

Tehnilised näitajad	
Võimsus	3,5 kW
Tuuliku diameeter	3,5 m
Labade arv	3
Tuuliku pöörlemiskiirus	100-370
Tuulekiirus nominaalse võimsuse jaoks	12 m/s
Maksimaalne võimsus	5,5 kW
Toodetava elektri pinge	220 V
Tuule algkiirus	3,5 m/s
Töötamiseks sobilik tuulekiirusvahemik	kuni 25 m/s
Tormikaitse kuni	60 m/s
Komplekti hind	
Tuuleenergiaseadme komplekti kuulub:	
Tuulegeneraatorikomplekt	17 900 €
Mast	
Akumulaatorpatarei	
Töö	
Kokku (koos KM)	17 900 €
Tasuvusarvutus	
Aastatootlikkus (kWh, 8 m/s korral)	11000-12000
Aastatootlikkus (kWh, 3,9 m/s korral)	2021,66 ¹⁾
Eluiga (aastat)	20
Tootlikkus elueaga (3,9m/s korral)	40433,20
Kogu maksumus/eluiga (€/aastas)	895,00
1 kWh elektri maksumus (€/kWh, 3,9m/s korral)	0,443
1 kWh elektri maksumus (€/kWh, hetkel võrguteenuse keskmine)	0,130 ²⁾
Vahe võrguteenuse hinnaga	0,313
Kasum/kahjum (€/aastas)	2032,59
Tasuvusaeg (aastat)	67,71
Eluea ja tasuvusaja suhe	0,30

1) Vastavalt valemile 33

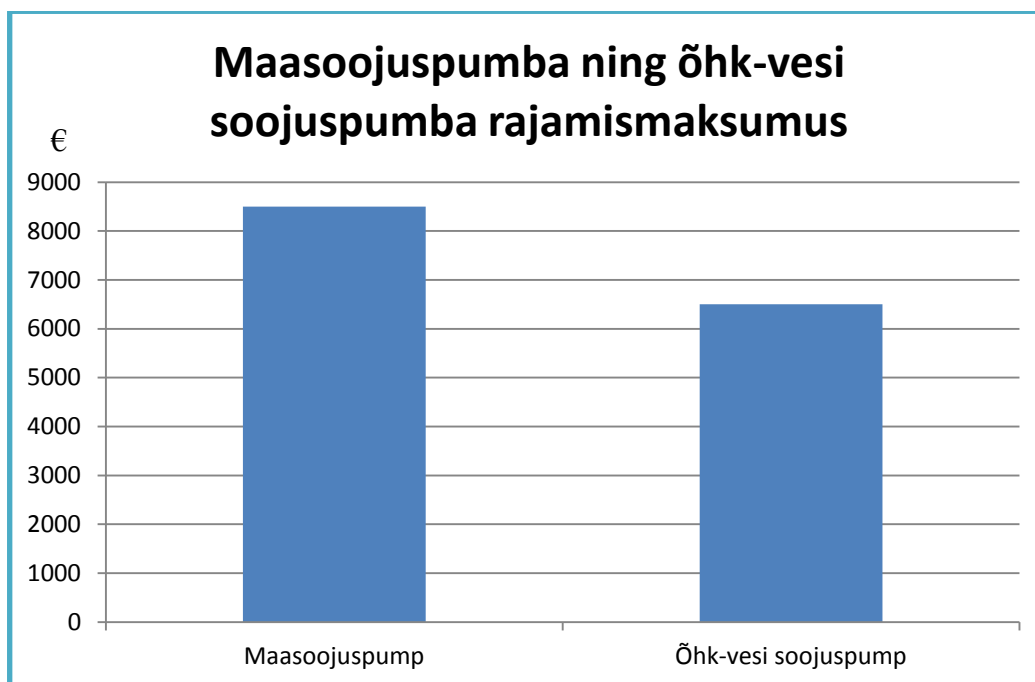
2) Vastavalt tabelile 19

Tuulegeneraatorite elueaks on arvestatud orienteeruvalt 20 aastat. See süsteem maksab ligikaudu 18 000 € ning toodab Tartu keskmise tuule kiiruse juures aastas ligikaudu 2 000 kWh elektrit. Sellise tuule kiirusega tuleb ühe kWh elektri hinnaks 0,443 €. Kuna hetkel on võrguteenuse keskmine 0,130 €, siis antud süsteemiga ei suuda raha kuidagi kokku hoida – aastas tuleb juurde maksta ligikaudu 2 000 €. Eluea ning tasuvusaja suhe on 0,3. Võrdlus esimese pakkumisega on esitatud Joonisel 13 ja 14.

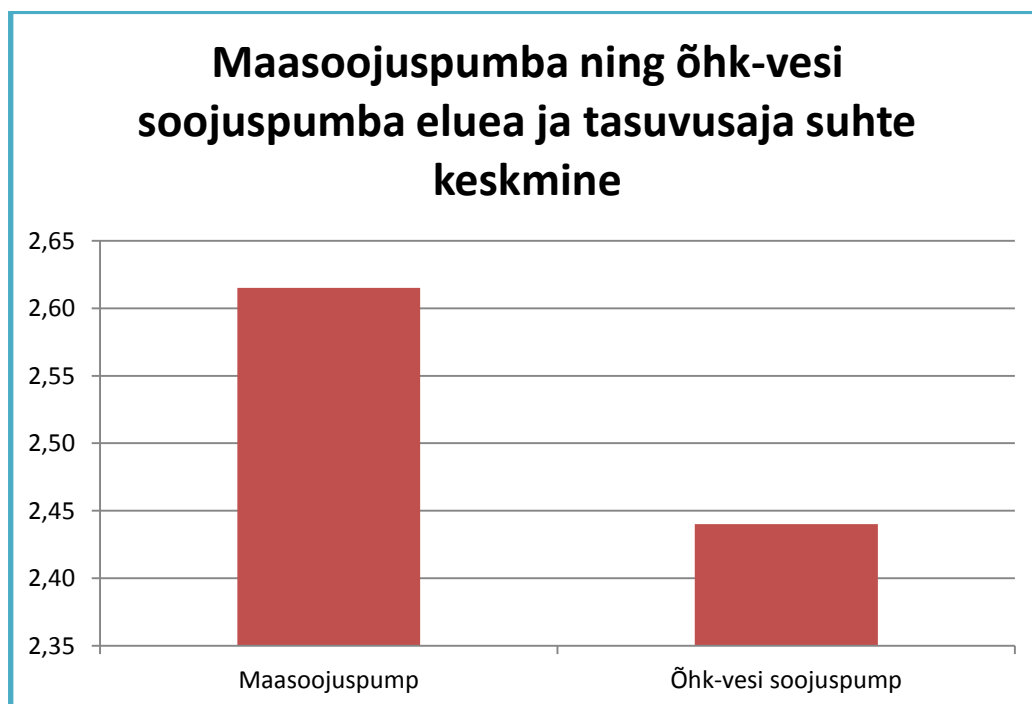
5.7. Tulemuste analüüs

Soojuspumpade võrdlus

Joonisel 9 on esitatud nii maasoojuspumba kui ka õhk-vesi soojuspumba rajamismaksumus. Joonisel 10 on esitatud eluea ning tasuvusaja suhte võrdlus.



Joonis 9. Maasoojuspumba ning õhk-vesi soojuspumba rajamismaksumused eurodes



Joonis 10. Maasoojuspumba ning õhk-vesi soojuspumba eluea ja tasuvusaja suhte

Analüüsist selgub, et maasoojuspumba alginvesteering on orienteeruvalt 30 % suurem kui on õhk-vesi soojuspumbal. Vahe tuleb sisse just maakütte kontuuri paigaldamisel, sarnase võimsusega seadmed on samas hinnaklassis.

Maasoojuspumba eluiga on pikem, kuna seal ei ole nii palju liikuvaid osi, kuid lõpuks määrab selle just kompressori eluiga. Õhk-vesi soojuspumba eluiga võib olla sama pikk kui on maasoojuspumbal.

Kui võrrelda eluea ning tasuvusaja suhet, siis maasoojuspumbal on selle keskmine näitaja 2,62 ning õhk-vesi soojuspumbal on see 2,44. See näitab, et mõlemad soojuspumbad teenivad oma alginvesteeringu raha kiiresti tagasi. Eluea jooksul hoiavad soojuspumbad rohkem kui ühe uue süsteemi rajamise summa kokku.

Autor valib uueks kütteallikaks maasoojuspumba, kuna õhk-vesi soojuspumpade kasutegur suuremate miinuskraadide juures on väike ning tuleb kasutada lisakütet, mis on täiendav kulu. Suurem alginvesteering maasoojuspumba puhul tasub end paremini ära kui väiksem investeering õhk-vesi soojuspumbaga.

Soojuspumpade küttesüsteemi energiatõhususarvu komponent leitakse vastavalt valemile (32):

$$ETA = \frac{\left(\frac{28130,52}{0,95 * 3} - 0\right) * 2}{202} = 97,7 \frac{kWh}{m^2a}$$

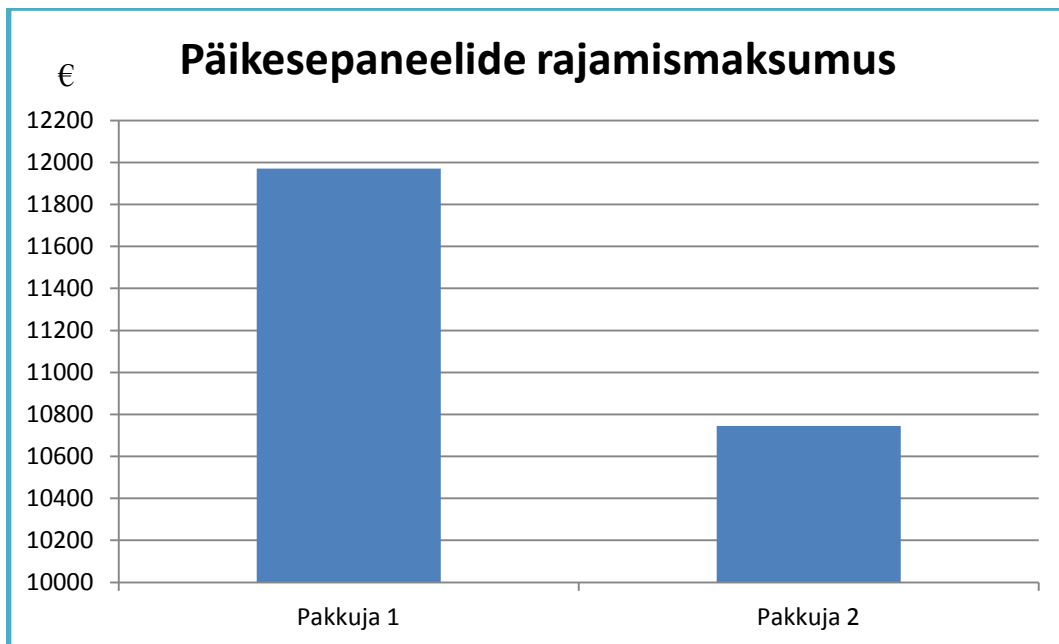
kus,

$E_{tar,i}$	energiakandja i tarnitud energia	28130,52 kWh/a;
$E_{eks,i}$	energiakandjaga i eksporditud energia	0 kWh/a;
f_i	energiakandja i kaalumistegur elektri puhul	2,0;
A_{neto}	kõetav pind	202 m ² ;
	keskmine COP	3;
	radiaatorkütte kasutegur	0,95.

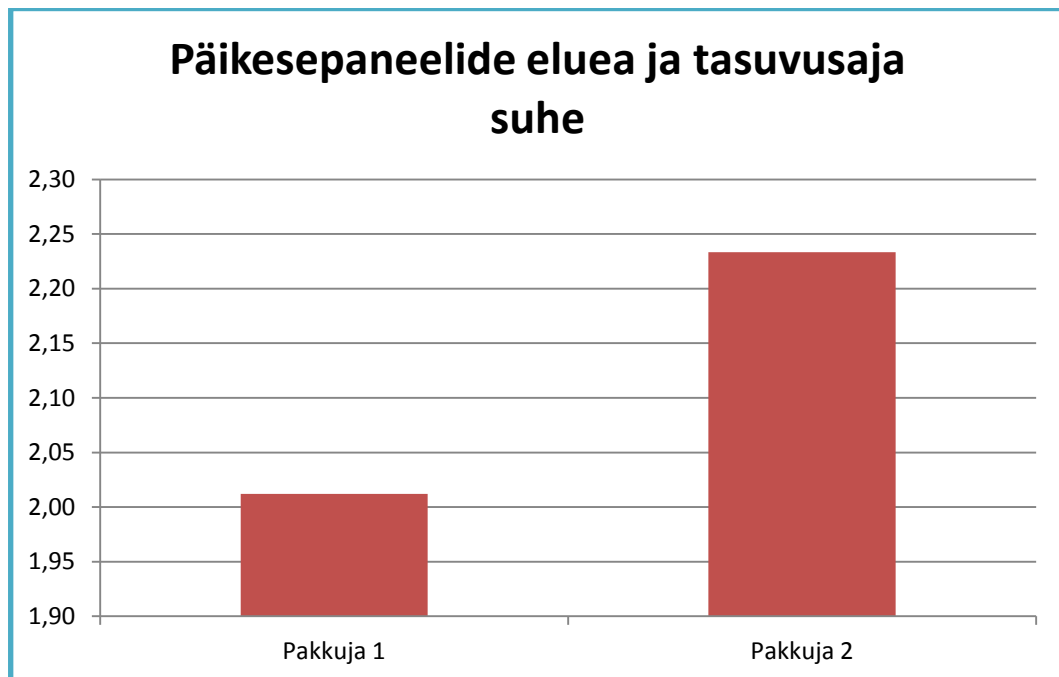
Selgub, et kui kasutada kütisel soojuspumpasi, siis energiatõhususarvu kütte komponent väheneb 195,45 kWh/(m²a) pealt 97,7 kWh/(m²a) peale. Kuna selle hoone kütetarve on piirete tõttu suur, siis soojusallika vahetamisega väheneb kütte ETA komponent orienteeruvalt 50 %.

Päikesepaneelide võrdlus

Joonisel 11 on esitatud päikesepaneelide rajamismaksumus. Joonisel 12 on esitatud eluea ning tasuvusaja suhte võrdlus.



Joonis 11. Päikesepaneelide rajamismaksumus eurodes



Joonis 12. Päikesepaneelide eluea ning tasuvusaja suhe

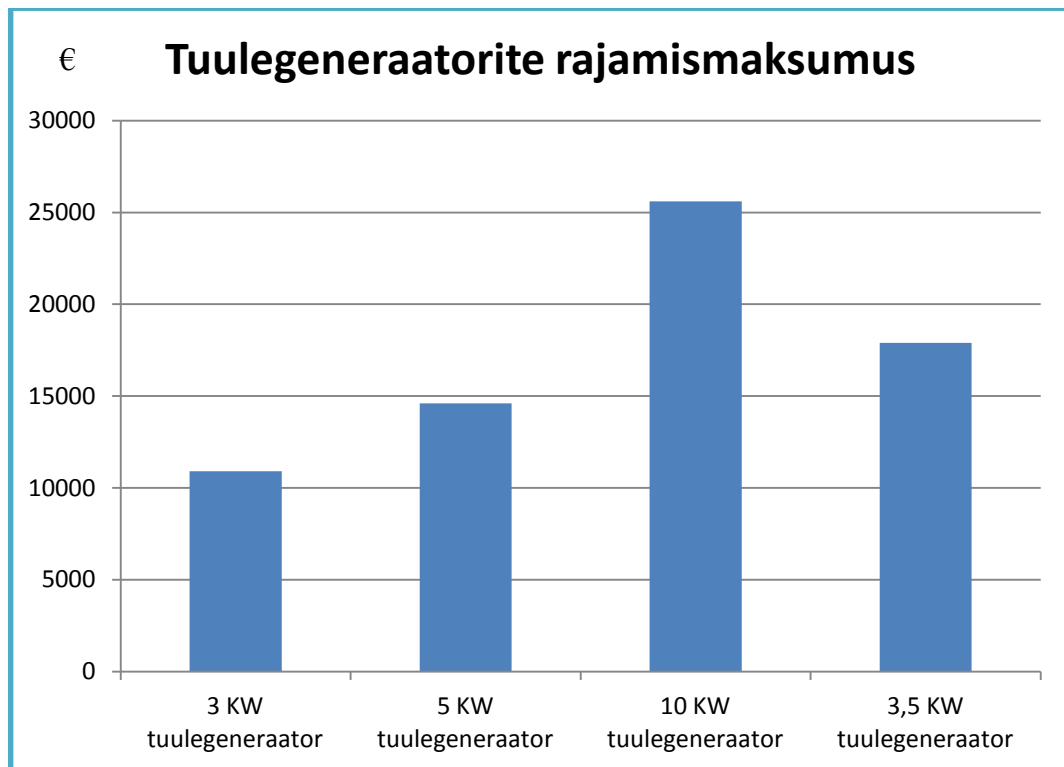
Päikesepaneelide rajamismaksumus 7 kW süsteemi puhul koos mikrotootjaks registreerimisega maksab ligikaudu 10 500 kuni 13 500 € (sisaldab käibemaksu). Hind on sellest, kas rajada park maapinnale või katusele. Tasuvusajaks kujuneb 12 kuni 16 aastat. Esimese pakkuja katusele rajatava süsteemi eluea ning tasuvusaja suhteks on 2,13, maapinnale paigaldatuna 1,89 korda. Esimese pakkuja süsteemide keskmine on 2,01. Teise pakkuja katusele rajatava süsteemi eluea ning tasuvusaja suhteks on 2,42, maapinnale paigaldatuna 2,05 korda. Teise pakkuja süsteemide keskmine on 2,23.

Kui arvestada mõlemate pakkumise andmeid, siis päikesepaneelid toodavad oma eluea lõpuks uue päikesepargi hinna jagu kasumit. Kuna päikesepaneelide tehnoloogiate

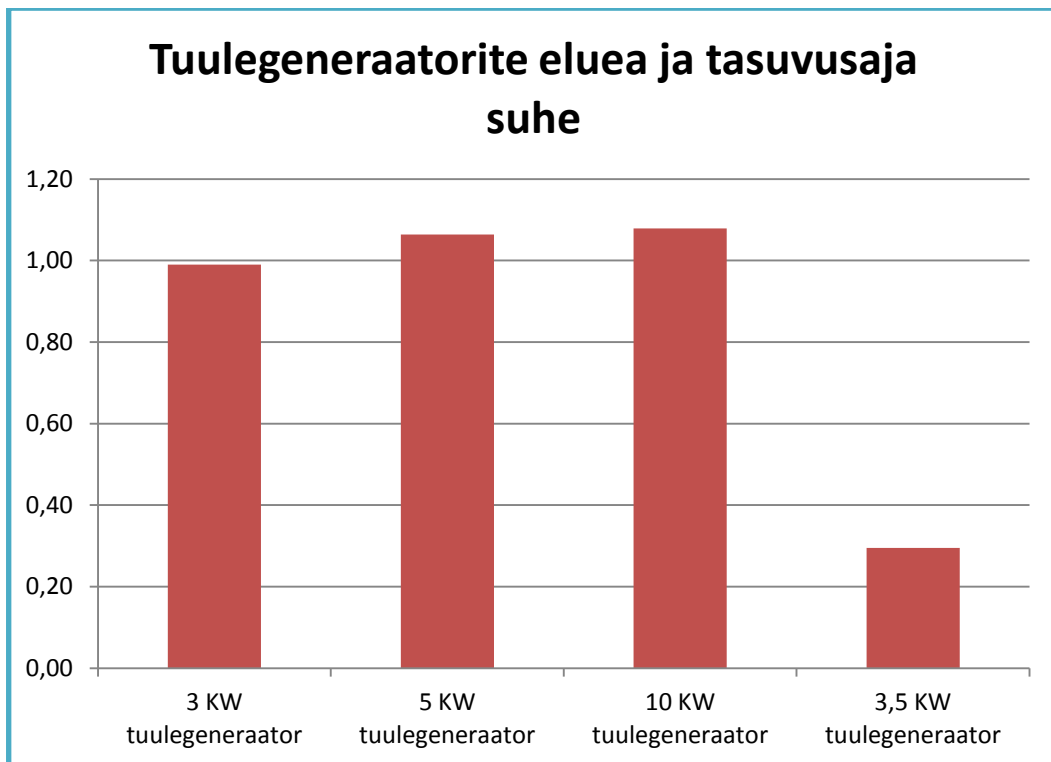
arendamine käib väga kiires tempos, siis on oodata, et paneelide hinnad langevad ning tasuvad oma rajamise kiiremini ära. Kui võrrelda päikesepaneelide tuulegeneraatoritega, siis on paneelide tasuvusaeg märgatavalt parem. Päikeseenergiast elektri tootmine on pikas perspektiivis tasuv, kuid tasuks oodata riigi poolseid toetusi ning paneelide hinna langust.

Tuulegeneraatorite võrdlus

Joonisel 13 on esitatud tuulegeneraatorite rajamismaksumus. Joonisel 14 on esitatud eluea ning tasuvusaja suhte võrdlus.



Joonis 13. Tuulegeneraatorite rajamismaksumus eurodes



Joonis 14. Tuulegeneraatorite eluea ja tasuvusaja suhe

Tuulegeneraatorite alginvesteering on suur ning tootlikkus Tartu keskmise tuule kiiruse juures on väike. Tuulegeneraatorid selles piirkonnas ei tasu ennast mitte kuidagi ära, sest kui juba keskmise tuule kiiruse juures toodab see kahjumit, siis kiiruse langedes ei piisa sellest isegi akude laadimiseks. Rikete ja tõrgete esinemisel kahjum suureneb. Tuulegeneraatoritega Tartu piirkonnas elektri tootmine ei ole otstarbekas.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli koostada olemasolevale hoonele uus arhitektuurne eelprojekt, soojuskadude arvutamine ning küttesüsteemi uuendamise ja lokaalselt elektri tootmise tasuvusaegade leidmine.

Küttesüsteemi valimiseks võrreldi maasoojuspumpa ning õhk-vesi soojuspumpa nende keskkonnasõbralikkuse ja efektiivsuse tõttu. Kohapealseks elektri tootmise valimiseks võrreldi päikesepaneele ning tuulegeneraatoreid.

Esmalt koostati mõõtmiste tulemusena eramaja projekt. Seejärel arvutati välispiirete soojusjuhtivused, külmasildadest ja õhuleketest tingitud soojakaod. Küttesüsteemide analüüsimiseks arvutati hoone küttevajadused, millest lähtuvalt projekteeriti küttesüsteemid. Tulemuste saamiseks pöördui oma ala spetsialistide poole, kes koostasid hinnapakumised, mille põhjal koostati tasuvusanalüüs.

Küttesüsteemide puhul oli õhk-vesi soojuspumba rajamismaksumus odavam kui maasoojuspumba alginvesteering. Tasuvusaeg maasoojuspumbal orienteeruvalt 7 ning õhk-vesi soojuspumbal 5 aastat, kuid kuna maasoojuspumba eluiga on pikem, siis oma eluea jooksul toodab maasoojuspump õhk-vesi soojuspumbast rohkem soojusenergiat. Samuti on külmadel temperatuuridel õhk-vesi soojuspumba kasutegur madal ning on vaja lisakütet. Seetõttu valitakse uueks küttesüsteemiks antud objektile maasoojuspump–alginvesteeringu suurem maksumus tasub ennast eluea pikkusega.

Päikesepaneelidega elektri tootmine on odavam kui tuulegeneraatoritega. Alginvesteering sama tootlikkuse juures on samuti väiksem kui tuulegeneraatorite puhul. Paneelid tasuvad ennast ära orienteeruvalt 12-16 aasta jooksul. Tuulegeneraatoreid Tartu piirkonnas ei ole otstarbekas elektri tootmiseks kasutada madala tuule kiiruse tõttu. Päikeseenergiast elektri tootmine on efektiivsem ning tasuvam kui tuuleenergiast, seega valitakse elektri tootmiseks päikesepaneelide süsteem.

Käesolevat tööd saab kasutada võrdlevaks materjaliks sarnaste hoonete küttesüsteemide ja elektri tootmiseseadmete valikul.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Hoone piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutusjuhend. Osa 1: Välisõhuga kontaktis olev läbipaistmatu piire. EVS 908-1:2010. Tallinn. Eesti Standardikeskus. 2010.
2. Hoonete soojuslik toimivus. Soojuslevi pinnasesse. Arvutusmeetodid. EVS-EN ISO 13370:2008 . Tallinn. Eesti Standardikeskus. 2008.
3. Külmasillad hoones. Soojusvood ja pinnatemperatuurid. Üldised arvutusmeetodid. EVS-EN ISO 10211:2008. Tallinn. Eesti Standardikeskus.2008.
4. Energiatõhususe miinimumnõuded, Vabariigi Valitsuse 30. augusti 2012. a. määrus nr. 68 (RT I 05.09.2012, 4). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105092012004> (15.04.2015)
5. Tehnilise Järelevalve Amet. Tööstusohutus. Ehitus. Hoonete energiaklassid. Kättesaadav: <http://www.tja.ee/hoonete-energiaklassid> (15.04.2015)
6. Kredex. Energiatõhusus. Hoone energiamärgis. Kättesaadav: <http://www.kredex.ee/energiatohususest/energiatohusus/statistika-2/> (15.04.2015)
7. Energiamärgise vorm ja väljastamise kord, Vabariigi Valitsuse 17. detsembri 2008. a.määrus nr. 107 (RTL 2008, 100, 1428). Kättesaadav: https://www.riigiteataja.ee/akt/1291/2201/0034/129122010034_lisad.pdf# (15.04.2015)
8. T.-A. Kõiv, A. Rant. Hoonete küte. Tallinn. TTÜ Kirjastus. 2013. 90-94 lk.
9. Fulder OÜ. Põrandaliistküte. Kättesaadav: <http://www.soojuspumbad.com/tooted/porandaliistkute/> (28.05.2015)
10. T. Kalamees. Ehitusfüüsika seos hoone energiatõhususega. Külmasillad. Kättesaadav: http://www.teaduspark.ee/UserFiles/Projektid/empower/Targo%20Kalamees_Konspekt%20_23.05.2012.pdf (16.04.2015)
11. Hüdroisolatsioon. Niiskus ehituskonstruksioonides. Niiskuse kondenseerumine piiretes. Kättesaadav: <http://hydroisolatsioon.edicypages.com/539585162695/niiskuse-kondenseerumine-piiretes> (16.04.2015)
12. Taastuenergia OÜ. Infomaterjalid. Päikeseenergia Eestis. Kättesaadav: <http://www.taastuenergia.ee/paikeseenergia-eestis.html> (22.04.2015)
13. Taastuenergia OÜ. Infomaterjalid. Tuulegeneraatorid. Kättesaadav: <http://www.taastuenergia.ee/tuulegeneraatorid.html> (22.04.2015)
14. ABC Kliima OÜ. Tooted. Maasoojuspumbad. Kättesaadav: <http://www.abckliima.ee/erakliendile/tooted/grupp/maasoojuspumbad> (22.04.2015)
15. ABC Kliima OÜ. Tooted. Õhk-vesisoojuspumbad. Kättesaadav: <http://www.abckliima.ee/erakliendile/tooted/group/ohk-vesi-soojuspumbad> (09.05.2015)
16. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded, Vabariigi Valitsuse 27. oktoobri 2004.a. määrus nr. 315 (RT I 2004, 75, 525). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/812131> (15.04.2015)
17. T. Kalamees, T. Tark. Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine. Kättesaadav: http://kredex.ee/public/Uuringud/Madalenergia-_ja_liginullenergiahoone_kavandamine_Vaikeelamu.pdf (23.05.2015)
18. Hoonete energiatõhususe arutamise meetodika, Majandus- ja kommunikatsiooni ministri 8.oktoobri 2012.a. määrus nr. 63 (RT I, 18.10.2012, 1). Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118102012001> (15.04.2015)
19. A. Hani. Investigation of Energy Efficiency in Buildings and HVAC Systems. Tallinn. TTÜ Kirjastus. 2012. 126 lk.

20. Kredex. Energiatõhusus. Energiaaudit ja kraadpäevad. Kraadpäevad. Kättesaadav: http://kredex.ee/public/Energiatohusus/Kraadpaevad/tartu_9.xls (15.04.2015)
21. A. Piirfeld. Soojustatud välisseina hingamine ja selle arvutusmeetodika. Tarmatrade. Kättesaadav: <http://www.tarmatrade.ee/File/FASSAADIDE%20HINGAMISE%20ARVUTUS.pdf> (23.04.2015)
22. Taastuenergia OÜ. Tuuleenergia. Kättesaadav: <http://www.taastuenergia.ee/tuuleenergia.html> (23.05.2015)

LISAD

Lisa 1. Olemasoleva hoone pildid



Pilt 1. Vaade põhjast



Pilt 2. Vaade lõunast



Pilt 3. Vaade idast



Pilt 4. Vaade läänest

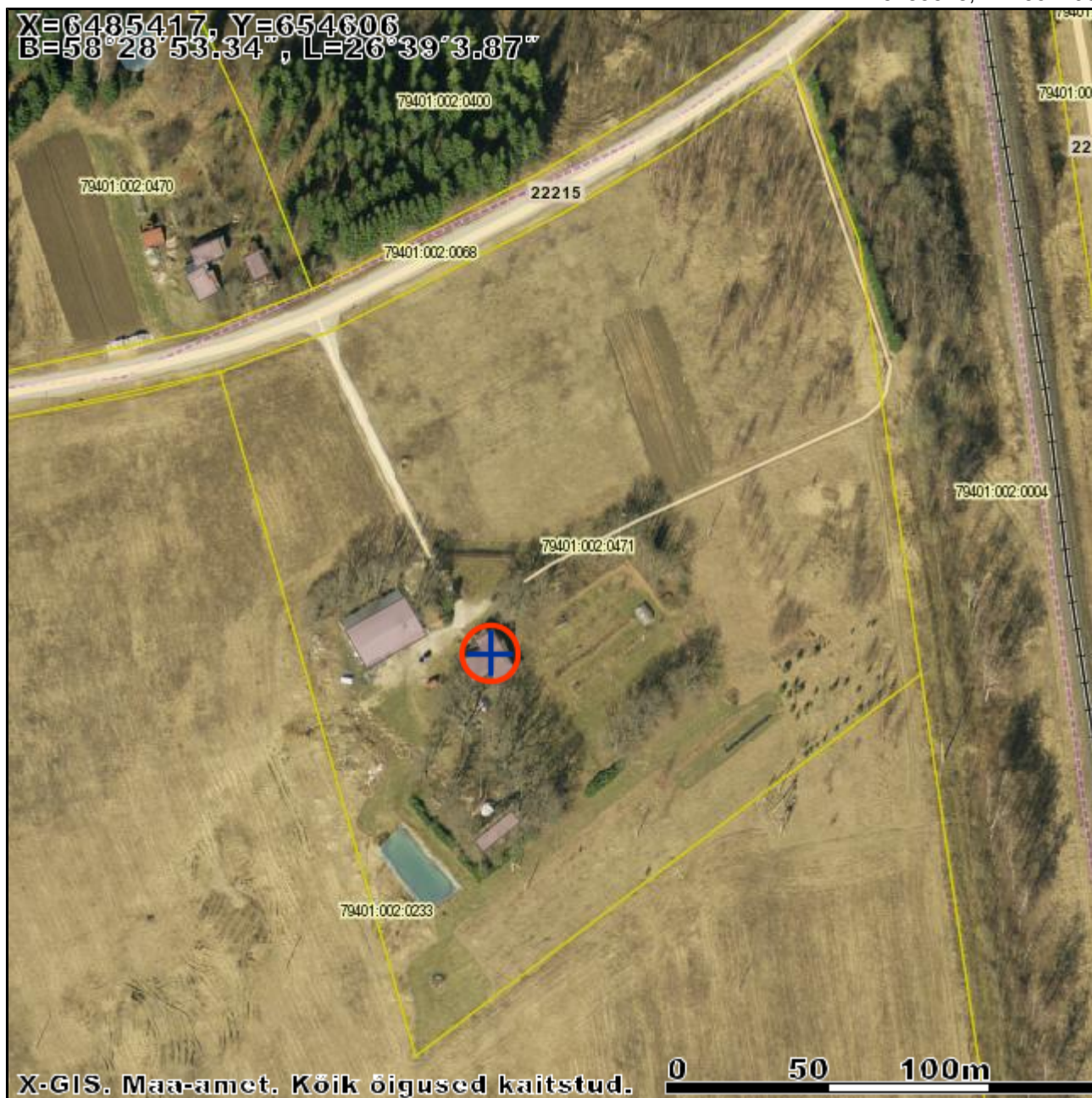
Lisa 2. Koostatud joonised

Väljavõte Maa-ameti lehelt	Asendiplaan	M 1:2000
Joonis 1	1.korruse plaan	M 1:100
Joonis 2	2.korruse plaan	M 1:100
Joonis 3	Lõige 1-1	M 1:100
Joonis 4	Vaade idast	M 1:100
Joonis 5	Vaade lõunast	M 1:100
Joonis 6	Vaade põhjast	M 1:100
Joonis 7	Vaade läänest	M 1:100

Väljavõte Maa-ameti kaardiserverist

Maakond	Tartu maakond
Omaavalitsus	Tartu vald
Asustusüksus	Sojamaa küla
Lähiaadress	Kuivasilla
Tunnus	79401:002:0471
Registreerimise aeg	01.oktoober 1997. a.
Sihtotstarve 1	Maatulundusmaa 100%
Sihtotstarve 2	-
Sihtotstarve 3	-
Pindala	39266 m ²
s.h. ehitiste alune maa	204 m ²
Haritav maa	30852 m ²
Looduslik rohumaa	3682 m ²
Metsamaa	0 m ²
Õuema	622 m ²
Muu maa	4110 m ²
s.h. veealune maa	0 m ²
Registrios	550304/5503
Kinnistuspiirkond / jaoskond	Tartu Maakohtu Tartu maakonna kinnistusjaoskond
Mõõdistamisviis	konverteeritud, L-EST
Hinnatsoon	H0794004 100%
Viljakustsoon	V0794005 99.3% V0794009 .7%







X = 6485618, Y = 654796

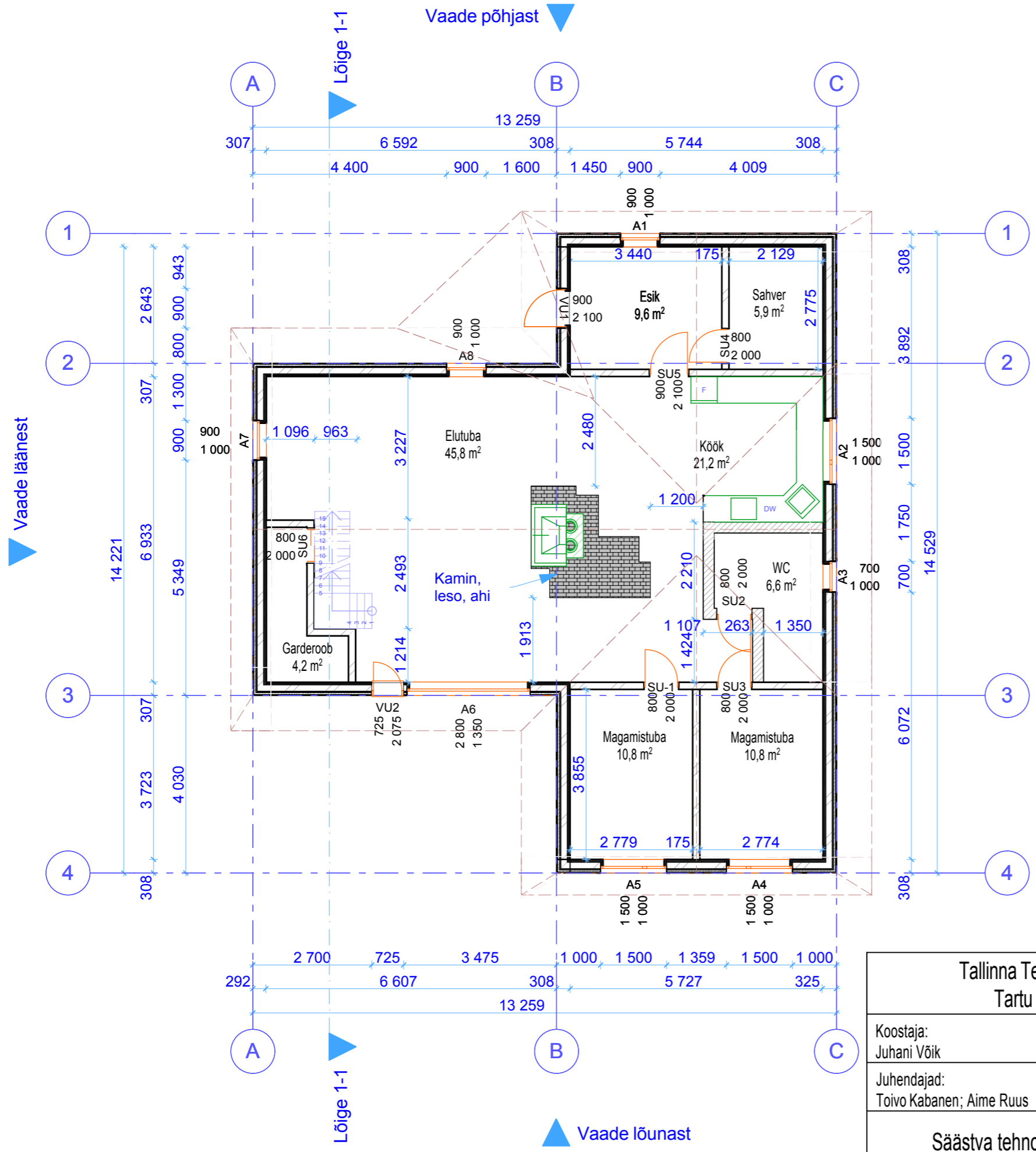


X = 6485277, Y = 654456

M 1:2000

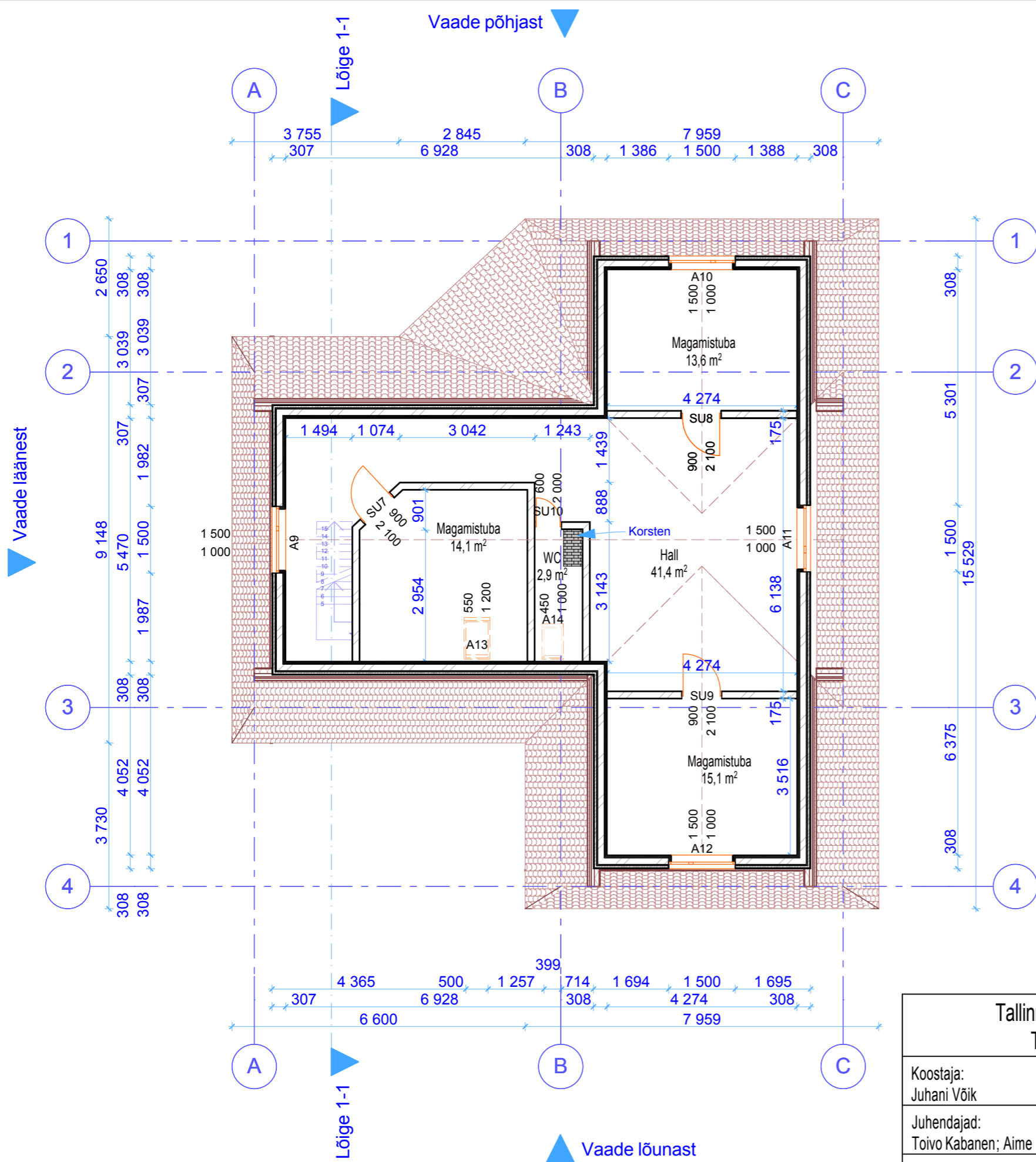
Kaardiserveris olev info ja sellest tehtud väljavõtted on informatiivsed ega ei ole ametlikud. Väljavõtete kasutamisel peab ära märkima nende päritolu.

-  Registreeritud KÜ
-  Tunnus
-  LÜ/piiriettepanekud
-  LÜ/piiriettepanek
-  toimikuga seotud LÜ
-  aeguv LÜ



- 1.korruse ruumide eksplikatsioon
- Esik 9,6 m²
 - Sahver 5,9 m²
 - Köök 21,2 m²
 - Elutuba 45,8 m²
 - Garderoob 4,2 m²
 - WC 6,6 m²
 - Magamistuba 10,8 m²
 - Magamistuba 10,8 m²
 - KOKKU 114,9 m²

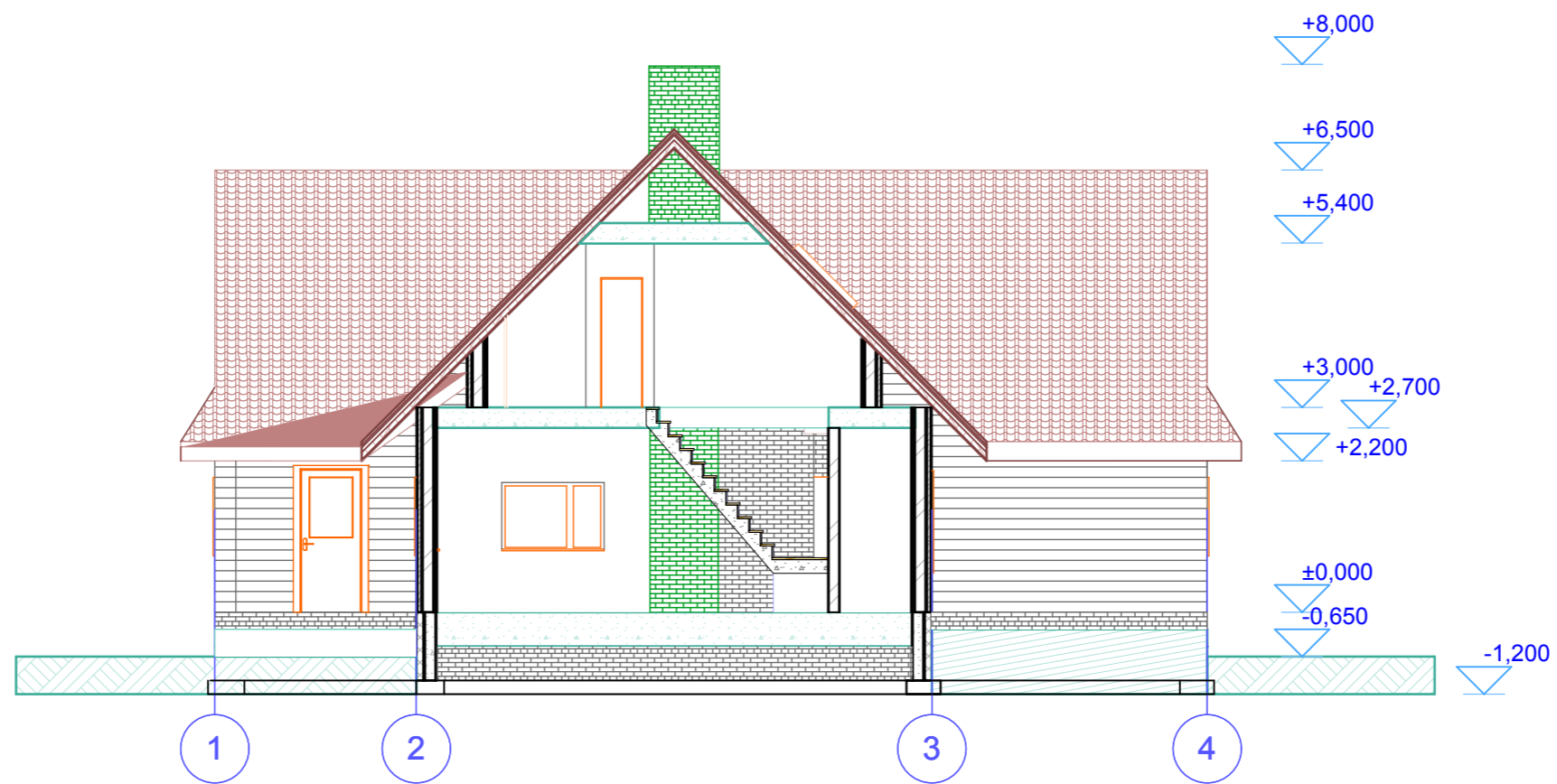
Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Mõõtkava: M 1:100	Leht/lehti: 1/7
Koostaja: Juhani Võik		1.korruse plaan;		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



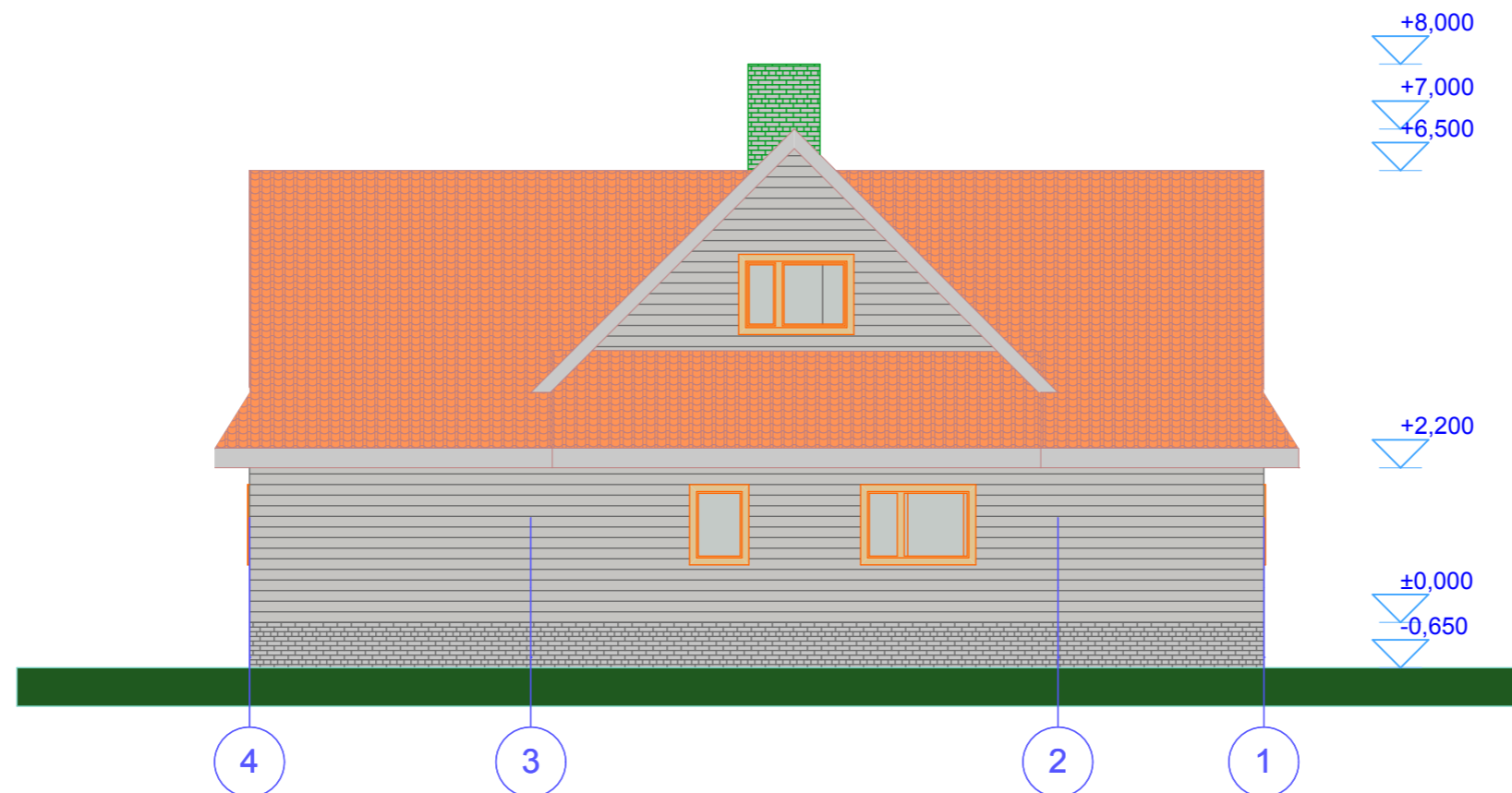
2.korruse ruumide eksplikatsioon

Hall	41,4 m ²
Magamistuba	14,1 m ²
Magamistuba	13,6 m ²
Magamistuba	15,1 m ²
WC	2,9 m ²
KOKKU	87,1 m ²

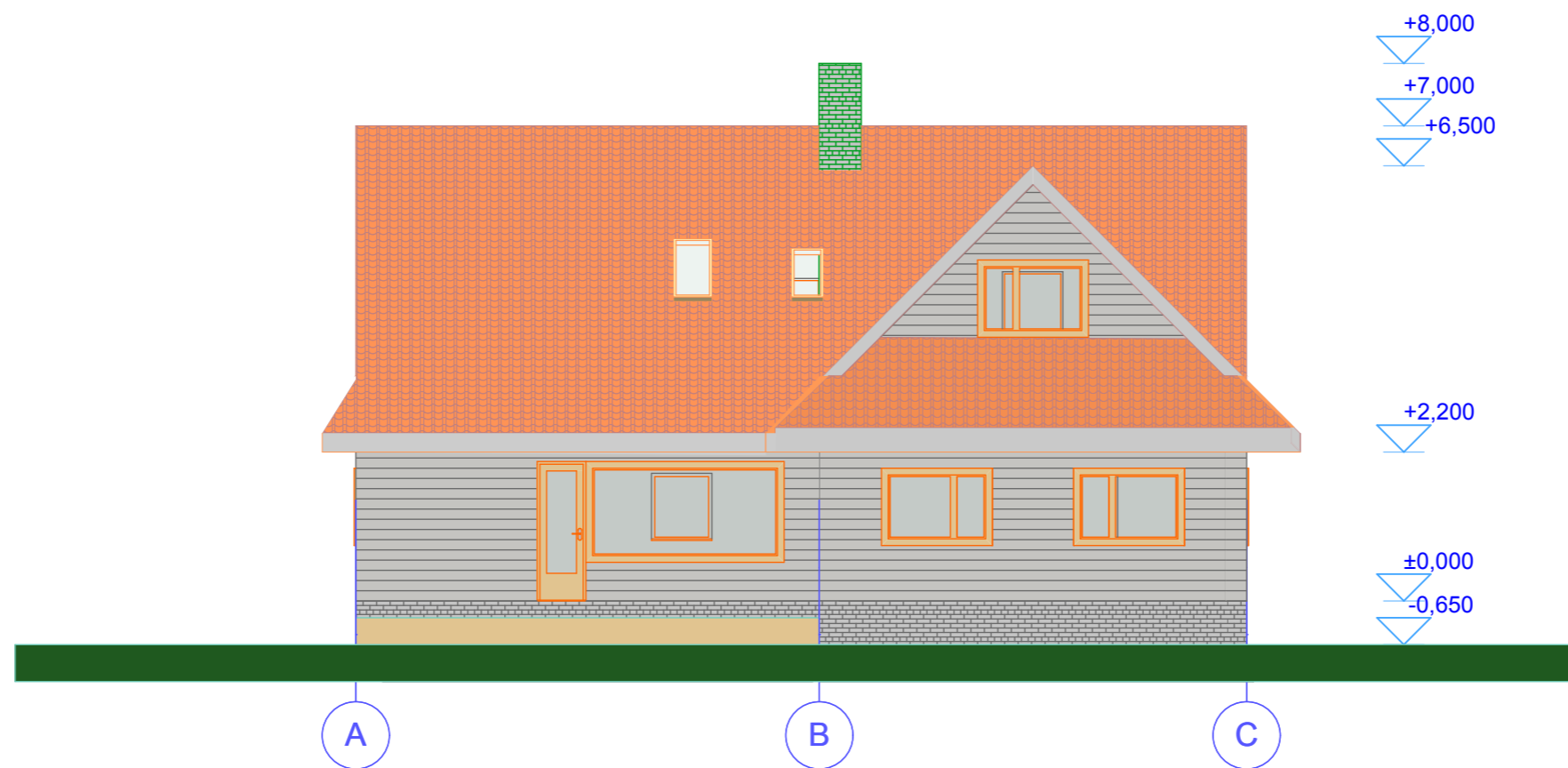
Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 2/7
Koostaja: Juhani Võik		2.korruse plaan;		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



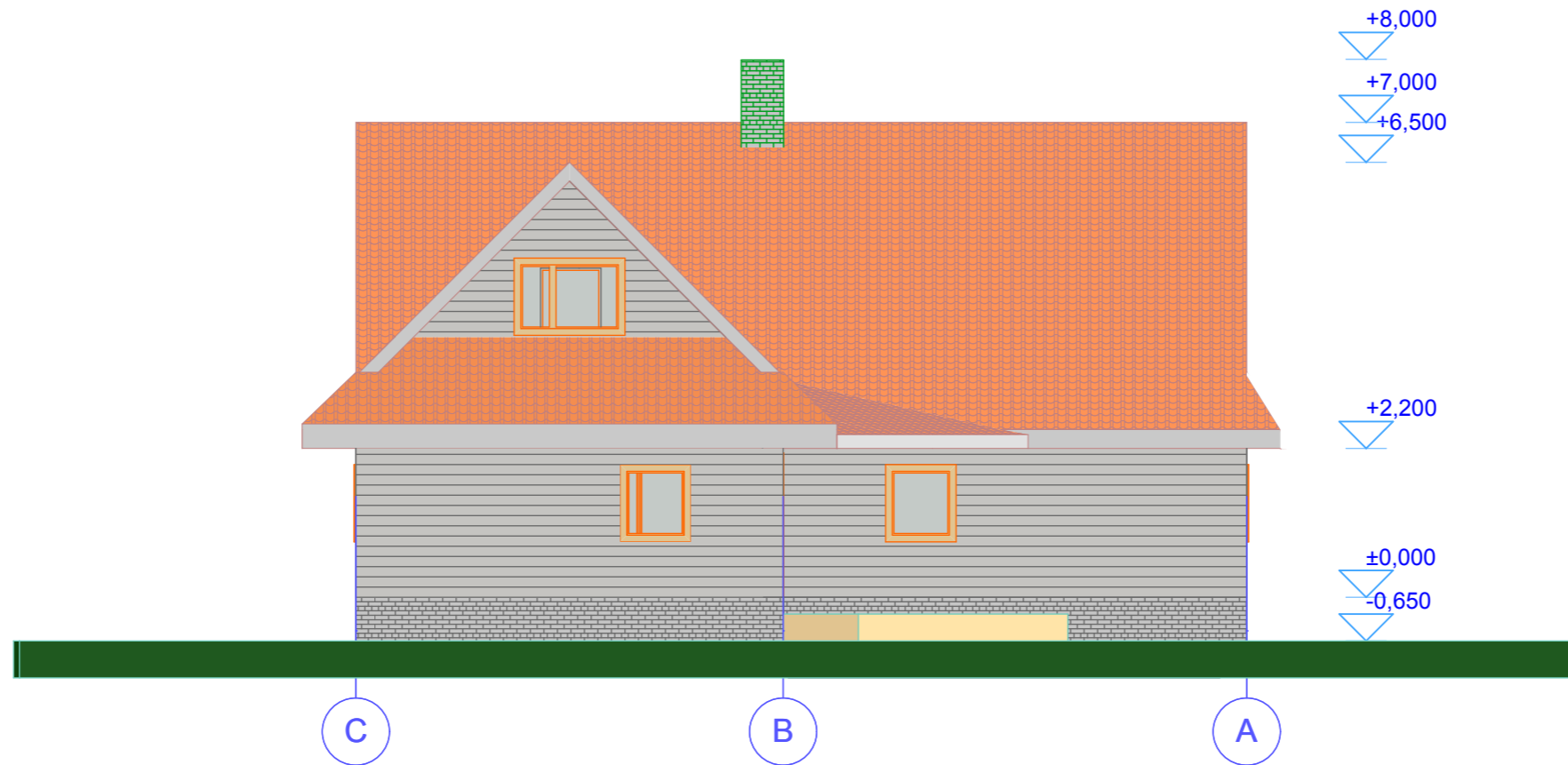
Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 3/7
Koostaja: Juhani Võik		Lõige 1-1;		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



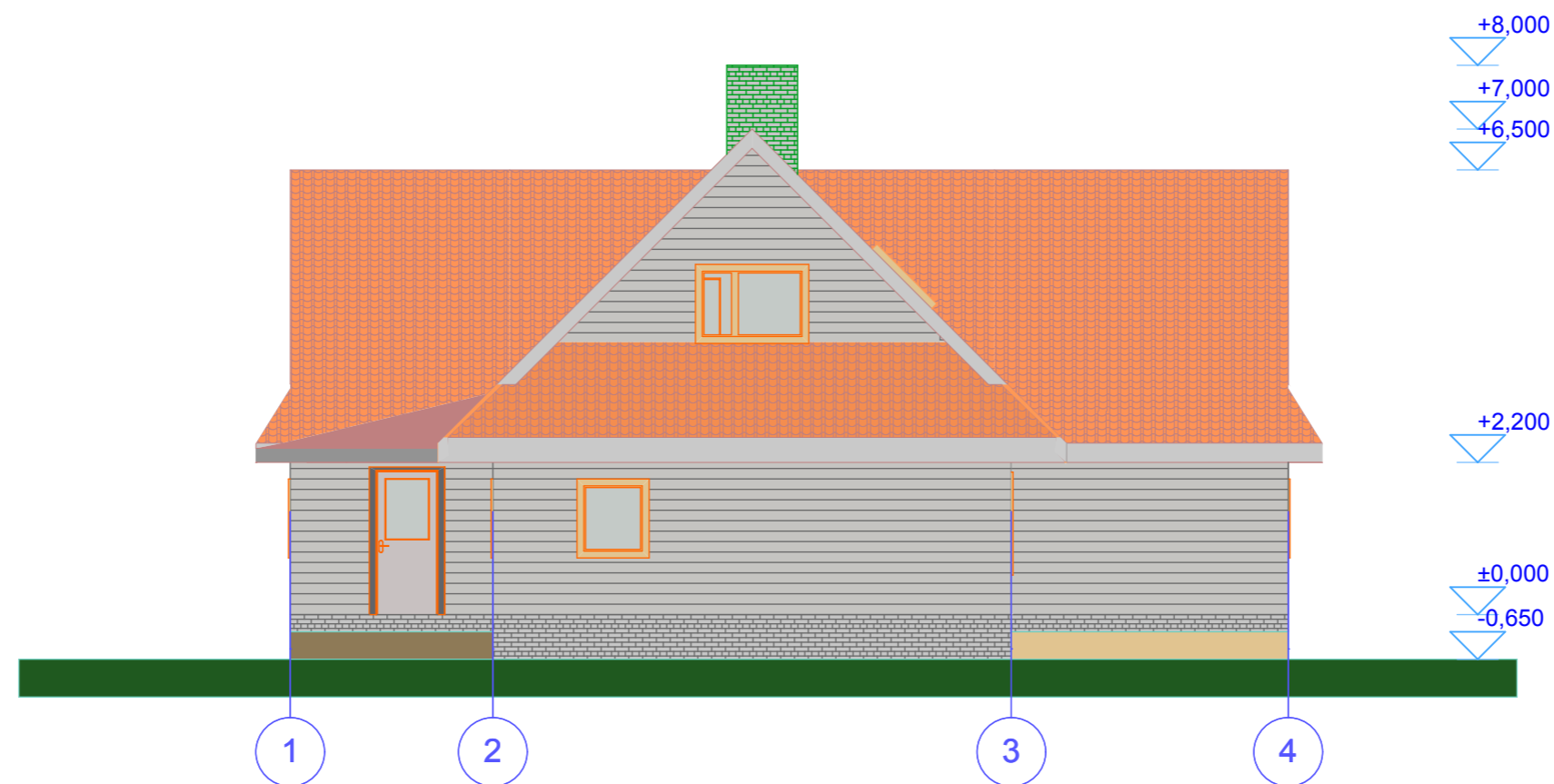
Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 4/7
Koostaja: Juhani Võik		<i>Vaade idast;</i>		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 5/7
Koostaja: Juhani Võik		<i>Vaade lõunast;</i>		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 6/7
Koostaja: Juhani Võik		<i>Vaade põhjast;</i>		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühepereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		



Tallinna Tehnikaülikool Tartu Kolledž		Magistritöö	Möötkava: M 1:100	Leht/lehti: 7/7
Koostaja: Juhani Võik		<i>Vaade läänest;</i>		
Juhendajad: Toivo Kabanen; Aime Ruus				
Säästva tehnoloogia õppetool		Ühепereelamu energiatõhusus ja küttesüsteemi kavandamine		