

TALLINN TEHNIKAÜLIKOOLI TALLINNA KOLLEDŽ

Kinnisvara haldamine

Virgo Kadastik

ERAMU KÜTTELAHENDUSTE ANALÜÜS

Lõputöö

Juhendaja: Roode Liias PhD

Tallinn 2014

Deklareerin, et käesolev lõputöö, mis on minu iseseisva töö tulemus, on esitatud Tallinna Tehnikaülikooli diplomi taotlemiseks. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhimõttelised seisukohad, kirjanduslikest allikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

Autor

(nimi, allkiri, kuupäev)

Üliõpilaskood

Töö vastab kehtivatele nõuetele

Juhendaja

(nimi, allkiri, kuupäev)

Kaitsmisele lubatud „ “ 2014

.....

TTÜ TK kaitsmiskomisjoni esimees (nimi, allkiri)

SISUKORD

SISSEJUHATUS	3
1. ÜLEVAADE HARKU VALLAST JA FUNKTSIONALISTLIKUST ERAMUST	5
1.1. Harku vald ja Tabasalu alevik	5
1.2. Funktsionalistlik eramu.....	6
1.3. Ülevaade uuritavast eramust	7
2. UURIMISOBJEKTI ENERGIAVAADUSE ANALÜÜS	12
2.1. Hoone teoreetiline energiavajadus	13
2.2. Hoone tegelik energiavajadus	13
2.3. Arvutusliku ja tegeliku soojatarbe analüüs	17
3. KÜTTESÜSTEEMIDE ANALÜÜS.....	19
3.1. Gaasiküte	19
3.2. Puitküte	21
3.3. Elektriküte.....	23
4. KÄSITLETUD KÜTTESÜSTEEMIDE ANALÜÜS.....	31
KOKKUVÕTE	35
VIIDATUD KIRJANDUS	37
LISAD	38
Lisa 1. Jõhvika tn 21 asendiplaan	39
Lisa 2. Jõhvika tn 21 I korruse plaan.....	40
Lisa 3. Jõhvika tn 21 II korruse plaan	41
Lisa 4. Jõhvika tn 21 I korruse kütteplaan.....	42
Lisa 4. Jõhvika tn 21 II korruse kütteplaan	43
SUMMARY	44

SISSEJUHATUS

Uusarenduste ja ka renoveerimiste puhul on küttelehendusel väga suur osakaal kogu projektist. Mõjutatuna sotsialismiaegsest suhtumisest jääb olulisel hulgal omanikel küttelehenduse valik põhjalikult läbi töötamata ning lähtutakse arhitekti soovitude või mugavaima k.a ajahetkeliselt soodsaima lahenduse kasuks, arvestamata süsteemi eluiga, eksploatatsioonikulusid ning sõltuvust energiaallika liigist tulenevatest eripäradest, milledeks võivad olla suur hinnatõus, tarneraskused ja muud.

Autor valis antud lõputöö teema, kuna uurimisobjektiks olev hoone, mis asub Tabasalu alevikus Jõhvika tn 21, puhul on talitatud eelnevalt kirjeldatu põhjal ning lähtunud soodsaima alginvesteeringu ja mugavaima valiku põhimõttest. Seetõttu on jäänud projekteerimise ja valiku langetamise faasis kaalutlemata alternatiivsete k.a dubleerivate küttelehenduste kasutamine ning tasuvusarvutuste teostamine.

Töö koostaja leiab siinkohal, et konkreetse küttelehenduse valiku otsuse toetamiseks või ümber lükkamiseks tuleks analüüsida hoone teoreetilist energiavajadust läbi reaalsete kulude, mille abil kontrollida projektifaasis püstitatud energiamärgist, arvutada erinevate küttelehenduste tasuvust, neid analüüsides ja kombineerides.

Lõputöö ülesandeks on leida otstarbekaim küttelehendus, mis arvestaks kasutaja mugavust, tagaks vajaliku energiavajaduse ja kulude kokkuhoiu ning suudaks hoonet varustada kütteenergiaga kogu elukaare ulatuses, arvestades hoone elueaks 50a.

Töö eesmärgiks on leida erinevate küttelehenduste kulud hoone eluea jooksul ning pakkuda välja otstarbekaim küttelehendus või nende kombinatsioon.

Uurimisobjekti iseloomustamiseks on kasutatud Male Maja OÜ 2012a projekti nr 0312, Atest OÜ koostatud ventilatsiooni- ja kütteprojekti nr 1219, ja Harku vallavalituse korraldust nr 641. Lisaks

hoonet iseloomustavatele andmetele on arvutuslike eesmärkide saavutamiseks kogutud tegelikke kuluartikleid hoone omanikult, milledeks on gaasi- ja elektritarbimine.

1. ÜLEVAADE HARKU VALLAST JA FUNKTSIONALISTLIKUST ERAMUST

1.1. Harku vald ja Tabasalu alevik

Harku vald on 159,7 km² suurune, Tallinnast läänes asuv 12 950 (1.4.2013) elanikuga omavalitsus, mille põhjapiiriks on 22 km pikkuselt Soome laht. Idast piirneb vald Harku järve ja Tallinna linnaga, lõunast Saue vallaga ning edelast ja läänest Keila linna ning Keila vallaga. Harku valda kuuluvad Tabasalu ja Harku alevik; Muraste, Suurupi, Tiskre, Vääna-Jõesuu, Rannamõisa, Harkujärve, Türisalu, Ilmandu, Viti, Liikva, Kumna, Tutermaa, Vääna, Sõrve, Adra, Vahe, Laabi, Kütke ja Humala külad. Valla keskuseks on Tabasalu alevik, kuhu on koondunud enamik valla ettevõtlusest ning teenindusest (1).

Harku vald kujunes mitme mõisavalla (Haabersti, Harku, Hüüru, Vääna jt) maadest 19. sajandi II poolel. Rajoonide moodustamisel (1950) vald kaotati, 1954 ühendati Harku külanõukoguga (moodustati 1945) Muraste ja Vääna külanõukogu; omavalitsusliku valla staatuse sai Harku külanõukogu 20. XI 1991. Harku vallast on nüüdse Tallinna piiresse arvatud Peetri aedlinn (1923). 1958–75 loovutati Tallinnale ligikaudu nüüdse Haabersti linnaosa territoorium ning Mustamäe lääneossa jäänud endise Kadaka küla maa (2).

Alates omavalitsusliku valla staatuse omandamisest on olnud Harku vald tõsisel kasvufaasis, millele on oma suure tõuke andnud ka 2005-2006 aastate massiline arendustegevus Tallinna eeslinnades. Peamiselt eramajadega kaetud endiseid põllumaid jääb konkreetsetes piirkonnas aina vähemaks ning detailplaneeringute menetlemine kogub aina tuure. Tänu infrastruktuuri järjepidevale arenemisele Tallinna lähiümbruses muutuvad linnade äärealad täisväärtuslikeks

elualadeks, kuhu on veel võimalik aina suureneva inimkonna nõudlusele vastu tulles eluasemeid ehitada. Alates ehitusbuumi algusaastatest kuni tänapäevani on Harku vald rajanud jalgrattateid (24 km), ühisveevärgi ja – kanalisatsiooni trasse, lasteaedu, huvikeskuseid ning täiendanud ühistranspordi ühendust pealinnaga, ehk loonud sobivat keskkonda peredele, kes soovivad asuda elama Tallinna vahetuslähedusse.

Vastavalt Harku Valla arengukavale soovib vald tõsta Harku vald oma piirkonna keskkonna heaolu, arendada olemasolevaid teenuseid ning parandada nende kättesaadavust, luua soodsaid tingimusi ettevõtluseks, arendada kodanikuühiskonda ning toetada energiasäästlikke lahendusi. Prioriteetsetena näeb arengukava ette lasteaia ja põhikoolikohtade arvu vastavusse viimist valla vajadustega, multifunktsionaalse sotsiaalkeskuse ehitamist ja tehnilise infrastruktuuri väljaehitamist vastavalt sotsiaalse infrastruktuuri vajadustele (3).

Tuginedes harku valla arengukavale aastani 2037 kinnistab lähiaastatel Harku vald oma positsiooni Tallinna eeslinnana pakkudes täisväärtusliku ning modernset eluaset nagu selleks on Jõhvika tänaval asuvad funktsionalistliku ehituslaadiga eramud vastava valiku teinud inimestele.

1.2. Funktsionalistlik eramu

Funktsionalism on modernistliku arhitektuuri varane etapp maailmasõdade vahelisel perioodil. Erinevad nimetused, nagu funktsionalism, modernism, ratsionalism ja konstruktivism, kirjeldavad uue arhitektuuri ambitsioone tegeleda varem esmatahtsaks peetud esteetika kõrval süvenenumalt tehniliste, sotsiaalsete ja majanduslike küsimustega (4, lk 1).

20. sajandi modernistlik mõttelaad kasvas välja vajadusest muutuste järele kogu ühiskonnas. Demokraatliku heaoluühiskonna teoreetikud väitsid, et iga ajastu peab väljenduma omas arhitektuurikeeles ning hülgama kitsa kingana pigistavad ajaloolised stiilikaanonid ja lõputud viited minevikule. Funktsionalismi maksimi sõnastas arhitekt Le Corbusier: ehitise vorm tuleneb tema funktsioonist (*form follows function*, sellest ka stiili nimetus), esteetika aga moodsatest ehitusmaterjalidest (teras, betoon, klaas) ja uudsetest tarinditest (iseseisvalt püsivad betoonist või terasest kandepostkonstruktsioonid). Hoone tuli täielikult rakendada kapitalistliku kiire ja asise elustiili teenistusse. Sotsiaalse missioonina oli „uuel arhitektuuril“ üllas eesmärk pakkuda odavat, tervislikku, avarat, kodumasinatega varustatud kodu ka väikese sissetulekuga perekondadele. Moodne ühiskond pidi algama moodsast kodust. Eestis seostus uus „Katusteta“ majade

arhitektuur eelkõige moodsa euroopaliku elustiiliga ning kujunes rahvusvahelise moe järgimiseks (4, lk 1).

Avalike hoonete ja suurte kortermajade kõrval moodustavad lõviosa meie funktsionalistlikust arhitektuuripärandist puidust ja kivist villalikud ühepereelamud ja väikesed kortermajad. Seesuguse arhitektuuri pealinnaks on pärjatud Pärnu. Tallinnas kujunes aga funktsionalistlike eramute peamiseks levialaks tollane satelliitlinn Nõmme, vähemal määral Pirita, Kadrioru, Merivälja ja Varsaallika (4, lk 2-3).

Sarnaselt 20. sajandi mõttelaadile ja soovile arendada endist rabaäärset heinamaad euroopalikult moodsaks elurajooniks on kehtestatud 2004a. Casa Projekt OÜ poolt algatatud ja 2006a. jõustunud Tabasalu alevikus, Jõhvika tänava detailplaneeringus nõuded, mis viitavad funktsionalistlikule ehituslaadile. Rajatavate hoonete katusekalle tohib olla 0-20°, hoonete maksimaalne kõrgus elamu ja paarismaja puhul 9 m ja abihoonetel 5 m, ei ole lubatud ehitada ümarpalkmaju. Püstitatud hoonete välisilme on kooskõlas funktsionalistliku arhitektuuriga, mille tunnuseks on silepindsed heledavärvilised majad, mistõttu on Jõhvika tänaval püstitatud hooned enamasti krohvitud või valmistatud juba algselt sobiva välisilmega materjalid – betoonist (5).

Kui varasemalt oli probleem funktsionalistliku elamu puhul katuse soojapidavus, sademete äravool ja seinte ebapiisavpiisav soojapidavus, siis tänapäevaste vahendite puhul on funktsionalistliku hoone, ehk rahvakeeles „karbi“ soojustamine üks lihtsamaid ülesandeid võrreldes muude arhitektuuriliste saavutuste kirjas olevate elamutega.

1.3. Ülevaade uuritavast eramust

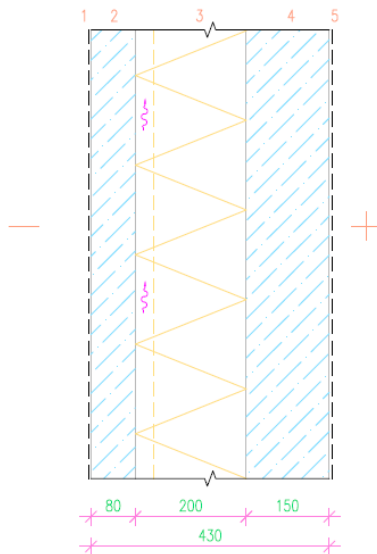
2012. aastal projekteerimisega alustatud ja 2013. aastal ehitatud kahekorruseline hoone, mis on oma arhitektuurselt välisilmelt vaoshoitud ning esindab funktsionalistlikku ehituslaadi, asub Tabasalu alevikus katastritunnusega nr 19801:002:1733, aadressil Jõhvika tn 21 (Joonis 1).



Joonis 1 uuritava eramu. (Autori tehtud)

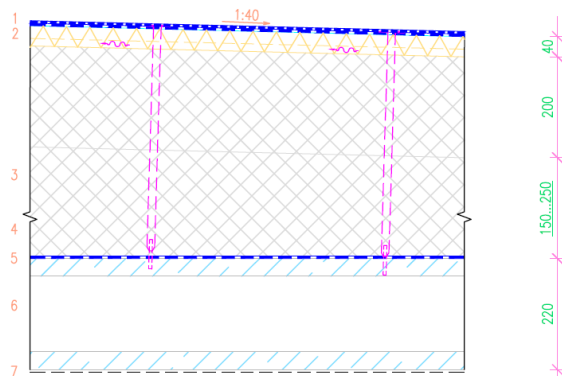
Uurimisobjektiks oleva hoone netopinnaks on 199,5 m², kubatuuriga 538 m³. Hoone mõõtmed, kuju ning paiknemine krundil jälgivad piirkonnas väljakujunenud hoonestuse põhimõtteid, mis järgivad funktsionalistiku hoone tunnuseid. Raudbetoon paneelidest kahekorruseline eramu asetseb põhimahuga paralleelselt Jõhvika tänavaga. Välise viimistluse puhul on rõhutatud kasutatavate materjalide ehedust. Konstruktiivne materjal oma väljanägemisega on ühtlasi ka lõppviimistluseks – eramu on püstitatud monteeritavatest raudbetoonpaneelidest ehk väga vastupidavast ning peaaegu hooldusvabast materjalist. Vältimaks naturaalsele betoonile omast halli ning külma välisilmet, sekundeerivad hoone osades tumedaks peitsitud puitosad. Hoone avatäideteks on kasutatud puit-alumiinium raamidega knaid ja uksi. Metallist detailid, akna- ja räästaplekid ning rõdupiire ja katuseredel annavad läbi tumedale toonile taaskord betoonile välisilme osas lisaväärtust (5).

Hoone seinad on ehitatud kolmekihilisest monteeritavast raudbetoonseinapaneelidest, mille soojustuseks on kasutatud 200mm paksuseid tuulutussoontega mineraalvillaplaate (joonis 2).



Joonis 2. Välisseina lõige. Male Maja OÜ 2012

Vahelagede ning katuselagede kandvateks elementideks on raudbetoonist õõnespaneelid. Sisemise sadevee äravooluga katusele on rajatud kaldu lõigatud vahtpolüstüreenplaatidega kalded ning soojustatud täiendavalt vahtpolüstüreenplaatidega ja mineraalvillaplaatidega (joonis 3). Katusekatteks kõikidel tasapindadel on bituumenkattega rollmaterjal (5).



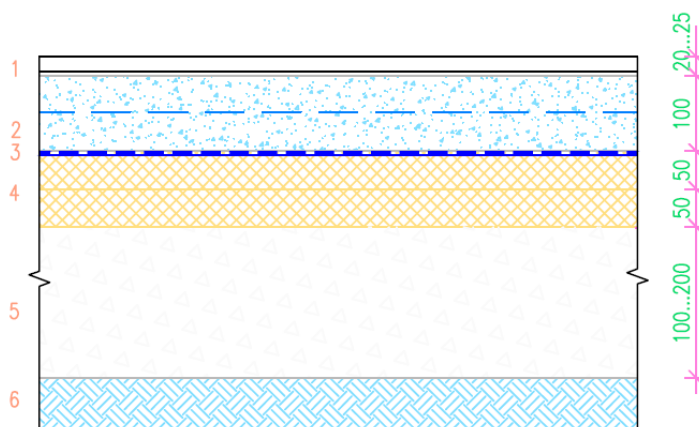
KONSTRUKTSIOONIKIHID:

1. 40mm – SBS–KATUSEKATE, KASUTUSKLASS V40 (BTL 3+BTL 1)
2. 200mm – TUULUTUSSOONTEGA MINERAALVILLAPLAADID $\lambda_D < 0,037$ W/mK, $\gamma = 125$ kg/m³ (nt. "Isover" OL–TOP)
3. 200mm – SOOJUSTUS – EPS VAHTPOLÜSTÜREENPLAADID $\lambda_D < 0,040$ W/mK, (nt. "ESTPlast" EPS 60)
4. 150...250mm – SOOJUSTUS – KALDU LÕIGATUD EPS VAHTPOLÜSTÜREENPLAADID $\lambda_D < 0,040$ W/mK, (nt. "ESTPlast" EPS 60)
5. – AURUTÕKE, KILE, ÜLEKATE 200mm, VUUGID TEIBITUD
6. 220mm – MONTEERITAV ÕÕNEPANEELIDEST LAGI
7. – SISEVIIMISTLUS VASTAVALT ARH. OSALE

Joonis 3. Katuse lõige. (Male Maja OÜ 2012)

Maja esimese korruse põrandad, pindalaga 120 m² on rajatud tihendatud killustikust alusele. Raudbetoonplaat, millel on põrandakate vastavalt arhitektursele lahendusele, on altpoolt soojustatud 100 mm paksuselt vahtpolüstireeni plaatidega (Joonis 4).

PP-01



KONSTRUKTSIOONIKIHID:

- | | |
|----------------|--|
| 1. 20...25mm | - PÕRANDAKATE VASTAVALT ARH. LAHENDUSELE |
| 2. 100mm | - RAUDBETONPLAAT, BETOON C25/30, SARRUSVÕRK B500K Ø5-150 |
| 3. | - HÜDROISOLATSIOON/NIISKUSTÖKE |
| 4. 100mm | - VAHTPOLÜSTÜREENPLAADID ($\lambda_D \leq 0,037$ W/mK, VEEIMAVUS <3%, SURVEPINGE 10% DEF. KORRAL ≥ 80 kPa) |
| 5. 100...200mm | - DREENIV KILLUSTIKALUSKIHT (4/16), $D_t > 95\%$, $E_1 > 60$ MN/m ² , $E_2/E_1 < 2,2$ |
| 6. | - OLEMASOLEV PINNAS |

Joonis 4. Põranda lõige. (Male Maja OÜ 2012)

Kogu maja köetakse maagaasi trassi olemasolu ära kasutades gaasikatlaga. Jättes hoone kütmisest kõrvale kütteprojektiga planeeritud maasoojuspumba. Hoone siseruumide kütmiseks on projekteeritud põrandaküte, mis on lahendatud vesikütte baasil. Küttestorustik jaotub neljateistkümneks eraldiseisvaks kontuuriks, mis tagab põranda ühtlase soojenemise ning täpse reguleerimisvõimaluse. Ruumikohaselt soovitud temperatuuri saavutamiseks ja küttesüsteemi nõuetekohaseks töötamiseks on põrandakütte kollektorile ettenähtud elektriajamitega sulg- ja eel reguleerimisventiilid. Põrandakütteringi elektriajamid juhitakse seinale paigaldatavate õhu/põrandatermostaatidega vastavalt ruumi temperatuuri muutustele. Niisketes ruumides juhitakse põrandakontuuride tööd põrandatermostaadiga (5).

Uurimisobjektiks oleva eluhoone ventilatsioon on tagatud soojustagastusega varustatud ventilatsioonisüsteemiga. Õhu puhastamiseks on kasutusel sissepuhke filtrid klassiga F7 ja väljatõmbe filtrid klassiga G4 (6).

2. UURIMISOBJEKTI ENERGIAVAADADUSE ANALÜÜS

20.12.2007a. Vabariigi Valitsuse määrusega nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ on üksikelamule kehtestatud järgmised nõuded: (7)

- Energiatõhususarv $ET < 180 \text{ kWh/m}^2$ aastas;
- Välisseinte soojajuhtivus $< 0,2-0,25 \text{ W(m}^2\text{K)}$;
- Katuste ja põrandate soojajuhtivus $< 0,15-0,2 \text{ W(m}^2\text{K)}$
- Akende ja uste soojajuhtivus $< 0,7-1,4 \text{ W(m}^2\text{K)}$

Energiatõhususe miinimumnõuded on väljendatud energiatarbena ja teiste käesolevas määruses käsitletud nõuetena. Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne tarbitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, 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 kütava pinna ruutmeetri kohta hoone standardkasutusel (7, § 3).

Elamute põhiline energiavajadus tuleneb peamiselt piirete kvaliteedist, tarbevee ja siseneva õhu soojendamisest. Hoone kütteenergia vajaduse leidmiseks tuleb analüüsida hoone seinte, põranda ja katuslagede soojusfüüsikalisi näitajaid, läbi mille on võimalik arvutada teoreetiline kütteenergia vajadus.

2.1. Hoone teoreetiline energiavajadus

Hoone on projektistaadiumist alates kavandatud vähekulutavana, ehk vastavalt energiamärgise klassidele klass „A“. Tuginedes Male Maja OÜ poolt tellitud ja Raksit OÜ poolt teostatud põhjalikule energiaarvutustele, kulutab uurimisobjekt ühe aasta jooksul 19 186 kWh elektri- ja soojusenergiat. Hoone energiavajadus on saadud läbi põhjalike arvutuste, mis hõlmavad endas nii välispiirete, akende ja uste soojusjuhtivusest, külmasildadest tulenevaid soojuserikadusid, sissepuhkeõhu ja tarbevee soojendamise tulenevaid kulusid kui ka vabasoojusest tulenevat energiat.

Lähtudes energiatõhususarvutuse meetodist, jagades selleks aastase energiavajaduse köetava netopinnaga, saame konkreetse hoone energiatõhususarvuks 101,62 kWh/m² (kWh köetava pinna ruutmeetri kohta aastas) ehk hoone on vähekulutav, vastates klassile „A“.

2.2. Hoone tegelik energiavajadus

Vastupidiselt hoone projektis kirjeldatule on hoone püstitamisel lähtunud võimalikult väikesest kulutusest küttelehenduse rajamisele. Seetõttu on eiratud esialgses projektis kirjeldatud ja energiatõhususarvu arvutamisel arvesse võetud maasoojuspumpa. Maasoojuspumba asemel, mille rajamiseks tuleks üles kaevata väga suur osa haljasalast on kasutusele võetud gaasikatel, millega soojendatakse lisaks keskkütteveele ja tarbevett.

Hoone tegeliku energiatarbe leidmiseks liidetakse kokku kõik sisse ostetavate energialiikide kogusumma teisendades need kilovatt tundideks (kWh). Hoone tegelik energiakulu tugineb igakuistel reaalsete kulude põhjal väljastatud arvetel, milledeks antud hoone puhul on elektri- ja gaasienergia. Tegelik kulu leidmisel võetakse arvesse kraadpäevad, sest hoone on kasutusel olnud alates 2013.a augustikuust, mis pelgalt kuluartikleid kasutades ei annaks objektiivset ülevaadet.

Tabel 1

Gaasi tarbimine 08.2013-03.2014

	08.13	9.13	10.13	11.13	12.13	01.14	02.14	03.14	04.14 proгноос	05.14 proгноос	KOKKU
Gaasi kogus (m ³)	87	102	200	275	309	339	245	197	117	43	1914 m³
Gaasi soojusenergia (kWh)	813	953	1874	2567	2887	3170	2297	1841	1096	403	17901 kWh

Allikas: Jõhvika tn 21 edastatud näidud perioodil 08.2013 – 03.2014; Autori arvutused

Tabelis toodud kulud vahemikus 08.2013-03.2014 on tegelikud. Järgnevad kahe kuu prognoositav küttegaasi kulu on saadud eelolevasse tabelisse kraadpäevadest lähtuvalt suhtarvudena, milledeks on 1,68 ja 4,57. Võttes arvesse normaalaasta kraadpäevade arvu, on leitud, et märtsi ja aprillikuu soojusenergia kasutus on normaalaasta puhul 1,68 korda madalam ning märtsi ja maikuu vahe on vastavalt 4,57 kordne. Leitud suhtarvude abil prognoosis autor aprilli ja maikuu soojusenergia tarbimist järgnevalt: $1841/1,68=1096$ kWh ja $1841/4,57=403$ kWh.

Venemaalt tarnitava maagaasi keskmine kütteväärtus on 33-34 MJ/m³, mis tähendab, et 1 kuupmeetri maagaasi põlemisel tekib keskmiselt 9,3-9,4 kWh soojusenergiat (8).

Lähtudes Eesti Gaasi poolt antud kütteväärtustele on saadud tabelisse kuude lõikes maagaasist saadud soojusenergia kilovatt-tundides (kWh).

Tabel 2

Elektrienergia tarbimine 08.2013-03.2014

	08.13	9.13	10.13	11.13	12.13	01.14	02.14	03.14	04.14	05.13	KOKKU
Elektri- tarbimine (kWh)	403	414	622	810	740	720	370	297	239	192	4807 kWh

Allikas: Jõhvika tn 21 edastatud näidud perioodil 08.2013 – 03.2014

Elektrienergia tarbimise tabelis toodud väärtuses ajavahemikul 08.2013-03.2014 tuginevad reaalselt väljastatud arvetele. Aprilli ja maikuu väärtused on prognoositavad, mis tuginevad elektrilevi tüüptarbimis graafikule, mille järgi on eramu elektrienergia tarbimislangu kuni juulikuuni lineaarne.

Olenemata hoone kütmisest gaasikatlaga näeme selget elektritarbimise kasvu külmemal perioodil, mis võib olla põhjustatud mehhaanilise ventilatsiooni sissepuhke õhku elektrilisest soojendamisest kalorifeeridega.

Kuna hoone on kasutuses olnud alles 8 kuud ja selle perioodi ajal ei ole olnud Eestile iseloomulikku kliimat, ei saa olemasolevate andmete põhjal põhjanevaid järeldusi teha. Selleks, et saada täpsemaid andmeid energiakasutuse kohta on võtnud autor kasutusse kraadpäevade arvu antud piirkonnas, kasutades selleks SA Kredex'i poolt välja antavaid kraadpäevade andmeid.

Tingituna kliimaatilistest erinevustest pole kraadpäevade arvud erinevates Eesti piirkondades võrreldavad. Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbi viidud uuringu „Eesti kraadpäevad ja nende kasutusjuhend“ põhjal on pakutud, et kraadpäevade alusel on sobilik Eesti jagada kuueks piirkonnaks. Need kraadpäevade võtmepiirkonnad ja keskused, milliste välisõhu temperatuuride alusel määratakse piirkonna kraadpäevad, on järgmised: (9)

- I. Jõhvi;
- II. Tartu;
- III. Tallinn;

- IV. Valga;
- V. Pärnu;
- VI. Ristna;

Sageli on olemasoleva hoone energiatarbimise hindamisel otstarbekas võrrelda energiatarbimist erinevate perioodide vältel. Suur osa soojuse tarbimisest hoones sõltub valitsevast väliskliimast, mis erinevate aastate vahel pole päris sama. Erinevuste kõrvaldamiseks tuleb kasutada kraadpäevi (10).

Kraadpäevade oluliseks kasutusalaaks on erinevate aastate välisõhu temperatuuri mõju elimineerimine soojustarbimisele, et elimineerida erinevate aastate välisõhu temperatuuride mõju, viiakse reaalse aasta soojustarbimine üle võrreldavale nn normaalaasta tarbimisele, kasutades seost: (10)

$$Q_N = (Q_{teg} - C) * \frac{S_N}{S_{teg}} + C \quad (1)$$

Kus,

Q_N – normaalaasta soojustarbimine (MWh),

Q_{teg} – tegeliku aasta soojustarbimine (MWh),

S_N – normaalaasta kraadpäevade arv,

S_{teg} – tegeliku aasta kraadpäevade arv,

C – kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimine (MWh).

Osa hoonetes tarbitud soojusest on nõrgalt seotud välisõhutemperatuuriga, seega praktiliselt sõltumatud kraadpäevade arvust. Seda iseloomustab eelpool toodud valemis suurus C . Kraadpäevadest sõltumatu soojustarbimise põhiosa moodustab sooja tarbevee valmistamiseks kulutatud soojus. Kraadpäevadest sõltumatu soojustarbe hulka kuuluvad ka sooja tarbevee torustiku soojuskaod, samuti võib siia hulka lugeda ka mittekõetavates ruumides paiknevate kütetorustike soojuskaod (10).

Siseõhu temperatuur hoones kujuneb kütte- ja vabasoojuse tulemusel. Viimase allikateks on inimesed, elektriseadmed, elektrivalgustus, päikese-kiirgus. Piltlikult öeldes küttega kaetakse soojuskaod välisõhu temperatuurist kuni tasakaalutemperatuurini t_n . Soojuskaod tasakaalutemperatuurist kuni ruumi siseõhu temperatuurini t_s kaetakse vabasoojusega. Tallinna Tehnikaülikooli poolt läbi viidud uuringus (9) määrati olulisemate hoonete tasakaalutemperatuurid erinevat tüüpi hoonetele, mida kraadpäevade määramisel on soovituslik kasutada (10).

Kuna uuring ei puuduta eramajade tasakaalutemperatuuri analüüsi on autor lähtunud lähimast ekvivalendist, ehk uuest kortermajast, millel on sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioon. Analüüsi tulemusena on sellise hoone tasakaalutemperatuuriks 12°C , millele vastavaid kraadpäevade arve on kasutatud alljärgnevas arvutuses.

$$Q_N = (17,9 - 4,8) * 2725 / 2481 + 4,8 = 19,169 \text{ MWh/a}$$

Lähtudes energiatõhususarvutustes leitud kogu hoone erisoojuskaost ($0,2775 \text{ W/m}^2 * \text{C}^{\circ}$), infiltratsioonist tingitud õhuvahetusest, siseruumide temperatuurist $+21^{\circ}\text{C}$, välisest temperatuurist -21°C on leitud Atest OÜ poolt koostatud kütteprojektis hoone küttevõimsuseks $8,18 \text{ kW}$.

2.3. Arvutusliku ja tegeliku soojatarbe analüüs

Hoolimata hoone lühiajalisest kasutuses olekust leidis autor hoone tegeliku energiatarbimise ligilähedaselt reaalsusele kraadpäevade ja prognoosimiste abil. Tuginedes arvutustele on hoone soojusenergia vajadus normaalaastale taandatuna $19,169 \text{ Mwh/a}$, mis erineb projektistaadiumis teostatud energia arvutustest alla 1%.

Teoreetilisele ja tegelike andmetega tõendatud aastasele energiavajadusele tuginedes võime öelda, et projektdokumentatsioonis püstitatud energiamärgis „A“ on tõene, ehk püstitatud hoone on vähe kulutav.

Käesoleva töö raames teostas autor tänapäevastele normidele vastavate küttesüsteemide küttekulude arvutused, mis tagavad uurimisobjektiks oleva hoone energiavajaduse. Arvutustes kasutatavate küttesüsteemide valiku puhul lähtus autor arenenumate, laialt levinumate ning konkreetse uurimisobjekti puhul võimalikest variantidest. Kirjeldatud parameetritele vastasid

hetkel hoones kasutuses olev gaasiküte, tahkekütusel ehk puidul, briketil ning pelletitel põhinev keskküte, erinevad soojuspumbad (õhk-õhk, õhk-vesi, maasoojus) ning otsesed elektrikütteseadmed, mis ei ole küll energiatõhususe osalt konkurentsivõimelised, kuid paljudes majades senini kasutusel.

3. KÜTTESÜSTEEMIDE ANALÜÜS

3.1. Gaasiküte

Sajandivahetusele eelnenud odav gaasihind ja järjest areneva juhtelektroonika ning süsteemide kasutegurid, mis tänaseks päevaks juba saavutanud 90% piiri, on olnud üheks tõukeks hoonete gaasikatelde ehitusele. Hoonetes, millel juba varasemalt keskküttesüsteem rajatud, leitakse, et lokaalne gaasikatel suudab hoida kulusid kontrolli all ja tõsta mugavust ning sõltumatust traditsioonilistest kaugkütte teenusepakujatest.

Kuni tänase päevani varustatakse linnalähedased uusarendused gaasitrassidega, mis teeb esialgse küttelehendusse investeringu piisavalt väikeseks ja mugavaks, et gaasikatlal toimivat küttelehendust eelistada. Hoolimata sellest, et trasside rajamise kulu maksab kaudselt kinni krundi ostja ei teadvustata endale antud kulu. Tugevaks tõukeks lisaks eelpool mainutule võib pidada ka aina arenevaid gaasikatlaid, mis tõstavad küttesüsteemi puhul kasutamismugavust ning töökindlust koos elueaga.

Tänapäevased gaasikatlad jagunevad suures plaanis kaheks:

- Kondensaatkateldeks, mis kasutavad gaasi põlemisel tekkiva veeauru kondenseerumisel vabanevat energiat küttesüsteemist tagastuva soojuskandja temperatuuri tõstmiseks. Seega kasutatakse suitsugaasides sisalduva veeauru "varjatud" soojust, mille tulemusel saavutatakse seadme kasuteguri kuni 15% tõus. Seda tüüpi katelde parim kasutegur saavutatakse madala küttevee temperatuuri korral (11).
- Gaasikütteagregaatideks, mille sees on lisaks põletile, gaasiarmatuurile ja soojusvahetile ka küttesüsteemi tööks vajalikud detailid: tsirkulatsioonipump, membraanpaisupaak, kaitseklapp jms. Gaasikütteaparaadid on seinale riputatavad ning nende võimsus on

reeglina 20...35 kW. Gaasikütteaparaate kasutataksegi väikeste (kuni 300 m²) eramajade ja korterite kütmiseks ning sooja tarbevee tootmiseks (11).

Tuginedes hoonesse rajatud küttesüsteemi ehituse maksumusele, maksab gaasikütte rajamine eramule, millel puudub kinnistusisene gaasitorustik 4400€, sisaldades nii hoone sisest kui ka välist gaasitorustikku, suitsukorstna rajamist, gaasilekke alarmsüsteemi jms. Lähtudes Eesti Gaasi hinnakirjale (seisuga 04.2014), milleks koos aktsiisi ja võrgutasuga on 0,489 €/m³ ja aastasest kütteenergia vajadusest, milleks on 17901 kWh ehk 1914 m³, saame aastaseks küttehinnaks 0,489€/m³*1914m³=935,9 €.

Tabel 3

Gaasikütte kulutabel

Küttesüsteem	Rajamine	kasutegur	Gaasi hind	kWh hind	Küttehind aastas	Eluiga
Viessman Vitodens	4400€	0,9	0,48978€/m ³	0,052€/kWh	935€	15a

Allikas: Eesti gaas, Autori arvutused

Võttes keskmiseks gaasikatla elueaks 15a, säilitades kasutegurit läbi etteantud hooldusintervalli ning eeldades, et maagaasi hind püsib terve eksploatatsiooniaja samal tasemel, kulutame gaasikatlaga hoone kütmiseks 15a jooksul 18425 €. Kuna hoone on projekteeritud kestmaks vähemalt 50a, tuleb terve hoone eluea jooksul lisaks esialgsele rajamisele minimaalselt 2 korda küttesüsteemi välja vahetada. Tuginedes hoonesse ehitatud küttesüsteemi hinnale, maksab keskküttekatel 1900 €, liites kahekordse küttesüsteemi hinna 50a gaasitarbele leiame lihtarvutuse meetodil hoone küttekulu terve eluea jooksul. 50a sooja maksumus = 4400€+3800€+(50a*935€)=54 950 €

Jättes kõrvale prognoosimatud hinnatõusmised leiame, et uurimisobjektiks oleva hoone eluea perioodi jooksul gaasikatlaga kütmine maksab 54 950 € ehk 1099 € aastas.

3.2. Puitküte

Juba ajalooliselt on Eestis elavad inimesed oma kodusid kütnud kõige käepärasema, kuid mitte mugavaima vahendi ehk puiduga. Kuna Eesti on olnud läbi aegade nn metsariik, (mets katab üle poole Eesti maismaast) (12) kasutasid meie esivanemad lisaks hoonete ja tööriistade valmistamiseks puitu ka hoonete kütteks. Oma taastuva iseloomu ja väikese ökoloogilise jalajälge tõttu võib puukütet pidada üheks keskkonnasäästlikumaks. Üha süveneva urbaniseerumise ja elutempo kiirenemise tõttu on aga puidu osakaal eluasemete kütmisel vähenemas.

Lisaks traditsioonilisele küttepuidule toodetakse puidul baseeruvaid alternatiivseid küttematerjale nagu näiteks puitbrikett ja pellet. Puitbrikett ja pellet põhinevad mõlemad kokku pressitud saepurumassil, mis suurendab kütuse kütteväärtust ning vähendab läbi kõrgema põlemistemperatuuri jääkaine hulka ehk tuhka.

Tänapäevaste võimaluste puhul on üsnagi lihtne rajada hoonesse, millel ei ole algupäraselt ette nähtud tahkekütuse põletamise võimalust, eeldused kütuse põletamiseks. Selleks on võimalik rajada väikeste kulutustega moodulkorsten ning õhu pidev juurdevool, millest lihtsustatud moel tahkekütuse ahju toimimiseks piisab.

Tabel 4

Puitkütuste kütteväärtuste tabel

	Küttepuu	Puitbrikett	Pellet
Kütteväärtus	Ca 1400kWh/m ³	Ca 5600kWh/m ³	Ca 3000kWh/m ³

Kütteväärtuste allikas: "Puitkütus" 2010, SA Erametsakeskus

Tabelis näeme, et töödeldud puitkütuse ehk puitbriketi ja pelleti kütteväärtus on töötlemise käigus suurenenud üle kolme korra, säästes sel moel nii küttehoidla suurust kui ka kütmisele kuluvat aega. Eelpool toodud tabelis välja toodud kütteväärtused on keskmised ning eeldavad kütuse võimalikult madalat niiskusesisaldust, mida on võimalik töödeldud puitkütuse puhul tagada vaid kuivas ruumis hoiustamisega.

Vastupidiselt küttepude ja puitbriketiga köetavatele ahjudele on pelletitega kütmisel võimalik kasutada automatiseeritud katelt, mille puhul ei ole vaja veenduda küttematerjali põlemisintensiivsuses ja olemasolus, vaid seda teeb automaatika. Kõikide tahkekütustega kütmisel tuleb aga arvestada olulise ruumikaotusega hoones või rajada materjali hoiustamiseks varjualune.

Tabel 5

Puitkütuse küttekulude tabel

Küttesüsteem	Rajamine	Kasutegur	kWh hind	Küttehind aastas	Eluiga
Pelletikatel Biopel 16kW	4753€	0,94	0,045	805,5€	20a
Teraskatel EKO-KWS 14kW (puiduga kütmine)	2400€	0,8	0,037	662,3€	20a
Teraskatel EKO-KWS 14kW (briketiga kütmine)	2400€	0,8	0,035	626,2€	20a

Allikas: Ülevaade 2013.a III kvartali puiduturust. OÜ Tark Mets, Heiki Hepner, Autori arvutused

Tabelis teostatud arvutuste aluseks on võetud reaalsele andmetele tuginevat aastast küttenenergia vajadust, kütuse kütteväärtust, katla kasutegurit ning kütuse hinda.

Küttesüsteemi rajamisel on kõikide lahenduste puhul arvestatud moodulkorstna rajamist ja küttekatla soetamismaksumust. Katla valikul on lähtunud kütteprojektis välja toodud katla võimsust, mis on valitud maksimumvõimsusega vähemalt 1,5 korda suurem nõutud võimsusest.

Lähtudes taaskord lihtsustatud arvutusmetoodikast, leiame küttesüsteemi, selle rajamise ja kütmisega seotud kulutused 50-le aastale taandatuna. Kõikidele valitud tahkekütuse ahjudele näeb tootja ette vastava hooldusintervalli puhul 20 aastase eluea, seega tuleb katelt vahetada 50 aastase kasutusperioodi vältel vähemalt 2 korda. Tuginedes eelnevalt väljatoodud kulutustele leiame kogukulu erinevate kütteallikate puhul:

- Pelletikatel – $4753\text{€}+3253+(50*805,5\text{€})=48281\text{€}$ ehk 965 € aastas.
- Halupuu katel – $2400\text{€}+1800\text{€}+(50*662,3\text{€})=37315\text{€}$ ehk 746,3 € aastas
- Puitbriketi katel - $2400\text{€}+1800\text{€}+(50*626,2\text{€})=35510\text{€}$ ehk 710,2 € aastas

Erinevalt pelleti katlale, mille automatiseeritud kütuse pealevool vähendab inimfaktori osakaalu kütmise protsessis, tuleb kõiki tahkekütuse ahjusid piisava sagedusega puhastada ning põlemisel tekkivast jääkainest tühendada. Lisaks puhastamisele ning kütte lisamisele tuleb tahkekütust hoiustada ning varuda piisavalt suure kogusena, mis tagab probleemivaba kütteperioodi. Kokkuvõtlikult tuleb tahkekütuse katla puhul kindlasti arvestada oluliselt suurema inimfaktori osakaaluga kütmissprotsessis kui mõne muu energiaallika kasutamisel. Inimfaktori mõiste all on autor pidanud silmas kütuse ladustamisega seotud töid, kütuse pidevat transportimist kütteseadmeni ning kütmissprotsessi, mida tuleb jälgida ning järjepidevalt teostada. Olenevalt küttesüsteemi eripärast ning hoone ehituslikust iseärasusest võib kütmisele kuluv aeg koos eelpool nimetatud tegevustega olla kuni 1tund päevas. Siinkohal on jätnud autor inimfaktorist tuleneva kulu käsitlemata oma varieeruva iseloomu tõttu.

3.3. Elektriküte

Elektrikütte süsteeme võib tinglikult jaotada kaheks: vahetuteks elektrikütte süsteemideks ning kaudseteks elektrikütte süsteemideks. Vahetute elektrikütte süsteemide alla kuuluvad elektriradiaatorid ja läbivoolukatlad, millede puhul tarbitav energiahulk konvekteeeritakse soojusenergiaks seaduspäraga 1 kWh elektrienergiat võrdub 1 kWh soojusenergiaga. Kaudsete elektrikütte süsteemide alla kuuluvad aga soojuspumbad, millede puhul ammutatakse elektrienergia abiga õhust, pinnasest või veest soojusenergiat. Soojuspumpade keskmiseks kasuteguriks võib lugeda 3 ehk 1 kWh elektrienergia abil toodetakse 3 kWh soojusenergiat.

Vahetu elektriküte on olnud populaarne vanades ja uutes asumites, kus puudub gaasi- ja keskkütteühendus ning soov tahkekütusega hoonet kütta. Sajandivahetusele eelnev aeg, millal elektrienergia hind püsis madalal, muutis parajalt mugavaks elektrikütte paigaldamise, mis ei vaja vastupidiselt teistele kütteallikatele täiendavaid ümberehitusi. Peamiseks nõudeks elektriga kütmisel on piisavalt võimas peakaitse ning töökindel elektrivõrk. Peakaitse suurus oleneb hoone eripärast ehk köetavast pinnast, asukohast ning hoones asuvatest seadmetest. Peakaitse valikul

tuleb arvestada asjaoluga, et amperaazi suuruses sõltub ka igakuine ampritasu. Küttesüsteemile minimaalse peakaitsme suuruse leiame seosest:

$$I = P/3U \quad (2)$$

Kus,

I - voolutugevus (A),

P - võimsus (W),

U - pinge (V).

Võttes näitearvutuseks uurimisobjektiks oleva hoone, kus on kolmefaasiline elektriühendus pingega 230 V ning küttesüsteemi võimsuseks 13 kW, leiame eelpool toodud seosest minimaalse peakaitsme suuruse:

$$I=13\ 000W/3*230V=19\ A$$

Arvutusest selgub, et elektrikütte puhul peab olema peakaitsme suurus suurem kui 19 A, mis tagaks hoone probleemivaba kütmise ja toimimise. Uurimisobjektiks oleva hoone puhul on kasutusel 3X32 A peakaitse, ehk eeldused elektriga kütmiseks on täidetud.

Elektriradiaatorid, mille abil hoonet köetakse paigaldatakse vastavalt ruumiparameetritele (m² ja m³) seinale ning ühendatakse elektrivõrku. Radiaatorid on praktiliselt hooldevabad ning vajadusel lihtsasti teisaldatavad.

Märksõna elektriküte paneb aga enamus tänapäevaseid koduomanikke tõsiselt järele mõtlema ning peaaesjalikult meenub eelmisesse sajandisse jäävad elektriradiaatorid, milledega hoone kütmine pärast elektrihinna jätkuvat tõusu väga kulukaks osutub. Alates sajandivahetusest on aga kaudsele elektriküttele põhinevad lahendused saanud arengus uue hoo ning pakutavad tehnoloogiad ületavad nii mõnegi alternatiivse kütteallika kasutegurid.

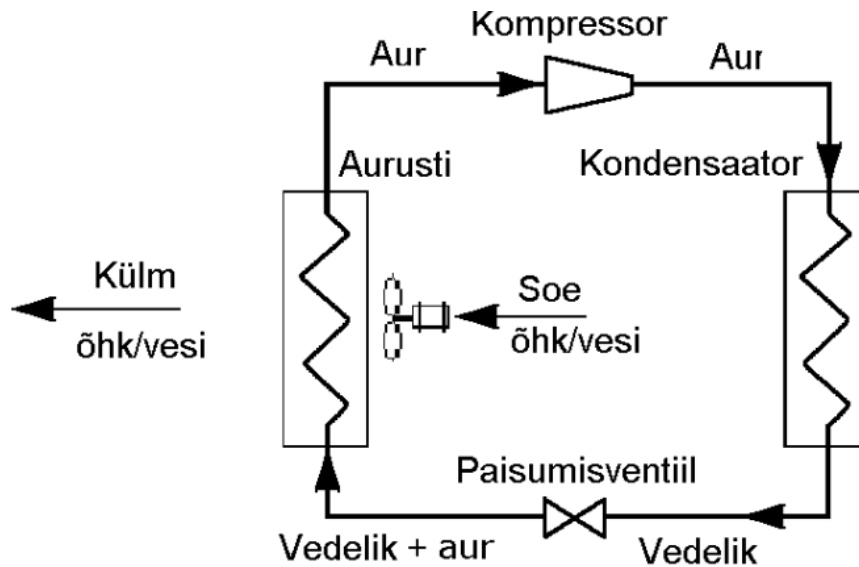
Soojusenergia on kõikjal meie ümber. Seda leidub välisõhus, maapõues, ventileeritavas õhus, põhjavees või heitvees. Meid ümbritsev soojusenergia on valmis transpordiks ja kasutamiseks. Soojuspump kogub meid ümbritsevast keskkonnast salvestunud soojusenergiat. Energia

siirdatakse kompressortehnika ja soojusvahetite abil meile kasulikuks soojuseks, millega köetakse ruume ja tarbevett. Kasutamiseks kõige sobilikum energiaallikas valitakse sõltuvalt maja energiavajadusest, asukohast ja paigaldatud küttesüsteemist (13).

Maasoojuspumba tõhususe iseloomustamiseks kasutatakse sageli mõistet soojustegur (ka soojuspumba kasutegur, ingl. k. *COP – coefficient of performance*). See on parameeter, mis väljendab soojuspumba poolt toodetud energia ja tootmiseks kulutatud energia suhet. Näiteks $COP=4$ tähendab, et maasoojuspump, mis töötab võimsusega 2 kW, toodab energiat võimsusel 8 kW. Kuna soojustegur muutub hooaja jooksul, siis peegeldab küttelehenduse efektiivsust paremini hooaja keskmine soojustegur (SPF – seasonal performance factor) (14).

Soojuspumbad jagunevad vastavalt tööpõhimõttele:

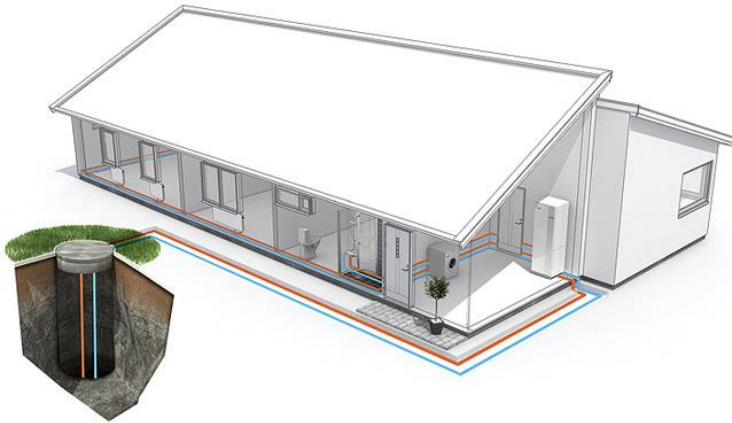
- Õhk-õhk soojuspumpadeks, õhk-õhk-soojuspumpa nimetatakse lühemalt ka lihtsalt õhksoojuspumbaks või õhusoojuspumbaks. Õhk-õhk-soojuspump ammutab vajaliku soojusenergia välisõhust ja annab selle edasi ruumis ringlevale õhule. Õhk-õhk-soojuspumpa saab kasutada ka õhku jahutava seadmena ehk õhukonditsioneerina. Tänu odavaimale soetamis- ja püsikulule on õhk-õhk-soojuspumbad tänapäeval kõige rohkem levinud soojuspumbad. Nende paigaldamine on ka kõige väiksema ehitusmahuga ning on teostatav ühe tööpäevaga (13).
- Õhk-vesi soojuspumpadeks, õhk-vesi soojuspump kogub soojusenergia välisõhust ja annab selle maja vesiküttesüsteemile (radiاتور- või põrandaküte) ning toodab samas ka sooja tarbevett. Seda tüüpi soojuspumpa on suhteliselt lihtne paigaldada. Peamiseks eeliseks maaküttele ees on maakollektori puudumine. Õhk-vesi soojuspump võimaldab kuumal suvepäeval ka jahutada (13).
- Maasoojuspumpadeks, maasoojuspump on kütteseade, mis kasutab maapinda salvestunud päikeseenergiat. Maasoojuspump kasutab energiaallikana maapinda, pinnase ülemisi kihte, kaljut või lähedal asuvat veekogu. Juba meetri sügavusel maapinnas on temperatuur üsna konstantne, 4 – 12 °C. Maapinda salvestunud soojusenergia kogutakse pinnasesse paigaldatud plasttorustiku ehk maakollektori abil. Kollektor on ühendatud soojuspumbaga, mis katab täielikult hoone küttevajaduse küttes, tootes sooja tarbevett ning vajadusel jahutades. Soojuspump vajab tööks (soojuse pumpamiseks) elektrienergiat. Kulutades ühe kWh elektrienergiat suudab maasoojuspump toota kuni 5 kWh soojusenergia (13).



Joonis 5. Soojuspumba tööskeem. (15)

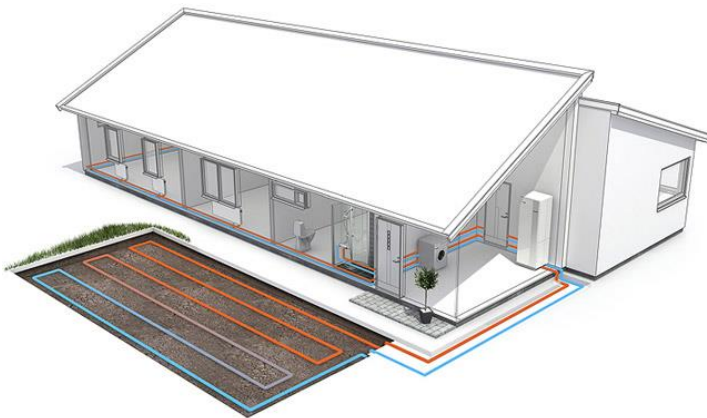
Sarnaselt muude kommunikatsioonide olemasolule, mis on vajalikud näiteks gaasikütte rajamisele, tuleb ka soojuspumba valikult veenduda, et kõik vajalikud eeldused küttesüsteemi rajamiseks on olemas. Lisaks töökindlale elektriühendusele kehtib peamine piirang maasoojuspumbale, mille suurimaks kriteeriumiks on vajaliku pinnase olemasolu. Vastavalt konkreetse hoone asukohale (pinnase eripärad) ning energiavajadusele on võimalik valida nelja erineva energiaallika vahel:

- Energiapuurkaev – maapinna sügavamatest kihtidest on võimalik ühe või mitme puurkaevuga ammutada piisavalt soojusenergiat. Energiapuurkaevudeks nimetatakse vertikaalseid või kaldu puurauke, millesse paigaldatud torustiku abil ammutatakse pinnasekihti salvestunud päikeseenergiat. Eestis vähe kasutusel, sest puurimishinnad kõrged (15).



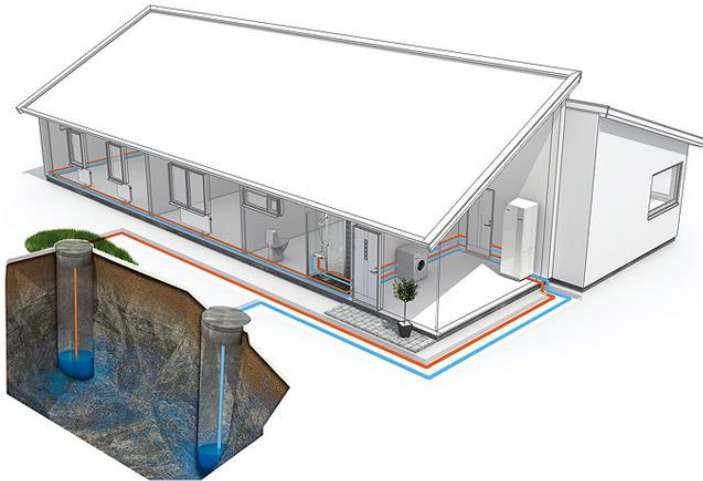
Joonis 6. energiapuurkaevu skeem. (15)

- Maakollektor – maakollektori ehk pinnasekollektori puhul kasutatakse suve jooksul maapinna ülemistesse kihtidesse akumulunud päikeseenergiat. Maapinda salvestunud soojusenergia kogutakse horisontaalse plasttorustiku abil, mis paigaldatakse umbes 1m sügavusele, kuid mitte sügavamale kui 1,3 m. Paralleelsete kollektoritorude vahel peab olema vähemalt 1-1,2 m. 1 m² eramu köetavat pinda vajab vähemalt 3m horisontaalset maakollektorit (15).



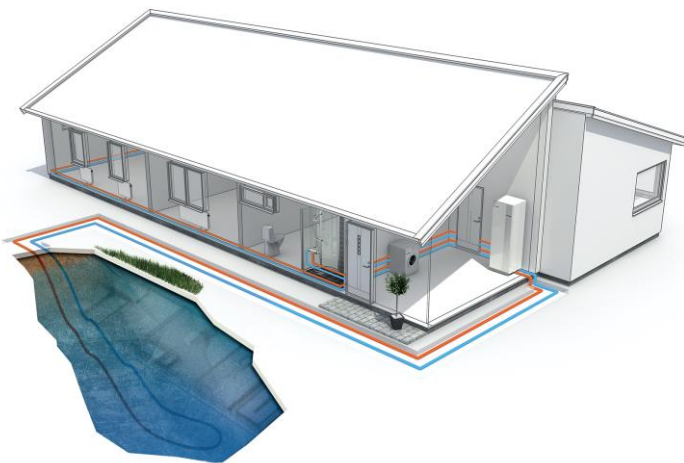
Joonis 7. Maakollektori skeem. (15)

- Põhjaveekollektor – põhjavee ehk avatud energiapuurkaevude süsteemis kasutatakse soojusallikana põhjavee soojust, mis on Eestis aastaringselt 4-12° C. Tavaliselt kasutatakse kahte üksteisest 15-20 m kaugusel asuvat puurkaevu, ühte vee võtmiseks ja teist vee tagasijuhtimiseks. Põhjavee kasutamine energiaallikana on soodsam lahendus kui energiakaevu puurimine, sest vajalik puurimissügavus on väiksem (15).



Joonis 8. Põhjaveekollektori skeem. (15)

- Avatud veekogu – avatud veekogu kollektorit saab kasutada hoonetes, mis asuvad veekogu vahetus läheduses, reeglina lähemal kui 100 m. Kollektor rajatakse aasana, mis viiakse veekogu kohale ujuvas asendis ning uputatakse veekogu põhja kasutades ca 20 kg kaaluvaid raudbetoonist raskuseid. Lainekõrgus veekogu osas, kuhu kollektor paigaldatakse, ei tohi olla suurem kui 1 m (15).



Joonis 9. Avatud veekogu kollektori skeem. (15)

Alljärgnevas tabelis on arvestatud soojuspumpasid ja elektriradiaatoreid põhilise kütteallikana, võttes arvesse tootekirjelduses välja toodud keskmist kasutegurit ehk SPF-i ja elektrienergia hinda koos võrgutasu ja aktsiisi maksumusega. Tehnoloogilise iseärasuse tõttu on arvestatud õhk-õhk soojuspumpade arvuks 2, arvestades kahe soojuspumba nimivõimsuseks 1,5 kordset hoone küttevõimsust. Kuigi ka kahe erineva õhk-õhk tüüpi soojuspumba kasutamisel ei ole võimalik

antud hoonet võrdselt kütta annab selline lihtsustus kõige võrreldavama tulemuse. Elektriradiaatoritega ja läbivoolukatla kütmisel on lähtunud 1,5 kordsest kütteprojektis arvatud energiavajadusest, milleks on 12,27 kW.

Tabel 6

Elektrikütte kulutabel

Küttesüsteem	Rajamine	Kasutegur (COP/SPF)	kWh elektrienergia hind	Kulu aastas	Eluiga
Maasoojuspump WPC 12,8kw	12000€	4,5	0,12€	477€	30a
Õhksoojuspump Mitsubishi Heavy 6kw	3530€	4,44/3,23	0,12€	665€	20a
Õhk-Vesi Panasonic T-Cap 12kw	5420€	4,5/3,4	0,12€	631€	20a
Elektriradiaatorid	650€	1	0,12€	2148,12	20a
Läbivoolukatel Gialix 18kW	1300€	1	0,12€	2148,12	20a

Allikas: Kliimakeskus.ee, soe24.ee; Autori arvutused

Tabelis teostatud arvutustes on võetud küttekulu aluseks reaalsele andmetele tuginevad kWh hoone kütmiseks, mis on jagatud soojuspumpade kasuteguriga ning korrutatud elektri hinnaga. Elektrikütte puhul on korrutatud reaalne soojusenergia tarbimine elektri hinnaga.

Kuigi maakütte puhul on võimalik energiat ammutada lisaks horisontaalselt maapinda paigaldatavatest torudest ka veekogust või kaevust, lähtume uurimisobjektiks oleva kinnistu eripärast ja arvestame horisontaalse kollektori rajamisega. Tallinna Tehnikaülikooli Geoloogia Instituudi Maakütte käsiraamatule tuginedes (15), tuleb 1 m² köetava pinna kohta paigaldada 3,6

m² alale 3 m pikkune kollektor, rajamishinnaga ca 10 €/m ehk 199,5 m² köetava pinna puhul tuleb paigaldada ca 600 m horisontaalset kollektorit, 720 m² maa-alal.

Lähtudes taaskord lihtsustatud arvutusmetoodikast, leiame küttesüsteemi, selle rajamise ja kütmisega seotud kulutused 50-le aastale taandatuna. Kõikidele valitud soojuspumpele näeb tootja ette vastava hooldusintervalli puhul 20-30 aastase eluea, seega tuleb katelt vahetada 50 aastase kasutusperioodi vältel vähemalt 2 korda (v.a maasoojuspump). Tuginedes eelnevalt väljatoodud kulutustele leiame järgnevas tabelis kogukulu erinevate kütteallikate.

Tabel 7

Elektripõhiste küttesüsteemide 50a kulutabel

Küttesüsteem	Küttesüsteemi rajamise maksumus	Küttesüsteemi välja vahetamise maksumus	50a küttekulude maksumus	50a kütte- ja rajamise kulu maksumus	50a kulu taandatuna ühele aastale
Maasoojuspump	12000€	6000€	23850€	41850€	837€
Õhk-õhk soojuspump	3530€	6180€	33250€	42960€	859€
Õhk-vesi soojuspump	5420€	10400€	31550€	47370€	947€
Elektri- radiaatorid	650€	1300€	107406€	109356€	2187€
Läbivoolukatel	1300€	2600€	107406€	111306€	2226€

Allikad: Eesti Energia, Eesti Gaas, Kliimakeskus.ee, "Puitkütus" 2010, SA Erametsakeskus, Autori arvutused

4. KÄSITLETUD KÜTTESÜSTEEMIDE ANALÜÜS

Nii palju kui on maailmas erinevaid inimesi on arvamusi ning eelistusi, kuid arvutustega põhjendatud väidetele on raske vastu vaielda. Eelnevate peatükkide jooksul kogutud informatsioon põhineb arvutustel ning on seetõttu konkreetse töö raames lähteandmeteks, mida järgnevas analüüsis kasutatakse.

Jättes kõrvale mugavusest ning ideoloogiatest tingitud eelistused leiame järgnevast tabelist kogu eelneva töö raames käsitletud küttesüsteemide võrdluse. Tabelis on kajastatud hinnangulised rajamiskulud, 1 kWh soojusenergia maksumus (arvestades konkreetse küttesüsteemi kasutegurit ning kütteallika kütteväärtust), aastane küttekulu ning süsteemi eluiga. Aastase küttekulu arvutamisel on autor võtnud arvesse normaalaastale taandatud soojusenergia vajadust, milleks on 19,169 MWh ehk 19169 kWh. Küttesüsteemi eluea kulu puhul on arvestanud küttesüsteemi rajamise ning küttesüsteemi elueale vastavate aastate küttekulutusi, mis on taandatud 1-le aastale. Näiteks on gaasikütte kulu ühele aastale taandatuna oma eluea jooksul järgnev: $(4400€+(15*996,8€))/15=1290 €$.

Küttesüsteemide võrdlustabel

Küttesüsteem	Rajamiskulu	1kWh soojusenergia maksumus	Aastane küttekulu	Küttesüsteemi eluea kulu 1aasta kohta
Gaasikatel	4400€	0,052€	996,8€	1290€
Pelletkatel	4753€	0,045€	862,6€	1100€
Puidukatel	2400€	0,037€	709,3€	829€
Puitbrikett katel	2400€	0,035€	670,9€	790€
Maasoojuspump	12000€	0,027€	517,6€	917€
Õhk-õhk soojuspump	3530€	0,037€	709,3€	885€
Õhk-vesi soojuspump	5420€	0,035€	670,9€	941€
El. radiaatorid	650€	0,12€	2300€	2332€
El. läbivoolu katel	1300€	0,12€	2300€	2354€

Allikad: Eesti Energia, Eesti Gaas, Kliimakeskus.ee, "Puitkütus" 2010, SA Erametsakeskus;
Autori arvutused

Eelolevas tabelis teostatud arvutuste põhjal võime järeldada, et lihtsustatud arvutusmetoodikale tuginedes ning mugavusnäitajaid, milledeks on küttesüsteemi juhtimine automaatika poolt ja kütuse pidev olemasolu mitte arvestades osutub eramaja kütmise puhul kõige soodsamaks variandiks puitkütusel põhineva katla rajamine. Kütuse valiku puhul osutub antud katla puhul soodsaimaks puitbriketi põletamine, mille hinna ja kW/h suhe on parim. Puitbriketile järgneb traditsioonilise küttepuuga kütmine ning viimaks automatiseeritud kütmist võimaldav pellet.

Liikudes küttesüsteemide liigituses edasi, paiknevad aastase kulutuse osas teisel kohal soojuspumbad (õhksoojuspump, õhk-vesi soojuspump ja maasoojuspump), millede aastane küttekulu koos ühele aastale taandatud rajamiskuluga on süsteemikaaslaste seas sarnane, jäädes alla 1000 € piiri aastas.

Antud hoonesse ehitatud gaasiküte asetseb oma aastase kuluga alles kolmandal kohal, kulutades koos rajamisega 1300 € aastas.

Mitte niiväga üllatuslikult jääb antud hoone kütmise puhul viimasele kohale otsesed elektrikütte lahendused. Hoolimata madalaimast rajamiskulutusest ei ole otseste elektrikütteallikate rajamine otstarbekas ning kulutab ühe aasta jooksul üle 2300 €. Antud küttelehendus on vaieldamatult kõige tundlikum elektrienergia hinnatõusu osas ning hoolimata automaatika poolt võimaldavast öisest kütmisest kulutab kordades enam teistest küttelehendustest.

Tuginedes statistikaameti andmetele (16), mille puhul näeme aastatel 2007-2013 elektrienergia kasvu 0,05 € võrra kWh kohta, võime väita, et küttesüsteemi valiku puhul tuleb teha vägagi põhjalik analüüs ning mõelda esialgsele suuremale väljaminekule, mille läbi tagatakse madalamad küttekulud.

Olgugi, et analüüsi puhul lähtus autor asjaolust, mis jättis kõrvale mugavusnäitajad võime siiski tõdeda, et tehnoloogiline areng on viinud meid sinnani, kus täielikult automatiseeritud küte suudab rahalises vääringus konkureerida puitküttega, mille puhul pole arvestatud inimressurssi kütmise näol. Vastasel korral ei oleks puitkütusega hoone toasooja hind sugugi kõige madalam.

Tuginedes küttesüsteemide võrdlustabelile väidan, et hoone projekteerimise staadiumis projekteeritud küttelehendus maasoojuspumba näol oli projekteerija poolt põhjendatud ning kaalutletud valik. Olgugi, et maakütte rajamine tähendab hoone püstitamise/küttelehenduse rajamise hetkel väga suuri väljaminekuid ning mõningaid ebamugavusi seoses krundil teostatavate kaevetöödega, pole tellija isiklik valik gaasikatla väljaehitamiseks kaugeltki kuluefektiivne pikemas perspektiivis.

Ühiskonna urbaniseerumise ning rahvaarvu suurenemise tagajärjena kasvab elektrienergia ning gaasi tarbimise vajadus, mis omakorda kiirendab energia hinnatõusu ning võib tekitada olukorra, kus käesoleva töö raames arvatud kulu nii gaasi, kui ka elektritoitel töötava küttesüsteemi puhul kasvab kordades. Vähendamaks kirjeldatud olukorrast tingitud igakuiste kulutuste tõusu pakub siinkohal autor välja dubleeritud küttelehenduse. Kuna tegemist on eramajaga, millel on arvestatav

hoov ning võimalus puidul põhinevaid kütuseid hoiustada, oleks mõistlik sarnase eramu puhul lahendada küttesüsteem maasoojuspumba ning tahkekütuse katla/ahju dubleerimisega. Antud lahendus on valitud maasoojuspumba stabiilse kasuteguri tõttu. Samuti vähendaks tahkekütuse ahi eramu kütmisel sõltuvust elektrienergia tarnijast ja selle hinnast, mis tuginedes lähiaastate kogemustele on jätkuvas tõusufaasis. Tahkekütuse ahju lisamine võimaldaks hoonet kütta ka eriolukordade puhkemisel, milleks võib olla elektrivarustuse ajutine katkemine. Lisaks kulude kokkuhoidmisele vähendab tahkekütusel põhineva ahju lisamine riske, mis võivad olla tingitud liig-külmast talvest, mille tulemusena ei pruugi soojuspump oma kasutegurit või töökindlust säilitada. Kuna arvutustes on lähtutud vesipõrandakütte olemasolust, ei too tahkekütuse ahju lisamine küttesüsteemi rajamisele märkimisväärset hinnatõusu, seega leiab käesoleva töö autor, et antud hoone puhul oleks kirjeldatud lahendus parim.

KOKKUVÕTE

Tabasalu alevik on üks arenenumaid piirkondi Tallinna äärealadel, suurenedes nii pindalalt kui ka rahvaarvult iga aasta märkimisväärselt. Olles väga kriitilised uusarenduste energiatõhususe osas, jälgitakse ehitatavate hoonete energiasäästlikust ning küttesüsteemide mõistlikust aina tõsisemalt.

Uurimisobjektiks olev funktsionalistliku ehituslaadiga hoone on küll loomult vana ja iganenud, kuid energiatõhususe seisukohalt väga konkureeriv oma lihtsa arhitektuurilise vormi poolest. Kandiline hoone vorm ning lame katus lihtsustavad hoone soojapidavuse suurendamist, võimaldades lihtsa vaevaga ehitada „A“ klassile vastava hoone, tagades seeläbi madalamad küttekulud.

Üheks oluliseimaks osaks tuleviku küttekulude soodsana püsimise kindlustamisel lisaks vähekulutava hoone ehitamisele on kaasaegse, vähekulutava kütteseadme projekteerimine ning väljaehitamine. Olles valmis tegema suuremaid kulutusi ehitusperioodil nii hoone soojapidavuse parendamiseks kui ka korraliku, vähekulutava küttesüsteemi rajamiseks, saab tagada väärtusliku elamu.

Tulles küttesüsteemide valiku juurde, lähtub peaasjalikult hoone omanik projekteerija poolt pakutud variantidest ja isiklikest eelistustest. Kui litsentseeritud küttesüsteemide projekteerija lähtub üldjuhul hoone parameetritest, asukohast tingitud eeldustest ning energiatõhususest, pakkudes seeläbi, nagu ka uurimisobjekti puhul ilmsiks tuli, parimat varianti, siis asjatundmatu tellija üldjuhul kirjeldatud parameetreid ei arvesta. Viimase punkti ilmestamiseks sobib käesolev töö, mille raames selgus, et tellija valis hoonesse küttesüsteemi, mis ei ole kaugeltki kõige kuluefektiivsem.

Jättes hindamata omaniku töötunnid kütmise näol on, tuginedes käesoleva töö arvutustele endiselt soodsaim hoonet kütta puitkütusega, mis ei oma enam kuigi suurt edumaad automatiseeritud

küttelahenduste ees. Raskesti hinnatava lisatöö ehk kütuse varumise, transportimise ning kütmissprotsessi läbiviimise puhul on võimalik uurimisobjekti ehk ca 200 m² eramu puhul toasooja ammutada kõigest 790 € eest aastas. Käesoleva töö raames leidis autor aga, et kasutusse võetud gaasikütte süsteemi puhul peab omanik tasuma toasooja eest üle 1200 € aasta jooksul.

Tuginedes küttesüsteemide analüüsile leidis autor, et olenevalt kütuse ja küttesüsteemi valikust võib sõltuda hetkel kehtivate hindade puhul, mis kindlasti jätkavad kasvu, üle kahekordset erinevust toasooja ostmisel. Väikese erandina puitkütusega kütteallika osas võib väita, et mida suurem on esialgne investeering küttesüsteemile, seda odavam on antud küttesüsteemi puhul edaspidine toasooja ammutamine. Peamiseks näiteks antud väite toetamisel on Maasoojuspump ning otsene elektriküte, mille rajamiskulud võivad erineda üle kümne korra, kuid hilisemalt on igakuine kokkuhoid märkimisväärne.

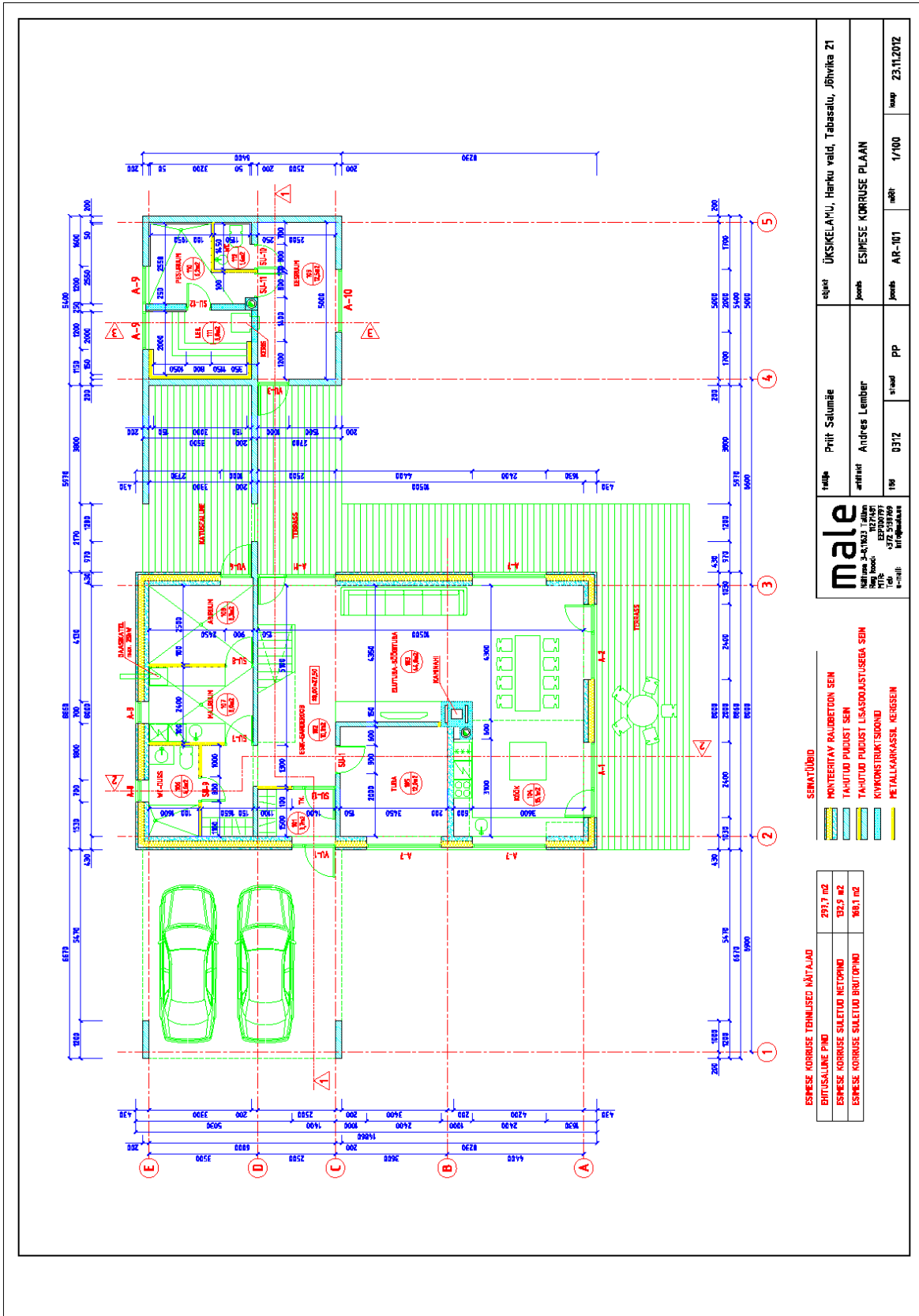
Võttes kokku käesoleva töö raames analüüsitud hoone parameetreid ning läbiarvutatud erinevaid küttesüsteeme, leiab töö autor, et hetkel soodsaimaks lahenduseks hoone kütmiseks koos sõltumatus suurendamisega on maasoojuspump dubleerituna tahkekütuse ahjuga. Väljapakutud variant võimaldab hoonet kütta vastavalt võimalustele, tagades seeläbi kõige soodsamad küttekulud. Dubleeritud küttelahendus nõuab küll üsna suurt esmast väljaminekut, kuid tagab mis tahes komplikatsioonide tekkel hoones probleemivaba toasooja olemasolu koos madalate kulutustega.

VIIDATUD KIRJANDUS

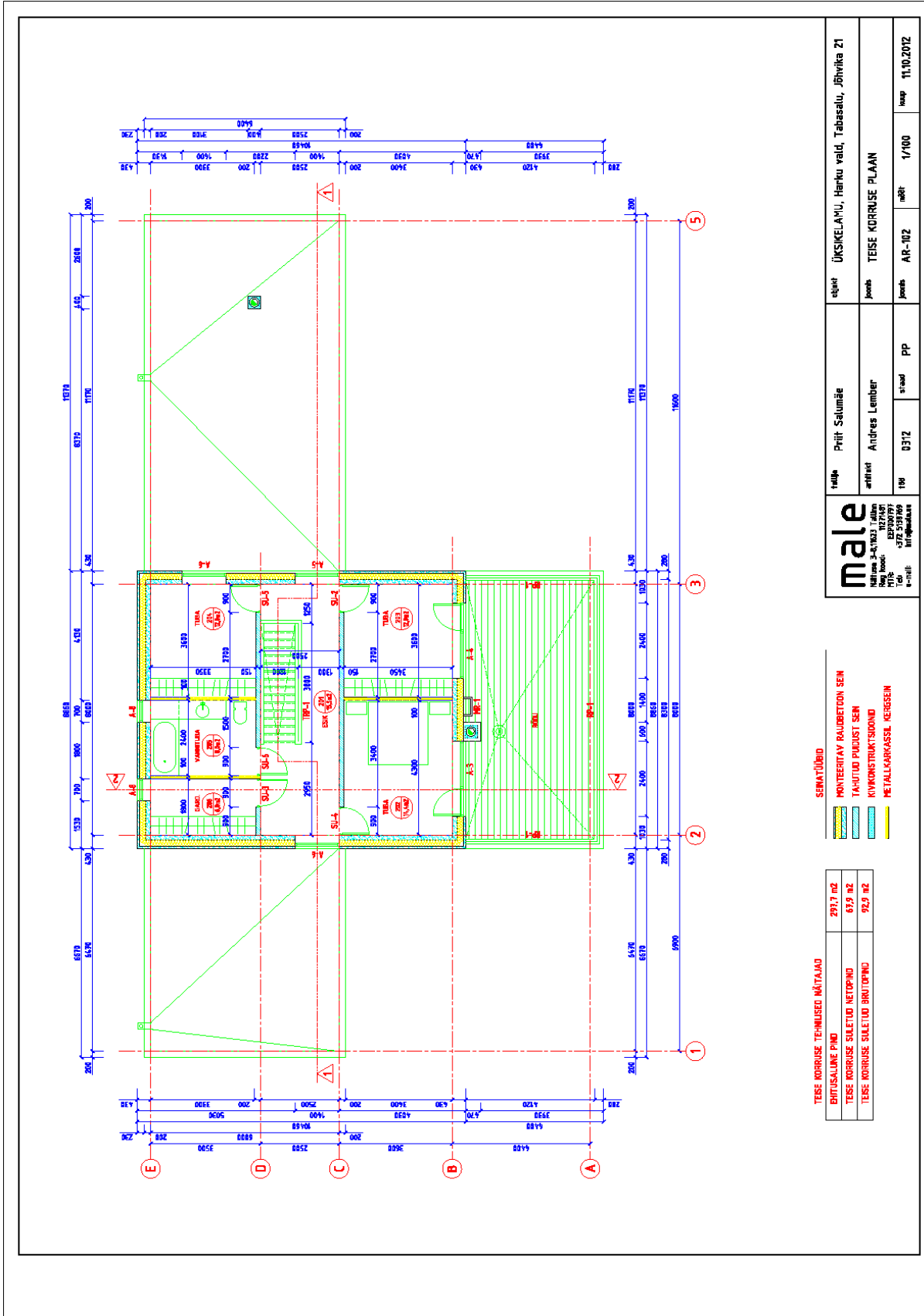
1. Harku vallavalitsus. Tutvustus ja asukoht. <http://www.harku.ee/et/tutvustus-ja-asukoht>, 20.märts.2014.
2. EE eesti 12, 2003.
3. Harku Vallavolikogu määrus nr 19, Lisa 1, 26.09.2013.
4. Eensalu M. ja Tallinna Kultuuriväärtuste Amet. Funktsionalistlik Maja. Tallinn, 2013.
5. Andres Lember Male Maja OÜ.Üksikelamu projekt. Tallinn, 2012.
6. Tanel Ratnik ATEST OÜ. Ventilatsioonisüsteemid Põhiprojekt. Tallinn, 2012.
7. Energiatõhusus miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse määrus, 30.august 2012.
8. Eesti Gaas. Maagaas. <http://www.gaas.ee/maagaas>, 25.märts.2014.
9. TTÜ Keskkonnatehnika Instituut, Eesti kraadpäevad. Tallinn, 2006.
10. SA Kredex. Kraadpäevad.<http://www.kredex.ee/energiatohususest/kraadpaevad-4>, 25. märts 2014.
11. Gaspre OÜ. Gaasikatlad.
http://gaspre.ee/?id=kondensaat_ostjale&sid=kondensaat_ostjale, 26. märts 2014.
12. Keskkonnaamet. Metsandus. <http://www.keskkonnaamet.ee>, 20. aprill 2014.
13. Eesti Soojuspumpade Liit. Soojuspumbad. <http://www.soojuspumbaliit.ee/Soojuspumba-toopohimote>, 20. aprill 2014.
14. Sõltumatu maasoojuspumpade teemaline infoportaal. Maasoojuspumba tõhusus.
www.xn--maakte-6ya.ee/artiklid/maasoojuspump-cop, 20. aprill 2014.
15. TTÜ Geoloogia Instituut. Maaküte, 2012.
16. Statistikaamet. Elektrienergia lõpptarbimise hind kodutarbijale 2007-2013, 15. mai 2014.

LISAD

Lisa 2. Jõhvika tn 21 I korruse plaan



Lisa 3. Jõhvika tn 21 II korruse plaan



male Mühe 3-4, Rak. Tallinn Puh. 6001 12345678 Tel: +372 51919191 e-mail: info@male.ee	Taie	Prüü Salumäe	objekt	ÜKSIKELAMU, Harku vald, Tabasalu, Jõhvika 21
	arhitekt	Andres Lember	leht	TEISE KORRUSE PÜAAN
	196	0312	1:100	1/100
			leht	AR-102
			nr	11.10.2012

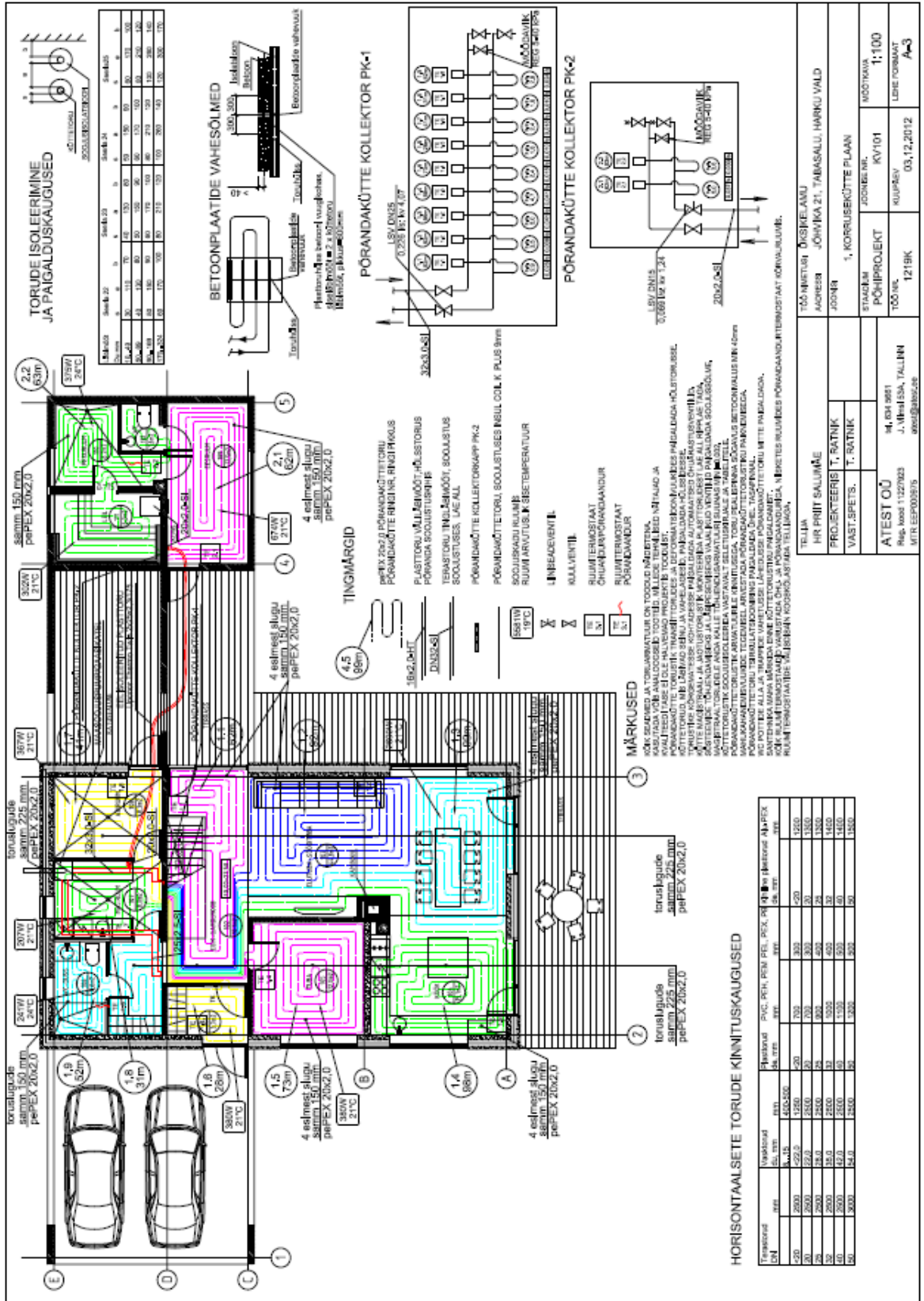
SEMAVÄRVID

	MONTEERITAV RAUDBETON SEIN
	TÄHTSUD PÜUST SEIN
	KIVIKONSTRUKTSIOONID
	METALLKARRASSI KERSEIN

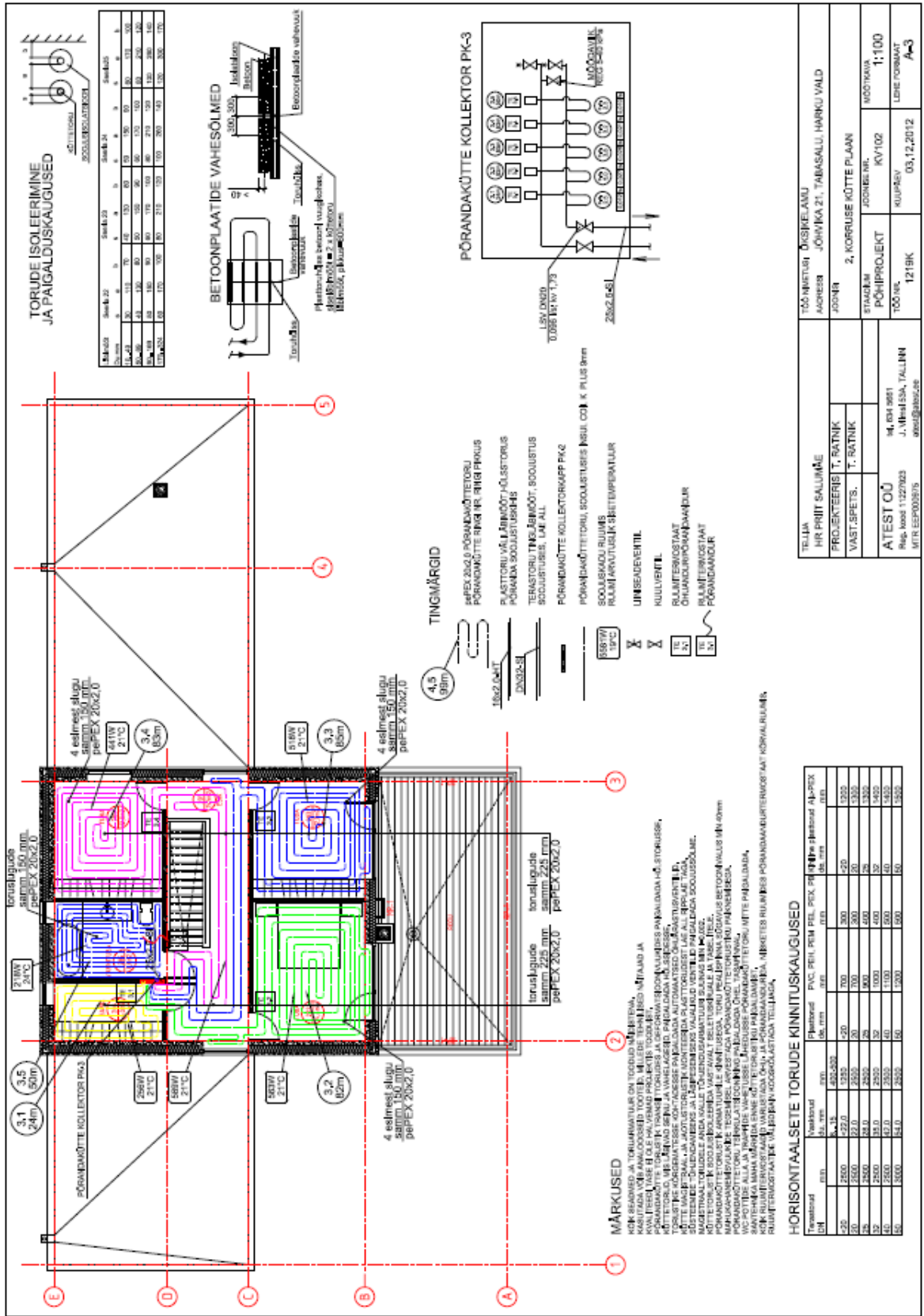
TEISE KORRUSE TEHNISESI NÄITAJAD

ENTUSALINE PIND	291,7 m ²
TEISE KORRUSE SULETUD NETOPIND	617,9 m ²
TEISE KORRUSE SULETUD BRÜTOPIND	92,9 m ²

Lisa 4. Jõhvika tn 21 I korruse kütteplaan



Lisa 4. Jõhvika tn 21 II korruse kütteplaan



SUMMARY

PRIVATE RESIDENCE HEATING SYSTEM ANALYSIS

Virgo Kadastik

Tabasalu borough is one of the most developed areas near Tallinn, increasing its area and population considerably year by year. Being very critical of the new developments regarding the energy performance, energy efficient design of buildings and heating systems are monitored very seriously.

The research object of the functionalist building is old and outdated, though by nature, but the energy efficiency of its highly competitive in terms of simple architectural form. The rectangular shape and flat roof of the building will facilitate an increase in thermal resistance of the building, allowing for a simple effort to build "A" grade house according to the building energy performance, thereby ensuring lower fuel costs.

One of the most important part in ensuring future costs, apart from building a cost efficient building is constructing modern, low cost heating system. Being willing to make greater costs during the construction period, both to improve the thermal insulation of the building, as well as a decent, low cost construction of a heating system, you can ensure a valuable residential.

Returning to the choice of heating systems, is based primarily on the designer's proposed variations and owners personal preferences. If a licensed building systems designer originate from a rule of parameters, assumptions and energy efficient due to the location, offering thereby the best option, then customer does not take these parameters into consideration and makes the decision according to his/her preferences.

Leaving owner's work hours in heating processes aside, is according to the research one of the most cheapest heating fuel wood, which no longer has any significant head start in front of an automated heating solutions. Difficult assessed additional work ie fuel stockpiling, transporting and participating in heating process gives you the cheapest house warmth for approximately 200m² household for just 790 € in year. In this work, the author found, that with the drawdown gas heated system, the owner must pay for a house warmth more than 1200 € in a year, which is almost twice as expensive.

Based on the analysis of heating the author found that, depending on the choice of fuel and the heating system may depend on the currently applicable prices, which certainly will continue to increase, more than two-fold difference between the purchase lukewarm. Minor exception of wood-fuel heating source terms can be argued that the greater the initial investment for the heating system, the cheaper it is the future of heating extraction lukewarm. The main example given to support this assertion is a direct electrical heating and ground source heat pump, which can vary from establishment costs more than ten times, but the subsequent monthly savings are substantial.

Summing up the work of the building of the parameters analyzed and computed through a variety of heating systems, the author finds that, at the time the most advantageous solution for heating the building with a ground source heat pump is replicated by increasing the independence of the solid fuel stove. The proposed option allows to heat the building as far as possible, thereby ensuring the most favorable fuel costs. Dubbed heating solution requires a rather large initial withdrawals, but ensures that any complications occur during the building problem-free existence with lukewarm at low cost.