



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TARTU KOLLEDŽ

Säästva tehnoloogia õppetool

KLAASPUDELHOONE PROJEKT- EHITUS

DESIGN AND BUILDING A GLASS BOTTLE HOUSE

NTS60LT

Magistritöö

Materjalide taaskasutuse eriala

Üliõpilane: **Triin Tõnisson** 105308 EAKI

Juhendajad: **Lehar Leetsaar, Egge Haiba**

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: 105308 EAKI

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

..... (juhendaja allkiri ja kuupäev)

Kaitsmisele lubatud: (kuupäev)

Kaitsmiskomisjoni esimees: (allkiri)

ABSTRACT

The present paper, *Design and building a glass bottle house*, by Triin Tõnisson, under the supervision of Mr Lehar Leetsaar and Ms Egge Haiba, is to pursue a M.Sc. degree in environmental engineering. The thesis consists of 49 pages of text, 21 figures, 14 tables, 62 references, 6 appendixes and 10 graphical charts. The paper has been written in Estonian. The Master's thesis was composed in Tartu 2015.

Over the years, people have gathered a lot of non-deposit glass bottles at home or handled them as a municipal waste. They are not turning them to the recycle through the packaging containers network. Often the problem is caused by an infrequent containers network density and therefore the municipal waste contains a large proportion of glass. In 2010, a life-cycle research, that was conducted in Estonia, showed that almost 23% of municipal waste contains the waste glass.

An averagely 53% of the gathered glass packaging for four years, have been recycled. The Estonian packaging act provides that at least 70% of the total weight of the glass packaging waste must be recycled. This indicates that the packaging target number, prescribed by law, has not fulfilled. The subject of this thesis was emerged from non-deposit glass container collection system inefficiency.

The main aim of the present Master's paper was to design and build a glass bottle house with a roof made of tire strips. Master's thesis assignments were:

- to collect the on-deposit beverage glass bottles
- to design a glass bottle house
- to build a glass bottle house with a roof made of tire strips
- to examine the characteristics of the glass bottle wall (thermal losses and thermal conductivity)
- to test compressive strength of the materials which were used in the wall construction
- to popularize and introduce the options of the recycling of glass bottles and tires.

Under this Master's thesis the general principles of a glass bottle house design and construction were examined. The suitability of the glass bottle as a construction material was tested with a glass bottle block compressive strenght test, which demonstrated the

materials resistance to pressure. The glass bottle wall characteristics were examined when internal and external temperature were at least 10°C. The glass bottle house was heated by a temporary heating element. The thermal loss examination evaluates the main heat leakages. The thermal conductivity as an U- value, examines, how many watts per square meter is moving through the wall, in conditions, when indoor and outdoor temperature differs by one degree.

The results of the research showed that building a house made of glass bottles is possible. Construction of a glass bottle house is simple, but very time-consuming. Without insulation the building is not suitable for living all year round. The thermography indicated that the heat losses of the cap sealed bottles are smaller, but still they do not provide a sufficient thermal insulation. For the open bottles the convective heat transfer is possible because of the air movement along with the heat inside the bottle and through the thin bottle bottom out of the building. The glass bottle wall thermal conductivity was relatively high, 1,49-1,87 W/m²K . The lowest number of material thermal conductivity value indicates, the better insulating material.

The glass bottle blocks compressive strength test indicated the maximum value 1,2 N/mm² and minimum 0,5 N/mm². The differences in the bottle glass thickness significantly reduced resistance to the pressure of the test specimens.

In conclusion, the glass bottle house is suitable for a garden-barbecue house. But in purpose of building it like a dwelling house, then it surely needs a proper insulation.

Keywords: glass bottle house building, non-deposit glass bottle, glass bottle wall, roof made of tire strips, thermal conductivity, compressive strength.

SISUKORD

TÄHISED JA LÜHENDID	8
SISSEJUHATUS	10
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	13
1.1 Klaaspudelitest üldiselt	13
1.1.1 Mõju keskkonnale	15
1.1.2 Klaaspakendite kogumist ja käitlemist reguleeriv seadusandlus.....	15
1.1.3 Klaastaara kogumissüsteem.....	16
1.1.4 Klaaspudelite taaskasutus võimalused (maailmas ja Eestis).....	18
1.2 Rehvidest üldiselt	20
1.2.1 Mõju keskkonnale	22
1.2.2 Rehvide kogumist ja käitlemist reguleeriv seadusandlus	23
1.2.3 Kasutatud rehvide kogumissüsteem	24
1.2.4 Kasutatud rehvide taaskasutamise võimalused (maailmas ja Eestis)	25
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	27
2.1 Hoone planeerimine	27
2.1.1 Ehitise üldandmed	27
2.2 Ehitismaterjalide kirjeldus ja kogumine.....	28
2.3 Metoodika uurimisel	29
2.3.1 Hoone soojuskadude mõõtmine	29
2.3.2 Piirde soojusjuhtivuse mõõtmine	30
2.3.3 Klaaspudelitest plokkide kandevõime survele	30
2.3.3.1 Katsekehad	30
2.3.3.2 Surveseade	33
3. HOONE EHITUS	34
3.1 Arhitektuurne osa	34
3.1.1 Välisviimistlus.....	34
3.1.2 Siseviimistlus.....	34
3.1.3 Avatäited.....	35
3.2 Konstruktiivne osa.....	35

3.2.1	Tehnilised näitajad.....	35
3.2.2	Vundament ja sokkel	35
3.2.3	Sein.....	37
3.2.4	Katus.....	39
3.2.5	Põrand.....	41
3.3	Elektri-, vee-, kanalisatsiooni- ja küttesüsteem ning ventilatsioon.....	41
3.4	Ehitusmaterjalide kirjeldus- omadused	42
3.4.1	Betoonsegud	42
3.4.2	Saematerjal	42
3.4.3	Kinnitusvahendid.....	42
4.	TULEMUSED	43
4.1	Hoone ehitus.....	43
4.1.1	Tulude- kulude aruanne	45
4.1.2	Teaduse populariseerimise projekti täitmine.....	47
4.2	Hoone soojuskaod termokaameraga mõõtmisel.....	51
4.2.1	Välisfassaadi termoulevaatus	51
4.2.2	Siseruumi termoulevaatus	53
4.2.3	Temperatuuriindeksi arvutamine	54
4.3	Piirete soojusjuhtivuse mõõtmine	55
4.4	Klaaspudelplokkide kandevõime survele.....	57
5.	ARUTELU JA SOOVITUSED	60
	KOKKUVÕTE	63
	TÄNAMINE.....	65
	KASUTATUD KIRJANDUS	66
	LISAD	72
	Lisa 1. Horisontaalne klaaspudelseina ladumismeetod	73
	Lisa 2. Vertikaalse klaaspudelseina ladumismeetod.....	74
	Lisa 3. Klaaspudeltellis	75
	Lisa 4. Teaduse populariseerimise projektikonkursi projekt.....	76
	Lisa 5. Klaaspudelhoone seina valgusefekt.....	79

Lisa 6. Sensorplaadiga soojusjuhtivuse mõõtmise tulemused.....	80
GRAAFILINE OSA	81
1. Asendiplaan	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
2. Vundamendi plaan.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
3. Seina sidumine vundamendiga	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
4. Hoone vaade idast.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
5. Hoone vaade läänest	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
6. Hoone vaade põhjast.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
7. Hoone vaade lõunast.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
8. Lõige A-A.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
9. Katuse konstruktsioon	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.
10. Katuse plaan.....	Tõrge! Järjehoidjat pole määratletud.

TÄHISED JA LÜHENDID

Kevlar kangas – tehislik fiibermaterjal, mida kasutatakse kuulivestides ja autorehvides [58].

Klaasi lõõmutamine – vormitud klaasi järk-järguline maha jahutamine, eemaldamaks klaasi kogunenud pingeid [18].

Korduskasutuspakend – pakend, mis läbib oma olelusringi jooksul korduskasutussüsteemis vähemalt mitu käiku või ringi, sõltuvalt pakendi kasutusotstarbest, -võimalusest ja –kõlblikkusest [6].

PAH ühendid – aromaatsete tsüklite kondensatsioonil tekkinud erineva kantserogeensuse tasemega keskkonda saastavate ainete grupp. PAH-ide allikaks võivad olla tööstus, mootorsõidukite heitgaasid, metsatulekahjud, autokummide põletamine jm [59].

Pandipakendite tagatisraha – ühe müügiühiku hinnale lisatud pakendit väärtustav tasu ühe pakendi eest [6].

Pneumaatiline rehv – tugevdatud hõõrdkattega õhkrehv [61].

Probleemtoode – toode, mille jäätmed põhjustavad või võivad põhjustada tervise- või keskkonnaohtu, keskkonnahäiringuid või keskkonna ülemäärast risustamist [9].

Radiaalrehv – rehv, mille konstruktsioonis jooksevad tugevdusnööride kihid rehvi keskjoone suhtes 90-kraadise nurga all rehvi randitraadist traadini [36].

Roheline rehv – valmisrehviga sarnanev toode, mis koosneb tekstiilist, terasvöödest, rantidest, koordidest, turvisest ja muudest komponentidest, kuid ei ole veel läbinud kõvendusprotsessi [38].

Sulaklaas – liiva, lubjakivi, sooda ja klaasipuru segu, mida on kuumutatud ahjus ligilaudu 1565 °C [18].

Taaskasutamise sihtarvud – pakendiettevõtjale pandud kohustus tagamaks oma pakendatud kauba ja sisseveetud pakendatud kauba pakendijäätmete taaskasutamine teatud protsendilises ulatuses [6].

Taaskasutusorganisatsioon – organisatsioon, mis korraldab pakendiettevõtjate pakendi ja pakendijäätmete üleriigilist kogumist ja taaskasutamist ning arendab taaskasutussüsteemi eesmärgiga tagada pakendijäätmete taaskasutamine pakendiseaduses sätestatud taaskasutuse sihtarvude ulatuses [6].

Tootjavastutusorganisatsioon – majanduslikku tulu mittetaotlev organisatsioon, mille liikmeteks on üksnes tootjad või tootjate ühendused ning mille üks eesmärke on teatud liiki

probleemtoodetest tekkinud jäätmete kogumise ja taaskasutamise korraldamine või finantseerimine [4].

Vanarehv – kasutusest kõrvaldatud probleemtoode, mille puhul tootja peab korraldama nende kogumise ja taaskasutamise [9].

Vulkaniseerimine – keemiline protsess, mis seisneb vääveli lisamises polümeeride (kautšuki) koostisse. Väävel moodustab sildu polümeeride ahelate vahel ning muudab materjali mehaaniliselt vastupidavamaks ja keemiliselt inertsemaks. Vulkaniseeritud toodeteks on näiteks autorehvid, hokilitrid ja kingatallad [60].

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö teema valikul sai määravaks asjaolu, et pandita klaastaara kogumissüsteem Eestis on ebaefektiivne. Seda tõestab 2012. aasta Säästva Eesti Instituudi läbiviidud „Olmejäätmete käitlusalternatiivide keskkonnamõju olelusringipõhine uuring“, mille tulemustest selgus, et 2010. aastal moodustas klaaspakend ligemale 23% olmejäätmete mahust [1]. Võrreldes 2008. aastal Eestis läbiviidud olmejäätmete sortimisuuringu tulemustega, moodustasid klaaspakendid keskmiselt ainult 8% segaolmejäätmetest [2].

Pandita klaastaara all mõistetakse peamiselt kange alkoholi pudeleid, klaaspurke ning kosmeetikatarvete pakendeid [3]. Põhiliseks kitsaskohaks on inimestelt pandita klaastaara kätte saamine läbi pakendikonteinerite võrgustiku, kuna pahatihti visatakse klaaspakendid olmejäätmete hulka. Klaasijäätmeid aga olmejäätmete hulka panna ei tohi, kuna olmejäätmete energiakasutuse seisukohalt on oluline põleva jäätmefraktsiooni osakaal [1]. Klaaspakendite sortimise puudujääk on põhjustatud suuresti avalike kogumiskonteinerite ebapiisavast arvust, mis ei vasta elanikkonna tihedusele ning vajadustele nii linnades kui maapiirkondades [4].

Alates 2009. aastast peab vastavalt Eesti Vabariigi pakendiseadusele taaskasutatama tekkivast klaaspakendijäätmete kogumassist vähemalt 70% [5]. Jäätmearuandlus infosüsteemi andmetel koguti Eestis aastatel 2010- 2013 kokku ligikaudu 114 300 tonni klaaspakendit, millest ligemale 61 100 tonni on suunatud taaskasutusse. Taaskasutusse suunatud kogus moodustab keskmiselt 53% kogutud klaastaarast [6]. Põhjuseid, miks taaskasutusse jõudev klaastaara koguprotsent on niivõrd madal, on mitmeid. Esiteks ei suuna inimesed kodudesse kogunenud pandita klaastaarat läbi pakendikonteineri taaskasutusse. Teisalt võib see tingitud olla asjaolust, et klaaspakend puruneb konteinerist jäätmeveoautosse valamisel, mille tagajärjel klaasi välja sorteerimine teiste jäätmete seast on raskendatud.

Vaadeldes klaaspudeli kui terviku taaskasutamist ehituses, siis Eestis teadaolevalt sellealased uuringud puuduvad. Varasemalt on kasutatud purustatud klaaspakendit näiteks betoonisegude täiteainena [7]. Keskkonnatehnika inseneri materjalide taaskasutuse eriala

magistritöö annab hea võimaluse uurida klaaspudeli sobivust ehitusmaterjalina ning populariseerida innovatiivset ehitusviisi.

Kuna magistritöö praktilises osas on kasutatud peale klaastaara ka vanarehve, käsitletakse kirjanduslikus osas nende kogumissüsteemi ning taaskasutust. Tulenevalt rehvide omadustest ja ladestamisega seotud riskidest, keelustati Eesti prügilates 2006. aastal vanarehvide ladustamine [8, 9]. Vanarehve käsitletakse kui probleemtoodet, millele rakendatakse tootja vastutuse põhimõtet. Eesti Vabariigi jäätmeseaduse alusel on tootja kohustatud tagama tema valmistatud, edasimüüdud või sisseveetud rehvidest tekkivate jäätmete kokku kogumise ja nende taaskasutamise või kõrvaldamise [9, 10].

Jäätmearuandlus infosüsteemi andmetel on Eestis aastatel 2010- 2013 kokku kogutud ligemale 23 000 tonni vanarehve, millest ainult ligikaudu 6 200 tonni on suunatud taaskasutusse. See moodustab praktiliselt 27% kogu kogutud massist [11]. Taaskasutuses valmistatakse vanarehvidest põhiliselt kummimatte, mida kasutatakse näiteks terviseradadel või lõhkamistöodel. Iseloomult on rehvid inertsed – nad ei lagune, ei eralda keskkonda ohtlikke aineid ning ei ole isesüttivad [12]. Katusekattematerjalina (nii nagu seda on tehtud käesoleva magistritöö praktilises osas) ei ole teadaolevalt Eestis vanarehve varasemalt kasutatud.

Käesolevas magistritöös uuriti pandita (kange alkoholi) klaastaara kasutusvõimalust põhilise ehitusmaterjalina müüri ladumisel. Töö praktilises osas valmis rehviribadest katusega klaaspudelhoone. Antud hoone näitel katsetati seina konstruktsioonis kasutatud materjalide tugevust survele. Lisaks uuriti klaaspudelhoone seinte soojuskadusid ning soojusjuhtivuse omadusi.

Käsitletav hoone rajati autori koju, mis asub Pärna kinnistul Laimetsa külas Imavere vallas Järvamaal. Klaaspudelhoone ehitusaluseks pinnaks on 10,5 m². Hoone ehitamiseks koguti kokku umbes 6000 klaaspudelit nii eraisikutelt kui ka toitlustusega tegelevatelt ettevõtetelt. Vanarehve oli koguseliselt olemas 90 ringis.

Klaaspudelhoone rajamist toetasid Imavere Vallavalitsus, MTÜ Imavere Sotsiaalkapitali heategevusfond Nutikad Lapsed, ehitussegude tootja Sakret OÜ ning paljud eraisikud. Suurimaks finantsiliseks toetajaks oli Haridus- ja Teadusministeerium ning SA Eesti Teadusagentuur läbi teaduse populariseerimise projektikonkursi. Projekti pealkirjaks oli

„Magistritöö praktilise töö valmimine ja materjalide taaskasutamise tutvustamine laiemale üldsusele“.

Magistritöö koosneb sissejuhatusest, viiest peatükist, kokkuvõttest, tänu osast, lisadest ning graafilisest osast. Töö esimeses peatükis antakse ülevaade klaaspudeli ja kasutatud rehvide mõjust keskkonnale ning nende taaskasutusvõimalustest nii maailmas kui Eestis. Töös kirjeldatakse klaastaara ja vanarehvide kogumissüsteemi ning kogumist ja käitlemist reguleerivat seadusandlust Eestis.

Töö teises peatükis tutvustatakse meetodikaid, millest lähtuti klaaspudelhoone projekteerimisel ja ehitamisel, survetugevuse katsetel, ehitusfüüsikaliste mõõtmiste ning arvutuste tegemisel.

Töö kolmandas peatükis tuuakse välja arhitektuurse ning konstruktiivse osa kirjeldus. Selgitatakse klaaspudelhoone tarindite ehitust ja tutvustatakse ehitamisel kasutatud materjalide olulisemaid karakteristikuid.

Töö neljandas peatükis tuuakse välja klaaspudelhoone ehitamise tulemus koos kulude ja tulude aruandlusega. Samuti kirjeldatakse termoodanalüüsi, soojusjuhtivuse mõõtmise ning survekatsete tulemusi.

Töö viiendas peatükis analüüsitakse töö tulemusi, tuuakse välja keerukamad kohad, pakutakse võimalikke lahendusi ning potentsiaalseid uurimisvõimalusi tulevikuks.

Käesoleva magistritöö eesmärkideks oli:

- koguda pandita klaastaarat aia-grillmaja ehituseks;
- projekteerida klaaspudelhoone;
- ehitada rehviribadest katusega klaaspudelhoone;
- uurida klaaspudelhoone seinte ehitusfüüsikalisi näitajaid (soojuskaod, soojusjuhtivus);
- katsetada klaaspudelhoone seina konstruktsioonis kasutatud materjalide survetugevust;
- populariseerida ja tutvustada klaastaara ning rehvide taaskasutusvõimalusi.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1 Klaaspudelitest üldiselt

Klaasi hakati valmistama umbes 3000 aastat e.Kr. See-eest suuremaid klaasist anumaid umbes 16.saj. e.Kr. [13]. Klaasi puhumisega hakati tegelema alates 300 aastat e.Kr. Järgneva tuhande aasta jooksul levis see meetod aeglaselt üle Euroopa. Alates 18. sajandist rajati Euroopasse vabrikuid, mille mõjul klaasist anumate hinnad langesid [14]. 1895 aastal patenteeriti Michael J. Oweni poolt esimene automaatne klaaspudeleid valmistav masin. 1904. aastal patenteeris Owen masina, mis oli suuteline tootma neli pudelit sekundis [15]. Kaasaegsed automaatiinid maailmas on võimelised tootma ligemale 500 000 kuni 4,5 miljon pudelit päevas [16]. Eestis, Järvakandi klaasitehases, toodetakse keskmiselt 500 000 klaaspakendit päevas [17]. Klaaspakendite valmistamise protsessi etapid on kirjeldatud tabelis 1.1.

Tabel 1.1 Klaaspakendite valmistamise protsess [18]

Protsessi etapp	Etapi kirjeldus
Retsept	Omavahel segatud liiva, lubjakivi, sooda ja ümbertöödeldud klaasi segu saadetakse ahju sulama.
Sulatamine	Segu kuumeneb ahjus ligikaudu 1565 °C.
Jaotamine	Sulaklaas võetakse ahjust välja, jahutatakse ühtlase temperatuurini ja lõigatakse tilkadeks.
Vormimine	Seejärel suunatakse tilgad vormimismasinasse ja nendest vormitakse klaaspakendid.
Lõõmutamine	Valminud klaaspakendid lähevad lõõmutusahju, kus neid taas kuumutatakse ja siis järk-järgult maha jahutatakse, eemaldades nii klaasi kogunenud pinged ning seda tugevdades.
Kvaliteedikontroll	Klaaspakendi kvaliteedikontroll. Kõik pakendid, mis nõuetele ei vasta sulatatakse üles ja töödeldakse ümber.

Klaasi valmistamiseks kasutatakse toorainena (Tabel 1.2) enamasti kvartsi liiva, soodat (naatriumkarbonaati) ja lubjakivi (kaltsiumkarbonaati) [19].

Tabel 1.2 Klaastaara valmistamiseks kasutatavad toorained [7]

Materjali liik	Koostis klaasis (%)
Liiv (silikaat) SiO ₂	71-75
Sooda (Na ₂ O)	12-16
Lubjakivi (CaO)	10-15
Al ₂ O ₃	~2
Kokku	100

Sõltuvalt klaasi valmistamise segu koostisest on sulamistemperatuur umbes 1400-1600 °C [19]. Klaasi värvus (Tabel 1.3) sõltub erinevatest klaasi valmistamise segu koostisesse lisatavatest metallioksiididest – näiteks vask, koobalt, tina, antimon, plii, mangaan ja raud [20].

Tabel 1.3 Klaasi värvust mõjutavad metallioksiidid [21, 22]

Metallioksiid	Värvus
Koobalt	Lillakas-sinine (CoO)
Mangaan	Punakas-lilla (MnO)
Raud	Must (FeO), punane (Fe ₂ O ₃), pruun (Fe ₃ O ₄)
Plii	Pruun (PbO ₂), kollane (PbO)
Vask	Paabulinna sinine/ roheline (CuO), punakas roosa (Cu ₂ O)
Tina	Beež (SnO ₂)
Kroom	Rohekas- kollane (Cr ₂ O ₃)
Hõbe	Kollane (Ag ₂ O)
Seleen	Hele roosa/ roosakas- kollane (SeO ₂)

Antiikajal püüti klaasi valmistamisel erinevate oksiidide lisamisega jäljendada vääriskive nagu näiteks lasuriit, türkiis, ametüst, mäekristall või smaragd [23]. Klaaspudeli tootmisel määrab värvus tema hinna [24].

Klaasi tootmisel kasutatakse ka koostisosana ca. 10-25% purustatud klaasi. Suurem jäätmete sorteerimine ning klaastaara tagastamine taaskasutusorganisatsioonidele tagab suurema taaskasutuse. 10% klaasipuru lisamine klaasi valmistamise protsessi vähendab kasvuhoonegaasi emissioonide hulka atmosfääris ligikaudu 5%. Klaasi sulatamisel võib taaskasutatav materjal moodustada kuni 80% toorainest. Näiteks üks tonn klaasipuru asendab 1,2 tonni toorainet [7].

Klaaspakend moodustab 60% Euroopa Liidu klaasitoodangust. Kõige enam kasutatakse klaastaarat alkohoolsete ja karastusjookide pakendamisel (75% klaaspakendist, peamiselt pudelitena) ja toiduainetetööstuses (20% peamiselt purkidena). Ülejäänud 5% kasutatakse peamiselt kosmeetikavahendite ja ravimite pakendamiseks [7].

1.1.1 Mõju keskkonnale

Klaasi mõju keskkonnale on tingitud tema tootmise energiakulukusest, loodusliku tooraine kulust ning tootmise käigus kütuste põletamisel tekkivast õhusaastest. Tootmisprotsessi energiakulu ning õhku paisatavate lämmastikoksiidide ja süsihappegaasi heidet on võimalik vähendada lisades toorainesegusse purustatud (taaskasutatud) klaasi [7]. Uue klaasist toote tootmine on keskkonnasõbralikum võrreldes PET pudeli tootmisega, kui klaasi sulatamisele minev segu sisaldab 80% ulatuses taaskasutatud klaasi [24].

Klaasi on võimalik ümbertöödelda ning suunata korduvkasutusse. Pudeliklaasi sulatamisel on energiakulu 3000-5000 kJ/kg (830-1400 kWh/t) – ligikaudu 80% klaasi tootmisel vajaminevast energiast kulub materjali sulatamiseks. Vanaklaasi lisamine toorainesse alandab klaasimassi sulamistemperatuuri, mis omakorda vähendab tootmise energiakulu. Energiavajadus ühe tonni klaasi sulatamiseks väheneb ligikaudu 2,5% iga 10% toormesse lisatud klaasipuru kohta. Näiteks ühe tonni klaasi taaskasutamine hoiab ära 315 kg süsihappegaasi tekke [7]. Ühe klaaspudeli ümbertöötlemisel säästetud energia arvelt saab 100 W elektrikipirn põleda 4 tundi või keeta 2-3 tassi teed [25].

Klaas on materjal, mida saab ümber töödelda lõpmata arv kordi – omadused jäävad samaks nagu esmakordsel loodusliku toorme sulatamisel saadud klaasil. Korduvkasutuspakendina peab klaastaara vastu 40-50 tsüklit. Materjalina on klaas keskkonnasõbralik, ei lagune looduses – prügilas või mujal keskkonda sattununa võib säilida tuhandeid aastaid [7].

1.1.2 Klaaspakendite kogumist ja käitlemist reguleeriv seadusandlus

Klaaspakendi kogumist ja käitlemist reguleerivad järgmised Eesti Vabariigi õigusaktid:

- Pakendiaktsiisi seadus, vastu võetud 19.12.1996. a.
- Jäätmeseadus, vastu võetud 28.01.2004. a.
- Pakendiseadus, vastu võetud 21.04.2004. a.
- Riigi jäätmekava 2014-2020.

Eri liikide pakendite kasutamist, pakendi ja pakendist tekkivate jäätmete vältimist ja vähendamise meetmeid, pakendi ja pakendijäätmete taaskasutussüsteemi korraldust, nõudeid pakendiregistrisse esitatavate andmete audiitorkontrollile ning vastutust kehtestatud nõuete täitmata jätmise eest reguleerib Pakendiseadus (RT I 2004, 41, 278) [5].

Pakendiseaduse § 21 alusel on õlle, vähese etanoolisisaldusega alkohoolse joogi, siidri, *perry* ja karastusjoogi korduskasutuspakendile ning ühekorrapakendile (klaas-, plast- ja metallpakendile) määratud tagatisraha. Tagatisraha on ühe müügiühiku hinnale lisatud pakendit väärtustav tasu ühe pakendi eest [5]. Pakendiaktiisi seaduse (RT I 1997, 5, 31) alusel maksustatakse Eestis turule lastud kauba pakend ning teisest Euroopa Liidu liikmesriigist soetatud ja imporditud pakend [26].

Pakendiseaduse § 20 alusel on pakendiettevõtjatel kohustus korraldada pandiga koormatud joogipakendite vastuvõtt ja tagastatud pakendite eest tarbijale tagatisraha väljamaksmine. Seejuures tuleb arvestada, et pandipakendite vastuvõtt ja tagatisraha väljamaksmine oleks korraldatud tarbijale mugavalt ja ligipääsetavalt [5].

Jäätmeseadus (RT I 2004, 9, 52) reguleerib pakendijäätmete käitlemist niivõrd, kuivõrd see ei ole reguleeritud pakendiseadusega. Jäätmeseadus sätestab [9]:

- jäätmehoolduse korralduse,
- nõuded jäätmete tekke ning jäätmetest tuleneva tervise- ja keskkonnaohu vältimiseks,
- meetmed loodusvarade kasutamise tõhususe suurendamiseks ja sellise kasutamise ebasoodsa mõju piiramiseks,
- vastutuse kehtestatud nõuete rikkumise eest.

Keskkonnaministeeriumi poolt koostatud Riigi Jäätmekava aastateks 2014-2020 hõlmab kogu jäätmevaldkonda, kirjeldades olulisemaid jäätmevaldkonna arengu põhimõtteid ja meetmeid, et saavutada jäätmeseaduses püstitatud jäätmepoliitika eesmärgid [4].

1.1.3 Klaastaara kogumissüsteem

Vastavalt pakendiseadusele peab alates 2009. aastast Eestis tekkivatest klaaspakendijäätmete kogumassist taaskasutatama vähemalt 70% [5]. Riikliku jäätmekava 2014-2020 alusel on 2010. aasta seisuga klaaspakendi taaskasutamise ja ringlussevõtu sihtarvud täitmata (tabel 1.4) [4].




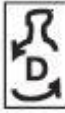
Tabel 1.4 Klaaspakendite tekke kogus ning taaskasutus protsent aastatel 2010-2013 [6]


Aasta	Koguteke (sh kogutud), t	Taaskasutatud, t	Taaskasutatud, %
2010	24 800	8 910	36
2011	33 212	18 158	55
2012	27 678	14 668	53
2013	28 609	19 394	68
Kokku	114 299	61 129	53 (keskmine)

2008. aasta segaolmejäätmete sortimisuuringu alusel varieerus klaasijäätmete osakaal Eesti eri piirkonnas 5,5-11,6% [2]. Võrreldes 2010. aasta olmejäätmete uuringu andmetega, moodustas klaaspakend kogu olmejäätmetest 23% [1], mis on ligi kaks korda kõrgem varasemast. Kuna klaaspakend moodustab suure osa müügipakendist, iseloomustab sihtarvude täitmatajätmine elanikkonnalt pakendite kogumise süsteemi ebatõhusust. Olmejäätmete energiakasutuse seisukohast on oluline põleva jäätmefraktsiooni osakaal. Seega on vajalik jäätmete sorteerimine, et tagada tulemuslik taaskasutus [4].

Pakendite tagatisrahaline süsteem käivitus Eestis 2005. aastal [27]. Alates 2009. aastast on kõik Eesti Pandipakendi süsteemi kuuluvad joogipakendid märgistatud EPP märgiga (tabel 1.5). Pakendid kogub kokku jaemüüja. Äraveo loendus- ja sorteerimiskeskusesse korraldab Eesti Pandipakend OÜ [3].

Tabel 1.5 Eesti Pandipakendi süsteemi kuuluvad joogipakendid märgistused [3]

Panditähis	Pakendi liik	Maht	Tagatisraha eurodes
1	2	3	4
	Plastist ühekorrapakend	Kuni 0,5 l (0,5 l kaasa arvatud)	0,10
	Plastist ühekorrapakend	Suurem kui 0,5 l (0,5 l välja arvatud)	0,10
	Metallist ühekorrapakend	Kõik mahud	0,10
	Klaasist ühekorrapakend	Kõik mahud	0,10

1	2	3	4
	Klaasist korduskasutusega pakend	Kõik mahud	0,10
	Klaasist korduskasutusega pakend	Kõik mahud	0,10

EPP märgiseta pakendite eest pandiraha ei maksta. Sellisteks on näiteks kange alkoholi pudelid, klaaspurgid ja kosmeetikatarvete pakendid [3]. Tagatisrahata pakendijäätmeid koguvad taaskasutusorganisatsioonid üleriigilise pakendikonteinerite kogumisvõrgustiku kaudu. Selleks on kolm akrediteeritud taaskasutusorganisatsiooni, mis kogusid 2011. aasta tegevusülevaadete alusel pakendijäätmeid [4]:

- MTÜ Eesti Pakendiringlus, kokku 34 326 tonni, sellest avaliku kogumisvõrgustiku kaudu 58%;
- MTÜ Eesti Taaskasutusorganisatsioon, kokku 23 245 tonni, sellest avaliku kogumisvõrgustiku kaudu 42%;
- OÜ Tootjavastutusorganisatsioon, kogus 15 915 tonni, sellest avaliku kogumisvõrgustiku kaudu 54%.

1.1.4 Klaaspudelite taaskasutus võimalused (maailmas ja Eestis)

Klaasi kasutamise otstarbest sõltuvalt võib klaasi koostis olla erinev, seetõttu ei ole võimalik taaskasutada pudelite tootmiseks näiteks aknaklaasi. Samuti vähendab taaskasutatava toorme kvaliteeti eri värvi klaastaara koos kogumine. Värvitu klaasi tooraines ei tohi olla värviaidvaid lisandeid, sh rauda ja kroomi. Seetõttu on õigem klaastaarat koguda eraldi värvi järgi – värvitu, pruun ja roheline [7].

Klaastaarajäätmed sulatatakse ja nendest toodetakse uusi pudeleid ja purke, tavaliselt kasutatakse vanaklaasi samasuguse klaasesemete tootmiseks. USAs taaskasutatakse ligikaudu ¼ müüdud klaaspudelitest ja purkidest. Põhiosa (90%) sellest kulub uuesti klaastaara tootmiseks. Teisel kohal on klaaskiu tootmine – klaaskiust valmistatakse riid, optilist kaablit ja klaasvilla [7].

Isover klaasvilla tootja Saint-Gobain Rakennustuotteet Oy kohaselt moodustab taaskasutatud klaas 60-80% klaasvilla valmistamiseks kasutatud toorainetest. Klaasvilla tootmine on Soomes olulisel kohal klaasijäätmete ringlussüsteemis. Taaskasutatud klaasi kasutamine vähendab oluliselt klaasvilla tootmise kahjulikku mõju keskkonnale:

- taaskasutus säästab klaasi valmistamiseks kasutatavaid algseid toormeid (liiv, sooda ja lubjakivi);
- vähendab tootmisprotsessi energiatarbimist;
- vähendab mõnevõrra toorme sulamisel tekkivat õhusaastet.

Näiteks ühest kastist klaastaarast saab ligikaudu ühe paki villa [28].

Klaasipuru lisatakse ka täiteainena näiteks värvide, paberi, plasti, kummi, asfaldi ja betooni hulka. Klaasipuuder annab huvitava tekstuuri ning muudab toote omadusi [7]. Lisades näiteks tsemendi hulga purustatud klaasi, suureneb sellise betooni surve-, tõmbe- ja paindetugevus märkimisväärselt võrreldes tavapärase betooniga [29]. Asfaldi ja klaasipuru segamisel saadakse paremate omadustega teekate, kui tavaline asfalt. Lisaks on klaasasfalt väiksema jäikusega ning parema vastupidavusega deformatsioonidele [30].

Üheks klaastaara taaskasutusviisiks ehituses on näiteks pudelseinte ladumine. Pudeleid on kasutatud hoonete ehitusel erinevates variatsioonides nii pudelite värvilt, kujult kui ka paigutusviisilt. Üheks tavapärasemaks meetodiks on pudelite horisontaalne ladumine. Sellise ladumisviisiga pudelmaja asub Tucsonis Arizonases (lisa 1), kus ehitamisel on pudelikaelad suunaga hoone sissepoole [31].

Esineb ka pudelite vertikaalset paigutamist. Näiteks meeste tualeti sein (lisa 2) Kawakawal Uus-Meremaal, mille autoriks oli Austria kunstnik ja arhitekt Friedensreich Hundertwasser [31].

Lisaks on võimalik klaaspudelitest moodustada telliseid (lisa 3). Klaaspudelitel lõigatakse kaelad maha ning kaks pudeli osa ühendatakse üheks nii, et mõlemad otsad oleksid pudeli põhjad [31].

Üheks vanimaks säilinud pudelmajaks on 1906 aastal Nevada kõrbes 50 000 õlle-, viski-, limonaadi- ja meditsiinipudelist ehitatud hoone. Tollel ajal ebaharilik ehitusviis oli tingitud metsamaterjali vähesusest ning ehituseks kulus umbes 6 kuud [32]. Tais Sisaketi maakonnas ehitasid kohalikud mungad umbes miljonist pudelist budistide templi (*Wat Pa*

Maha Chedi Kaew). Pudeleid kasutati nii WC, krematooriumi kui ka veetorni ehitusel [33]. Üks ebaharilikumad pudelmaju asub Buenos Aireses Quilmes (joonis 1.1), mis kuulub Tito Ingerieni nimelisele mehele.



Joonis 1.1 Tito Ingerieni rajatud pudelhoone [34]

Selle hoone ehituses kasutati kokku 6 miljonit õllepudelit ning ehitus kestis 19 aastat. Pudelmajas “käivitub” nõ alarm, kui lähedal asuva jõe tase hakkab tõusma. Ehituslikult on jäetud mõned pudelid kaelapidi väljapoole, mistõttu lõunakaare tuul hakkab pudelites vilistama [34].

Maksimaalselt on taaskasutatud erinevaid materjale, kaasa arvatud klaaspudeleid, maalaeva ehk *Earthship*'i konseptsioonis. Vundamendi ning seina rajamiseks kasutatakse pinnasega täidetud rehve. Lisaks kasutatakse seina püstitamiseks alumiiniumpurke ning plast- ja klaaspudeleid, mis seotakse segumördiga. Pinnasega täidetud rehvidest sein aitab hoonel reguleerida temperatuuri, alumiiniumpurgid annavad seinale tugevust ning pudelid aitavad luua värvilist valgusefekti. Maalaeva ehitus on säästlik nii materjalide kasutuselt kui finantsiliselt, kuna põhilise ehitusmaterjalina kasutatakse kohalikke jäätmeid [35].

1.2 Rehvidest üldiselt

Esimesed kummist rehvid leiutati 1800. aasta paiku. Algselt olid need tahked või padjandi laadsed, kus siis kummile endale langes raskus, taludes lööke ning torkeid. Pneumaatiline rehvi patenteeriti esmakordselt 1845. aastal. Jätkuvalt eelistati täiskummist rehve nende vastupidavuse tõttu ning pneumaatilised rehvid kadusid käibelt. 1898. aastal avastas

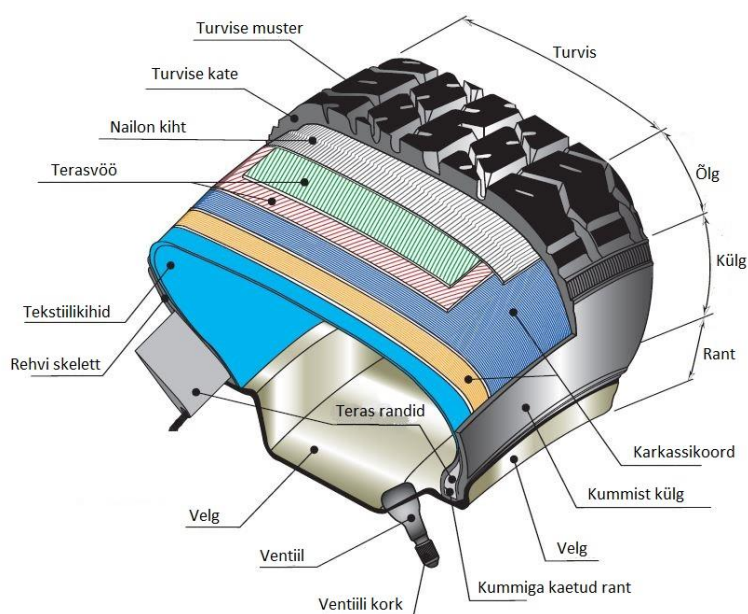
Goodyeari firma vulkaniseeritud kummi, mida ka teised rehvidefirmad seejärel tootma hakkasid. 1948. aastal tutvustas Michelin'i firma Euroopas terasest võõtatud radiaalrehve. Selle eeliseks oli mustri kauem kestvus, sõidukite parem juhitavus ning väiksem veeretakistus. Pärast radiaalrehvide autotööstuse turule tulemist on erinevad firmad püüdnud täiendada radiaalrehve, muutes nende omadusi järjest paremaks ja vastupidavamaks [36].

Rehv on kõrgetasemeline tehniline toode, selle valmistamise protsess (tabel 1.6) nõuab arenenud tehnoloogiat, täppistehnikat ja kvalifitseeritud inimesi [37].

Tabel 1.6 Rehvi valmistamise protsess [38]

Protsessi etapp	Etapi kirjeldus
Segu	Segu koosneb (kuni 30 komponendist) erinevatest kummitüüpidest, täidistest ja muudest komponentidest. Segu segatakse kokku hiiglaslikes segumasinates (Banbury masinateks).
Töötlemine	Kui kumm on jahtunud, suunatakse see edasi spetsiaalsesse seadmesse, kus kumm lõigatakse ribadeks, mis moodustavad rehvi põhistruktuuri.
Rehvi ehitus	Rehvi valmistamine toimub seest väljapoole. Tekstiil, terasvööd, randid, koordid, turvis ja muud komponendid pannakse masinasse ja tulemuseks on "roheline rehvi"
Kõvendamine	Seejärel "roheline rehvi" vulkaniseeritakse kuumade vormide abil kõvenduspressi all, mis surub kõik rehvi osad kokku ning annab rehvide lõpliku kuju, sh ka selle turvisemustri ja tootja märgistused rehvi küljel.
Kontrollimine	Kontrollitakse nii visuaalselt kui ka aparatuuride abil (nt röntgenaparaadi abil).

Rehvide valmistamine toimub seest väljapoole, koosnedes erinevatest osadest (joonis 1.2).



Joonis 1.2 Rehvi läbilõige [37]

Rehvi läbilõike kirjeldus [38]:

- Koordid on tekstiilikihid, mis valmistatakse kummiga kaetud punutud kiududest. Koordid moodustavad rehvi skeleti. See tagab rehvidel painduvuse, kuid takistab venimist. Karkassikoordi kiht paikneb rehvi sisekummil andes rehvidele vajaliku tugevuse.
- Randid valmistatakse tugevast kummiga kaetud punutud terasest, moodustades õhukindla tihenduse rehvi ja velje vahel.
- Terasvööd rehvi ümber annavad rehvidele vajaliku tugevuse ja tagavad jäikuse. Vööd on valmistatud kummiga kaetud terastraadist punutud lehtedest. Lisatugevust, torkekindlust ja vastupidavust on võimalik tagada Kevlar kanga abil.
- Külje piirkond ulatub randist turviseni, tagades rehvi lateraalse stabiilsuse. Küljele on märgitud tootja info rehvi kohta.
- Külje ja turvise vahel moodustub rehvil väike kaldserv ehk õlg. Õla disain ja konstruktsioon on olulised hoidmaks autot stabiilsena kurvides.
- Turvis moodustab rehvil ala, mis puudutab teepinda. Turvise tagab elastsuse ning haarduvuse.
- Turvise mustriks olevad sügavad sooned juhivad vee, lume ja muda rehvalt ära, väiksemad sooned seevastu suurendavad haarduvust. Väiksemate soonte olemasolu rehvil on eriti oluline lumel ja jääl sõitmiseks.
- Mõnel rehvitüübil on paigaldatud ribi rehvi keskosas, et tagada piisav tugevus.

Rehvid koosnevad umbes 85% ulatuses kummist (vulkaniseeritud kautšuk), 10% ulatuses metallist ja 4% ulatuses tekstiilist. Metallist ja tekstiilist kasutatakse rehvide aluskihtides, suurendades nende vastupidavust [12]. Keemilistest ühenditest sisaldab rehvi ränidioksiidi, süsiniku tahma, rapsi- ja mineraalõli, tsinkoksiidi, väävlit, steariinhapet, vananemisvastaseid aineid ja ühtlustavaid vahasid. Antud keemilised ühendid vulkaniseeritakse kõrgel rõhul ja temperatuuril, et saavutada nõutud omadused [39].

1.2.1 Mõju keskkonnale

Rehvid on tänu nende keemiliselt püsivale struktuurile inertsed, ei lagune ega eralda keskkonda ohtlikke aineid. Nende mõju keskkonnale on pigem esteetiline – loodusesse vedelema jäetud vanarehvid risustavad ja kahjustavad maastikupilti [12].

Samas on üheks suurimaks kasutatud rehvidega seotud probleemiks nende põletamine. Kuna rehvide süttimistemperatuur jääb vahemikku 288-343 °C, on nende isesüttimine vähe tõenäoline [40]. Põlemisel eralduv must suits sisaldab suures kontsentratsioonis toksilisi ühendeid, näiteks CO, polütsüklilisi aroomaatseid ühendeid (PAH- ühendeid), tsinki ja pliid [41]. Lisaks moodustub kasutatud rehvide põlemisel PAH-ühendeid sisaldav musta värvi mürgine vedelik, mis võib pinnasesse imbudes põhjustada pinnase- ja põhjavee reostust [12].

1.2.2 Rehvide kogumist ja käitlemist reguleeriv seadusandlus

Rehvide kogumist ja käitlemist reguleerivad järgmised Eesti Vabariigi õigusaktid:

- Jäätmeseadus, vastu võetud 28.01.2004. a.
- Vabariigi Valitsuse määrus nr 135 "Probleemtooteregistri põhimäärus", vastu võetud 23.07.2009. a.
- Vabariigi Valitsuse määrus nr 80 "Rehvidest tekkinud jäätmete kogumise, tootjale tagastamise ning taaskasutamise või kõrvaldamise nõuded ja kord", vastu võetud 17.06.2010. a.
- Keskkonnaministri määrus nr 57 "Probleemtoote kasutajale kättesaadavaks tehtava teabe loetelu ning teabe esitamise viisid ja kord", vastu võetud 22.07.2013. a.

Jäätmeseadus (RT I 2004, 9, 52) kehtestab nn probleemtoodetele tootjavastutuse põhimõtte, mis tähendab, et tootja on kohustatud tagama tema valmistatud, edasimüüdud või sisseveetud probleemtootest tekkivate jäätmete kokku kogumise ja nende taaskasutamise või kõrvaldamise [9, 10]. Lisaks kuuluvad jäätmeseadus § 25 alusel probleemtoodete hulka ka rehvid, mis jäätmetena põhjustavad või võivad põhjustada tervise- või keskkonnaohtu, keskkonnahäiringuid või keskkonna ülemäärast risustamist [9].

Jäätmeseaduse § 26 alusel on tootja kohustatud tagama tema valmistatud, edasimüüdud või sisseveetud probleemtootest tekkivate jäätmete kokku kogumise ja nende taaskasutamise või nende kõrvaldamise ja omama selle kohustuse täitmiseks piisavat tagatist. Rehvi tootja on kohustatud tagasi võtma sama liiki rehvi sõltumata sellest, millal rehvi on turustatud või millist kaubamärki rehvi kannab. Mootorsõidukeid ja mootorsõiduki haagiseid turule toov tootja peab mootorsõidukite ja mootorsõiduki haagise rehvide osas pidama eraldi arvestust

rehvide koguse ja massi üle ning korraldama kasutuselt kõrvaldatud vanarehvide kogumise ja taaskasutamise [9].

Jäätmeseaduse § 35¹ alusel on prügilasse keelatud ladestada kasutatud rehve, välja arvatud prügilas ehitusmaterjalina kasutatavaid tükeldatud rehve [9]. Jäätmeseaduse § 126 alusel karistatakse rahatrahviga töötlemata jäätmete või kasutatud rehvide prügilasse ladestamise eest kuni 300 trahviühikut. Juriidilist isikut kuni 32 000 eurot [9].

Vabariigi Valitsuse määrus nr 80 "Rehvidest tekkinud jäätmete kogumise, tootjale tagastamise ning taaskasutamise või kõrvaldamise nõuded ja kord" reguleerib vanarehvide tasuta tagasi võtmist ning taaskasutamist [42].

Vabariigi Valitsuse määrus nr 135 "Probleemtooteregistri põhimäärus" alusel on registri pidamise eesmärgiks andmete koondamine probleemtoodete tootjate kohta, Eestis valmistatud, Eestisse sisseveetud ja Eestist väljaveetud probleemtoodete ning probleemtoodetest tekkinud jäätmete taaskasutamise arvestuse pidamine „Jäätmeseadusest” tulenevate ülesannete täitmiseks ning Euroopa Komisjonile jäätmealase teabe esitamiseks [43].

Keskkonnaministri määrus nr 57 "Probleemtoote kasutajale kättesaadavaks tehtava teabe loetelu ning teabe esitamise viisid ja kord" § 6 kohaselt peab tootja teavitama rehvide kasutajat, et vanarehve on keelatud kõrvaldada sortimata olmejäätmetena, vanarehvide tagastamise võimalustest ning taaskasutamise ja ringlussevõtu võimalustest [44].

1.2.3 Kasutatud rehvide kogumissüsteem

Tootjavastutusprintsipi kohaselt peab tootja rajama vanarehvide kogumispunktid igasse Eesti maakonda, võttes arvesse rahvastiku tihedust ning seda, et vanarehvide üleandmine oleks kasutajale võimalikult mugav. Tootja peab rajama vanarehvide kogumispunktid vähemalt igasse Eesti linna, alevisse ning üle 1500 elanikuga asulasse [45].

Tootjad, kes lasevad turule täisrehve või kaevanduskallurite rehve või rehve üksnes koos mootorsõidukitega või haagistega, ei ole kohustatud rajama üle-eestiliselt kogumispunkte, vaid peavad tagama vanarehvide kogumise muul viisil (näiteks müügikoha kaudu) [45].

Tootja on kohustatud vanarehve tasuta tagasi võtma piiramata koguses [45]:

- rehvide kasutajatelt, mootorsõidukite ja rehvide hooldustöökodadelt;
- kohalikelt omavalitsustelt;
- kohalike omavalitsuste jäätmejaama lepingu alusel haldavalt jäätmekäitlejatelt.

Tootjavastutuse printsiipi rakendatakse reaalsuses nii, et tootja või maaletooja lisab uue rehvi hinnale taaskasutustasu, millest makstakse tootjavastutusorganisatsioonile korraldamaks rehvide kogumist ja taaskasutamist. Tootjavastutusorganisatsioon ostab omakorda kogumise ja taaskasutamise sisse jäätmekäitlussektorilt [10].

Jäätmearuandluse infosüsteemi kohaselt on vanarehvide kogumine kasvanud aastatega, taaskasutamises see-eest suurt kasvu ei ole olnud (tabel 1.7).

Tabel 1.7 Vanarehvide tekkekogus ja taaskasutamine aastatel 2010-2013 [11]

Aasta	Koguteke (sh kogutud), t	Taaskasutatud, t	Taaskasutatud, %
2010	3 033	1 187	39
2011	1 819	940	52
2012	7 803	1 461	19
2013	10 398	2 631	25
Kokku	23 054	6 219	27 (keskmise)

1.2.4 Kasutatud rehvide taaskasutamise võimalused (maailmas ja Eestis)

Üheks levinumaks taaskasutuse võtteks maailmas on rehvide protekteerimine ehk rehvide taastamine. Protekteerimine kujutab endas kulunud turvise maha koorimist ja uue rehvimustri liimimist rehvidele. Rehvide taastamine on finantsi- ning energiasäästlik [46].

Ameerikas kasutatakse vanarehve katusekattematerjali tootmisel (Euroshield katusekatte materjal). Umbes 600 vanarehvist piisab ühepereelamu katuse katmiseks. Euroshield katusekattematerjal koosneb ligikaudu 95% taaskasutatud materjalist. Sellist materjali peetakse jätkusuutlikuks ning kaasaegseks ehitusmaterjaliks, olles taaskasutatav eluea lõppemisel [47]. Saksamaal seevastu patenteeriti katuseehituse meetod, kus vanarehvidelt lõigatakse ära küljed ning muustrilist osa riba kasutatakse katusekattematerjalina (joonis 1.3) [48].



Joonis 1.3 Rehvi ribadest paigaldatud katus [49]

Jäätmeseaduse kohaselt tuleb kõik kogutud vanarehvid 100% taaskasutada, sest vanarehvide ladestamine prügilasse (nii tervelt kui tükeldatuna) on keelatud. Vanarehvide taaskasutamisel tuleb eelistada ringlussevõttu ehk välja sortida rehvid, mida on võimalik protekteerida või korduskasutusse suunata [45].

Vanade rehvide taaskasutamiseks on mitmeid võimalusi, näiteks tehakse kasutatud rehvidest kummitükke ja kummipuru, mida kasutatakse teedehituses, spordiväljakutel, iluaiaanduses jne [12]. Näiteks Eestis tegutsev Rubronic OÜ on spetsialiseerunud rehvide purustamisele, ümbertöötlemisele ning kummipuru ja kummigraanuli müügile. Rubronic OÜ valmistab samuti kummigraanulitest kummimatte, mis leiavad kasutust laste mänguväljakutel, spordiväljakutel, jõusaalides, lasketiirudes, rõdudel, terrassidel, kõnniteedel, basseini ääres, heli- ja vibratsioonitõketena, lamekatustel, hobusetallide põrandatel jne [50]. Rakendust leitakse ka terviklikele kasutatud rehvidele (näiteks sadamates, mitmesuguste vallide ja seinte ehitamisel) [12].

Rehvide jäätmekäitlushierarhia viimasel kohal on rehvide põletamine nii energiamahukates protsessides energia saamise eesmärgil, kui ka uute energiakandjate (nt vedelkütus või koks) saamiseks [12]. Ohtlike jäätmete põletamisega tegeleb Eestis näiteks AS Epler & Lorenz. Põletusprotsessist tekkiv energia taaskasutatakse soojusena. Samuti tegeletakse tahketest ja vedelatest põlevjäätmetest jäätmekütuse valmistamisega, mida kasutatakse oma jäätmepõletustehases või tarnitakse ettevõtetele, kes omavad luba selle kasutamiseks [51].

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1 Hoone planeerimine

Magistritöö koostamise ettevalmistustega alustati 2012. aasta lõpus. Töö praktilises osas kasutatud materjalide kogumisega ning klaaspudelhoone planeerimisega alustati 2013. aasta kevadel. Klaaspudelhoone eskiisprojekti graafilised joonised valmisid 2014. aasta juulis. Graafilised joonised koostati AutoCAD 2013 versiooniga .dwg formaadis.

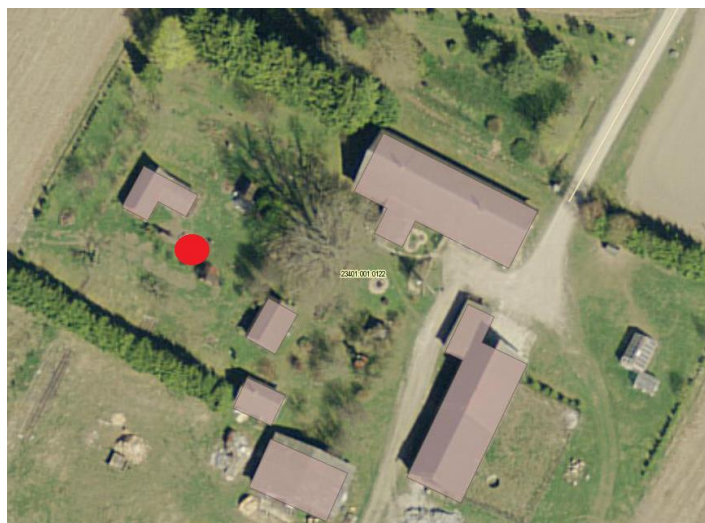
2014. aasta kevadel taotleti klaaspudelhoone ehituseks Eesti Teadusagentuurilt teaduse populariseerimise projektikonkursilt „Magistritöö praktilise töö valmimine ja materjalide taaskasutamise tutvustamine laiemale üldsusele“ projektile (lisa 4) toetust summas 1304 eurot. Taotlus rahuldati täissummas.

2.1.1 Ehitise üldandmed

Hoone projekteerimisel arvestati Eesti Vabariigi Valitsuse 27.10.2004. aasta määrust nr 315 „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“, ehituses kehtivaid õigusakte ning projekteerimise lähteandmeid.

- Hoone funktsioon – aia-grillmaja.
- Hoone põhiplaan – poolringi kujuline
- Gabariidid – 3,90 x 3,10 x 2,00 (m); katuseharja kõrgus (maapinnast) 2,70 m
- Võimsus – mahutab vähemalt kaheksat täiskasvanud inimest

Hoone rajati Järvamaale Imavere valda Laimetsa külla Pärna kinnistule (Joonis.1).



Joonis 2.1 Klaaspudelhoone asukoht Pärna kinnistul, märgitud punasega [52]

Magistritöö graafiline osa sisaldab:

1.	Asendiplaan	1:500
2.	Vundamendi plaan	1:50
3.	Seina sidumine vundamendiga	1:50
4.	Hoone vaade idast	1:50
5.	Hoone vaade läänest	1:50
6.	Hoone vaade põhjast	1:50
7.	Hoone vaade lõunast	1:50
8.	Lõige A-A	1:50
9.	Katuse konstruktsioon	1:50
10.	Katuse plaan	1:50

2.2 Ehitusmaterjalide kirjeldus ja kogumine

Pudelmaja toormaterjali, klaaspudeleid, koguti nii eraisikutelt kui ettevõtetelt. Kokku oli varustajateks 11 eraisikut ja üks jäätmetega ning kaks toitlustusega tegelevat ettevõtet. Suurima koguse materjali andis Tartus tegutsev kohvik-restoran *Pierre*.

Koguti pandimärgita kange alkoholi pudeleid, koguseliselt umbes 6000 pudelit. Klaaspudelite kogumisel ei olnud määrav pudeli värvus või kuju. Pudelite suurus seevastu pidi pikkuselt olema umbes 300 mm (umbkaudu tavalise veinipudeli pikkus), et seinad ladumisel oleks piisavalt toetuspinna. Pudelid pesti enne nende ehituses kasutamist. Eesmärgiks oli pudelis oleva alkoholijäägi eemaldamine. Lisaks puhastati pudelikaelad korkidest ning alumiiniumvõrudest, suurendamaks pudelite läbipaistvat pinda.

Katusekattematerjalina kasutatud rehve eraisikutelt ega ettevõtetelt ei kogutud. Autori kodus oli olemas 90 rehvi. Kindlat rehvi liiki (suve- või talverehve) ei eelistatud. Katusekatteks kasutatud mustilise osa rehviribade saamiseks eemaldati rehvidelt küljed. Rehvi külgede lõikamiseks kasutati teravat nuga, mis läbistas kummi. Lõikamisel jälgiti, et lõigatav serv oleks sirge ega muutuks sakiliseks. Vastasel juhul lõikamisel saadud mustilise osa ring lõigati pooleks ketaslõikuri metallilõikekettaga (A 46 R BF, 125 x 2 x 22,23 mm), kuna rehvi sees asetsesid traadikoordid.

Vundamendi ja seinu ehitusel sidusmaterjalina kasutatud tsemendisegu saadi nii ehitussegude tootjalt Sakret OÜ-lt tasuta annetuseks (üks tonn), kui ka soetatud Eesti Teadusagentuurilt saadud toetuse eest.

2.3 Metoodika uurimisel

2.3.1 Hoone soojuskadude mõõtmine

Hoone soojuskadude mõõtmisel kasutati termokaamerat FLIR E6, infrapuna termomeetrit Fluke 566 ning universaalset andmesalvestit Ahlborn Almemo 2890-9 koos õhutemperatuuri, suhtelise õhuniiskuse ja soojusvoo sensoritega. Termotulevaatuse käigus pildistati termokaameraga hoone seinu nii välisfassaadist kui siseruumist.

Välisfassaadi termopiltidel kujutatud heledamat (kollast, punast) värvi kohad näitavad, kus soojuskad on kõige suuremad [53]. Näiteks:

- külmasillad (sokkel, vuugivahed),
- soojuskad läbi aknaklaaside,
- soojustuseta seinapinnad.

Siseruumi termopiltidel kujutatud tumedam (sinine, must) värv kujutab halva soojapidavusega piirkondi[53]. Näiteks:

- külmad seinuosad,
- konstruktsioonivigadest tekkinud külmasillad,
- soojuskad läbi akende.

Mõõtmiste ajaks paigutati hoonesse ajutine küttekeha. Elektroonse infrapuna termomeetriga mõõdeti hoone välise pinna temperatuuriks $+4^{\circ}\text{C}$, hoone temperatuur sisepinnal $+8^{\circ}\text{C}$. Õues seisva betoonist elektriposti pinnalt mõõdeti temperatuuriks $+2,8^{\circ}\text{C}$. Tavalise õhu termomeetriga mõõdeti hoone sees temperatuuriks $+16^{\circ}\text{C}$. Universaalse andmesalvestiga suhteliseks õhuniiskuseks 57 %. Riikliku Ilmateenistuse (EMHI) andmetel oli termokaameraga mõõtmise ajal välisõhu temperatuuriks $+4,4^{\circ}\text{C}$ ning suhteliseks õhuniiskuseks 92 %.

Termopilte analüüsiti FLIR Tools programmiga ning anti hinnang peamistele soojaleketele.

Külmasillast põhjustatud madalama sisepinna temperatuuri kriitilisust iseloomustab temperatuuriindeks, mis arvutati valemiga 1 [54]:

$$f_{Rsi} = \frac{t_{sin} - t_{out}}{t_{in} - t_{out}} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (1)$$

kus:

f_{Rsi} - temperatuuriindeks, -;

t_{sin} - sisepinnatemperatuur, °C;

t_{in} - sisetemperatuur, °C;

t_{out} - välistemperatuur, °C;

R_T - piirdetarindi kogusoojatakistus, m²·K/W;

R_{si} - piirdetarindi sisepinna soojatakistus, m²·K/W.

2.3.2 Piirde soojusjuhtivuse mõõtmine

Soojusjuhtivuse mõõtmiseks kasutati sensorplaati, mis oli ühendatud Ahlborn Almemo 2890-9 mõõturiga. Sensorplaat kinnitati tasasele seina pinnale (seina välispinnale, kuna sisepind on ebaühtlane). Hoonesse paigutati ajutine küttekeha. Saavutamaks välisõhu ja siseõhu temperatuuride vaheks vähemalt 10°C, köeti küttekeha öhtuti (alates kella 21:00 kuni 05:00). Mõõtmist teostati seitsme ööpäeva jooksul.

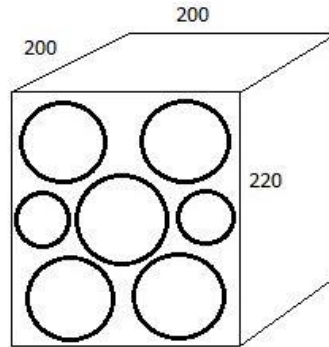
Mõõtmistulemuste analüüsimisel arvestati ainult neid väärtusi, mille temperatuuride vahe oli alates 10°C ning üle selle. Analüüsis kasutati nii soojusvoo sensoritega mõõdetud välistemperatuuri ning EMHI andmeid mõõdetud perioodi kohta.

Soojusjuhtivus tegur ehk U-väärtus näitab, kui suur on soojusvool (W) läbi 1 m² piirde pinna sellisel juhul, kui sise- ja välistemperatuuri vahe on 1 kraad (1 °C) [54].

2.3.3 Klaaspudelitest plokkide kandevõime survele

2.3.3.1 Katsekehad

Katsekehi valmistati üheaegselt kokku kuus, igaüks koosnes 7 pudelist (joonis 2.2), mõõtmetega 200 x 200 x 220 mm.



Joonis 2.2 Klaaspudelite paigutus plokkides

Pudelistest tehti valim põhimõttel, et pudelid mahuksid raketise vahele ning ei ületaks survemasinasse mahtuva katsekeha suurust. Katsekehade valmistamine toimus kahes etapis. Esiteks, pudelid laoti klaaspudelseina ladumismeetodiga puidust raketiste vahele (joonis 2.3).



Joonis 2.3 Klaaspudelplokkide valmistamine (Foto: Triin Tõnisson)

Klaaspudelite sidusmaterjalina kasutatavat krohvi- müürisegu Sakret ZM10 segati vahekorras 4:1 (tsement: vesi). Raketise põhi ning kaks külgpaneeli konstrueeriti 100 x 22 mm lauast, pealt fikseeriti 25 x 50 mm puitlipiga. Raketise põhi kaeti umbes 10 mm paksuse segu kihiga, millesse suruti paralleelselt põhjaga kaks klaaspudelit võrdsete vahedega nii raketise seintest kui teineteisest. Klaaspudelid paigutati horisontaalselt nii, et pudelikaelad ning –põhjad olid suunatud raketise lahtiste osade poole.

Järgnevalt täideti klaaspudelite vahed seguga ning tihendati kellu servaga. Keskmise rea pudelite ladumiseks asetati esimesele pudelireale umbes 10 mm paksune segu kiht, millesse suruti alumiste pudelite vahekohtadesse keskmise rea kolm klaaspudelit.

Seejärel täideti ning tihendati seguga keskmise rea pudelite vahed. Pudelitele paigutati taaskord umbes 10 mm paksune segu kiht ning sellesse suruti teise rea pudelite vahekohtadesse pealmise kihi kaks pudelit. Lõpetuseks täideti ning tihendati kolmanda kihi pudelite vahed seguga. Pealmine rida pudeleid kaeti umbes 10 mm paksuse segu kihiga ning siluti kelluga.

Esimese ja kolmanda rea kaks pudelit ning keskmise rea keskmine pudel oli 70 mm läbimõõduga. Keskmise rea kaks äärmist pudelit olid 50 mm läbimõõduga. Klaaspudelhoone seinas olid klaaspudelid varieeruvast suuruses, kuid katsekehades kasutatud (70 ja 50 mm läbimõõduga) pudelid olid seinakonstruktsioonis domineerivas koguses.

Klaaspudelplokkide esimene külge, millest paistsid välja pudelite põhjad, puhastati pudelipõhjade vahelised vuugid üleliigsest segust käega. Tagumist külge, millest paistsid välja pudelikaelad, ei silutud. Seejärel jäeti katsekehad kuivama seitsmeks päevaks kütetaruumi, kus temperatuur ei langenud alla +5 °C.

Teises valmistamise etapis klaaspudelplokkid tasandati pealt tasandussegu (Joonis 2.4), sellega tagati survekatse jaoks vajalik ühtlane survepind.



Joonis 2.4 Klaaspudelplokkide tasandamine tasandussegu (Foto: Triin Tõnisson)

Klaaspudelplokkid eemaldati puitraketest ning tasandussegu valamiseks ehitati puitlippidest raamid, mis kinnitati paberteibiga plokkide peale. Tasandusseguna kasutati peenbetooni Weber S-06, mis segati vahekorras 5:1 (tsement: vesi). Klaaspudelplokkide pealmine pind niisutati ning tasandussegu valati raamistikku umbes 15 mm kihina, valu

siluti kelluga. Seejärel jäeti klaaspudelplokkid kuivama 20 päevaks kütteta ruumi, kus temperatuur ei langenud alla +5 °C. Katsekehade kuivamise aeg oli kokku 28 päeva.

Kui katsekehad olid kuivanud eemaldati paberteip ning puitraamistik. Klaaspudelplokkide tasandus lihviti käsitsi abrasiivlihvkettaga (230 x 7 x 22 T mm), eemaldati pinnakõverused 5 mm ulatuses. Peale lihvimist saadi klaaspudelplokkide mõõtmeteks 200 x 200 x 220 mm. Tasandussegu tõstis klaaspudelplokkide kõrgust umbes 10 mm võrra algsest kõrgusest.

2.3.3.2 Surveseade

Katsel kasutati käsitsi reguleeritavat survemasinat FORM+ TEST Mega 7-2000-100 D piiratud survetugevusega 2000 kN.

Survetugevuse katsel kasutati Eesti standardit EVS-EN 12390-3:2009 „Kivistunud betooni katsetamine- Katsekehade survetugevus“. Koormamiskiirus pidi jääma vahemikku $0,6 \pm 0,2$ MPa/s ($\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{s}$). Pärast algkoormuse rakendamist, lisati katsekehale koormust ühtlaselt ja suurendati pidevalt valitud konstantse kiirusega $\pm 10\%$. Maksimaalne koormusnäit registreeriti kilonjuutonites (kN).

Survetugevus arvutati valemiga 2 [55]:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2)$$

kus

f_c survetugevus, N/mm^2

F suurim vertikaalkoormus, N

A_c katsekeha ristlõikepind, millele survejõud mõjub, mm^2

3. HOONE EHITUS

3.1 Arhitektuurne osa

Klaaspudelhoone asukoha valikul arvestati autori kodus olevate hoonete paiknemist ning ümberkaudset loodust. Asendiplaan, millel kujutatakse klaaspudelhoone asukoht, on esitatud graafilises osas 1. Hoone arhitektuurilise idee aluseks oli rajada loodusesse sobiv ümara vormiga ühekorruseline aia-grillhoone. Klaaspudelhoone vaated idast, läänest, põhjast ja lõunast on esitatud graafilises osas 4-7.

Klaaspudelhoone seinad laoti klaaspudelitest ning sidusaineks kasutati tsemendisegu. Katus ehitati lehvikukujulise kalkkatusena, mille pealiskate on rehviribadest. Hoonel puudub vahelagi. Hoone siseruumi pind on 7,10 m². Välistrepi madame pind on 1,40 m².

3.1.1 Välisviimistlus

Klaaspudelhoone välisfassaadi viimistluse moodustavad segust puhastatud seintes paiknevate pudelite põhjad. Välisseina üle ei krohvitud ega viimistletud teiste seinakattematerjalidega. Seinad ei soojustatud. Hoone sokkel krohviti krohvisseguga. Hoone ette rajatud trepimade on betoonmoodulist.

Väljapoole jäävad puitkonstruktsioonid lihviti, puhastati tolmust ning töödeldi puidukaitsevahendiga Pinotex. Katusekattematerjalina kasutati vanarehvidest lõigatud muustrilise osa ribasid.

3.1.2 Siseviimistlus

Hoone sisse jäänud klaaspudelite kaelad puhastati tsemendisegust. Teisi seinakattematerjale, näiteks krohvi, ei kasutatud. Vastasel juhul oleks kadunud valgusefekt. Lisas 5 on esitatud valgusefekti illustreeriv joonis.

Hoone sees olevate katuse kandepostide külge kinnitati 500 mm kõrgusele põrandast tugevdustega metallnurgad. Metallnurdade peale kinnitati 22 x 150 mm lihvitud laudad, millest moodustusid seinad äärde istumiskohad.

Põrand laoti kasutatud tellistest. Telliste vahed täideti paekivisõelmetega. Hoonel puudub vahelagi, mistõttu katuse roovid on ruumi seest nähtavad.

3.1.3 Avatäited

Avatäideteks kasutati kahte ümarat klaaspakett-praakakent läbimõõduga Ø 345 mm ning kahte ümarat pesumasina klaasust läbimõõduga Ø 270 mm (klaasi paksus 6 mm). Praakaknad olid raamideta ning väikeste iluvigadega (täkked, liimijäljed, ühel mõra). Aknad paigutati seina pudelite ladumise ajal. Pesumasina klaasustel oli lai äär, mida kasutati ära pudelite toetuspinnana. Klaaspakett-praakakendele ülemise pudelääre ladumisel kasutati toetavaid teraslehest metallraame (70 x 300 x 2 mm). Metallraame pärast tsemendisegu kuivamist seinast ei eemaldatud.

Välisusteks kasutati kahte väljapoole avanevat kuue ristküliku kujulise aknaga puitust. Uksed puhastati õlivärvikihist ning töödeldi Pinotex puidukaitsevahendiga. Uste mõõtmeteks kokku oli 1400 x 2000 mm (ühe ukse mõõtmed 700 x 2000 mm).

3.2 Konstruktiivne osa

3.2.1 Tehnilised näitajad

Krundi sihtotstarve	Maatulundusmaa 100%
Hoonete arv krundil	8
Hoone korruselisus	1
Hoone ehitusalune pind	10,50 m ²
Hoone suletud netopind	7,10 m ²
Hoone kubatuur kokku	16,30 m ³
Hoone kasulik pind	7,10 m ²
Krundi täisehituse protsent	0,21%
s.h täisehituse protsent õuemaast	18%
Hoone eluiga	50 aastat

3.2.2 Vundament ja sokkel

Seina aluse kandekonstruktsiooni rajamiseks eemaldati kasvupinnas ning liiv-savipinnas kuni 450 mm sügavusele maapinnast. Vundamendi süvendi põhja paigaldati 100 mm paksune paekivisõelmete kiht (fraktsioon 0- 8 mm), mis tihendati vibromehhanismiga. Madal lintvundament (joonis 3.1) rajati 500 mm laiuse vahega raketiste vahele 0-

tasapinnast hoone eesosas umbes 350 mm ja tagaosas umbes 200 mm sügavusele maapinnast. Vundamendi plaan on esitatud graafilises osas 2.

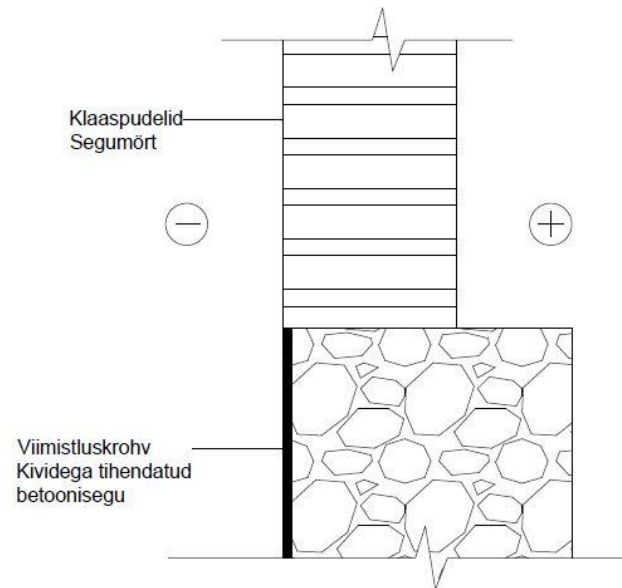


Joonis 3.1 Raketiste vahele rajatud vundament (Foto: Triin Tõnisson)

Betooniseguna kasutati kuivbetooni Sakret BE25. Betoonisegu tihendati maakivide ja muu kiviklibuga 34:5:1 (täitematerjal: betoon: vesi). Valu siluti pealt kelluga. Hoone vundament rajati 2013. aasta suvel, ehitus jätkus 2014. aasta kevadel tänu SA Eesti Teadusagentuuri rahastusele. Talveks kaeti vundament kilega.

Hoone ees olev trepimade rajati pärast seinte ehitamist. Trepimademe rajamiseks eemaldati kasvupinnas ning liiva-savipinnas 250 mm sügavusele maapinnast. Süvendi põhja paigaldati 100 mm paksune kiht paekivisõelmeid (fraktsioonis 0- 8 mm), mis tihendati vee ja isevalmistatud tampnuiaga. Trepimade rajati 1400x 1000 mm mõõtmetega raketise vahele 150 mm kõrgusele maapinnast. Betooniseguna kasutati sama kuivbetooni, mis vundamendi rajamisel- Sakret BE25. Trepimademe valu tihendati samuti maakivide ja muu kiviklibuga 34:5:1 (täitematerjal: betoon: vesi). Valu siluti puidust lauaga tasaseks.

Sokli kõrgus maapinnast hoone eesosas on 150 mm ja tagaosas 300 mm. Sokli krohvimiseks puhastati sokli osa seina ladumisel kukkunud segu tükkidest ning tolmust. Sokli pinda niisutati eelnevalt veega. Sokkel krohviti krohvi-müüriseguga Sakret ZM 10, umbes 15 mm kihiga. Sokli vertikaal-lõige on esitatud järgneval joonisel (joonis 3.2).



Joonis 3.2 Sokli vertikaal-lõige

3.2.3 Sein

Klaaspudelhoone sein toormaterjal valmistati ette eelnevalt pudelitelt korkide ning pudelikaelal oleva fooliumi või metallvõrude eemaldamisega. Pudeleid pesti seest ja väljast eemaldades nendelt alkoholijäägid ning pabersildid.

Seina sidusmaterjalina kasutati Sakret ZM 10 tsemendisegu vahekorras 4:1 (tsement: vesi). Seina püstitamiseks paigaldati katuse tugipostid metallnurkadega vundamendile 300 mm kaugusele vundamendi välisäärest. Seina sidumine vundamendiga on esitatud graafilises osas 3. Seina püstitamisel paigutati klaaspudelid horisontaalselt (joonis 3.3), pudelikaelad suunaga hoone sissepoole.



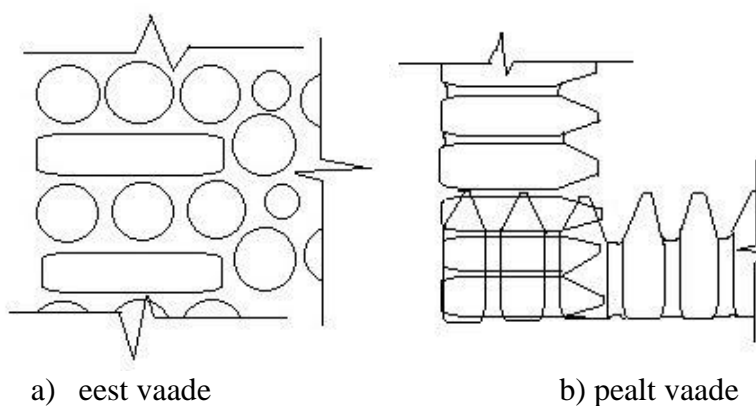
a) pealt vaade b) eest vaade

Joonis 3.3 Klaaspudelhoone pudelitest sein a) ja b) (Foto: Triin Tõnisson)

Pudelseina ladumise alustamisel kaeti vundamendi pind umbes 10 mm paksuse segupadjaga, millesse suruti esimene kiht pudeleid horisontaalselt vundamendiga, pudelipõhjad suunaga hoonest väljapoole. Iga järgmise rea pudeleid jäid ladumisel eelmiste vahekohtadele. Klaaspudelite vahed täideti seguga ning tihendati kellu servaga. Klaaspudeli perimeeter kaeti vähemalt 10 mm seguga. Pudelipõhjade vahelised vuugid puhastati käega üleliigsest segust ning siluti. Maksimaalselt laoti korraga neli pudelirida (päevas), kuna laotud osa vajas kuivamisega.

Seina ladumisel valiti pudeleid juhuslikult, ei lähtunud klaasivärvusest ega kujust. Klaaspudelseina ladumisel kasutati alates 54 mm kuni 110 mm läbimõduga pudeleid. Ehitamiseks kulus kokku umbes 3500 klaaspudelit. Kokku oli 25 pudelirida, ühes pudelireas oli umbes 130 pudelit. Domineerivaks pudelikujuks oli ümarvorm. Koguseliselt jagunesid läbipaistvad ja värvilised klaaspudelikujud võrdseks.

Hoone põhiplaan on poolringi kujuline, tekkis sirge esiseina ja poolkaares seina ristumisel nurk. Seina nurgad laoti ristladumisega (joonis 3.4).



Joonis 3.4 Klaaspudelseina nurga ristseose skeemid a) ja b)

Esiseina poolt nägi ristladumine välja järgnev – esimene pudelirida laoti kuni nurgani pudelipõhjad väljapoole. Teises reas ei laotud pudeleid lõpuni välja, kolm pudelit enne lõppu keerati pudel risti ning jätkati ladumist poolkaares seina mööda. Sellise ladumisviisiga tekitati hoone nurkadesse ristseos.

Lõppviimistlusena teostati seguga vuugi parandused. Välisseinas olevad pudelipõhjad ja hoone sees olevad pudelikaelad puhastati messingtraadist koonus- otsharjadega (Ø 50 mm

ja Ø 25 mm) segust. Klaaspudelhoone ehitusest järele jäänud pudelid viidi lähimasse segapakendikonteinerisse.

3.2.4 Katus

Klaaspudelhoonele ehitati lehvikukujuline kaldkatus. Katuse kalded erinevad sektsioonide kaupa 22° kuni 35° kaldeni (graafiline osa 10). Katuse pindala kokku oli 18,3 m² (hoone kohale jääv osa 15,6 m² ja trepimademe kohale jääv osa 2,7 m²).

Katusekattena kasutatud rehviribad valmistati eelnevalt ette. Rehvidelt lõigati küljed ning külgede eemaldamisega saadud muustrilist osa kasutati katusekattena.

Katuse kandetarindina kasutati sarikaid ristlõikega 50 x 150 mm, mis toetuvad 70 x 150 mm ristlõikega postidele. Sarikad ulatuvad 400 mm üle seina. Katuse konstruktsioon on esitatud graafilises osas 9. Roovitisena (joonis 3.5) kasutati 25 x 50 mm puitlippe, mis paigutati tihedalt üksteise vastu.



Joonis 3.5 Katuse roovitise osa (Foto: Triin Tõnisson)

Roovitis kinnitati 65 mm pikkuste naeltega sarikate külge. Roovitis kaeti katuse aluskattega, mis kinnitati 7 x 30 mm distantslüüstuga. Aluskatteks kasutati Eurovent Maxi SK hingavat veekindlat aluskatet (kõrge auru läbilaskevõimega 3000 g/m²/24h). Katuse pindtarindina kasutati vanarehvidest lõigatud muustrilise poole ribasid (joonis 3.6).



Joonis 3.6 Rehviribade paigutus katusel (Foto: Triin Tõnisson)

Rehviribade laiuks oli peamiselt 200 mm ning paksuseks 10 mm. Pikkus lõigati vastavalt paigutusvajadusele parajaks metallilõikekettaga. Ribad kinnitati suruõhu jõul töötava naelapüstoli 2,9 x 75 mm naeltega, vähemalt 100 mm tihedusega rehvi servas. Katusekatte paigaldamist alustati katuse alumisest servast. Esimese rehviriba serv ulatus üle roovi otste 50 mm, moodustades räästas veenina. Järgnev riba asetati 50 mm ülekattega eelmise peal ning kinnitati taaskord alumisest servast ehk nael läbistas kahte rehvi kihti korraga. Paigutuselt iga järgmine rehviriba moodustas ülekatte 50 mm ulatuses eelmiselt ribalt. Katusekatte paigaldamisel liiguti sektsioonide kaupa katuse alt äärest kuni katuse harjani. Järgmise sektsiooni teostamisel moodustas rehviriba ots ülekatte 75 mm ulatuses eelmise otsa pealt.

Seintest üle ulatuvatele sarikatele ehitati tuulekastid. Sarika otsa paigaldati 22 x 150 mm laud ning tuulekasti rajamiseks kasutati 25 x 50 mm puitlippe. Puitlippide vahele jäeti 5 mm laiune tuulutuspilu. Hoone planeeriti pideva küttega, mistõttu katusel puudub soojustus.

Trepimademe kohale rajati varikatus, mille kandetarindina kasutati sarikaid ristlõikega 50 x 150 mm, mis toetuvad kahele 70 x 150 mm ristlõikega postile. Postid kinnitati 50 x 50 x 40 x 2,0 mm metallnurkadega betoonmooduslist trepimademe välisnurkadesse. Varikatuse pindtarindi konstrueerimisel kasutati samal viisil materjale ning meetodikat, mis ülejäänud katuse puhul.

Kokku kulus terve katuse ehituseks 90 rehvi. Katuse ehitusel kasutatud rehviribadeks lõigatud rehvide küljed ning mustrilise osa ülejäägid viidi lähimasse keskkonnajaama.

3.2.5 Põrand

Põranda rajamiseks eemaldati kasvupinnas kuni liiva-savi pinnaseni. Süvendi põhja paigaldati 150 mm paksune kiht paekivisõelmeid (fraktsioonis 0- 8 mm), mis tihendati vee ning isevalmistatud tampnuiaga. Põranda valmistamiseks kasutati müüritisel kasutusel olnud ja puhastatud terveid punaseid telliseid (joonis 3.7).



Joonis 3.7 Põranda rajamisel kasutati punaseid telliseid (Foto: Triin Tõnisson)

Kivid laoti põrandal diagonaalselt. Telliste vahed täideti paekivisõelmetega.

3.3 Elektri-, vee-, kanalisatsiooni- ja küttesüsteem ning ventilatsioon

Hoonet ei ühendatud elektrivõrguga. Vee- ja kanalisatsioonisüsteem ei ole antud hoones vajalik.

Hoonesse kavandatakse tahkeküttel (puit) baseeruv tulease. Tekkiv suits juhitakse välja tuleaseme kohale paigutatud äratõmbe kubust ja korstnast. Kostna osa koosneb roostevabast terasest sisetorust, mis on ümbritsetud keraamilise kiuga mineraalvilla isolatsioonikihist. Katuse tulepüsivuse kindlustamiseks rehvidest läbiviigul isoleeritakse sisetoru vähemalt 90 mm paksuse ning 250 mm kõrguse tulekindla isolatsiooniga. Läbiviik kaetakse metallist kattedkraega. Isolatsioonikihi kaitseks paigaldatakse roostevabast terasest väliskest. Korstna kõrguseks katuse pinnalt on 1200 mm.

3.4 Ehitusmaterjalide kirjeldus- omadused

3.4.1 Betoonsegu

Vundamendi rajamisel kasutati kuivbetooni Sakret BE25. Toote vastavussertifikaadi number oli 1327-BPD-0596 ning toode vastab Eesti standardile EVS- EN 13813:2005. Sakret BE25 kuulub survetugevusklassi C25/ 30 ning tuletundlikkuse klassi A1 [56].

Keskmine survetugevus	40 N/mm ²
Tuletundlikkus	mitte põlev

Seina püstitamisel kasutati müürisegu Sakret ZM10. Toote vastavussertifikaadi number oli 1327-BPD-0589 ning toode vastab Eesti standardile EVS- EN 998-2:2010. Sakret ZM10 kuulub survetugevusklassi M10, tuletundlikkuse klassi A1 ning külmakindlusklassi F₅₀ [57].

Veeauru läbilaskvus	μ15/35
Soojuserijuhtivus	λ ₁₀ ≤1,17 W/(m*K), P=50%
	λ ₁₀ ≤1,28 W/(m*K), P=90%
Keskmine survetugevus	10 N/mm ²

3.4.2 Saematerjal

Konstruksioonide valmistamisel (roovitis, postid, sarikad) kasutati saematerjali, mis vastas puidu tugevusklassile C22.

3.4.3 Kinnitusvahendid

Puitkonstruktsioonide kinnitamisel kasutati tsingitud puidukruvisid 5,0 x 50 mm; 5,0 x 70 mm ja 5,0 x 120 mm.

Katusekattmaterjalina kasutatud rehviribad kinnitati 2,9 x 75 mm naelapüstoli naeletega.

4. TULEMUSED

4.1 Hoone ehitus

Hoone ehitusel osales kokku 37 inimest. Klaaspudelhoone rajamiseks kulus kokku 380 töötundi. Hoone rajamiseks läbitud etappide ajakulu on esitatud tabelis 4.1.

Tabel 4.1 Hoone rajamise ajakulu

Hoone rajamise etapid	Etapi täitmiseks kulunud töötunnid, h
Projekteerimine	25
Klaaspudelite transport	64
Ehitusmaterjalide ja -tarvikute transport	15
Vundamendi ja trepimademe rajamine: <ul style="list-style-type: none">• süvendi kaevamine• süvendi põhja paekivisõelmetega täitmine ja tihendamine• raketiste ehitus ning betooni valamine• sokli krohvimine	Kokku 54 20 5 24 5
Seina ehitus: <ul style="list-style-type: none">• katuse kandepostide paigaldamine• pudelite pesemine• klaaspudelseina ladumine• pudelikaelte ja -põhjade puhastus	Kokku 84 4 25 35 20
Katuse ehitus: <ul style="list-style-type: none">• rehviribade ettevalmistus• sarikate paigaldamine• roovitise paigaldamine• aluskatte + distantssliistude paigaldamine• rehviribade paigaldamine• tuulekastide rajamine	Kokku 100 16 12 24 2 36 10
Põranda rajamine: <ul style="list-style-type: none">• kasvupinnase eemaldamine• aluse paekivisõelmetega täitmine ja tihendamine• telliste ladumine alusele• telliste vahede täitmine paekivisõelmetega ja tihendamine	Kokku 22 4 8 8 2
Avatäidete + puidukonstruktsioonide viimistlus	16
Kokku	380

Klaaspudelhoone ehitus oli aeganõudev ja töömahukas, kuna kogu töö teostati käsitööna. Vundamendi rajamisel oli raskeimaks osaks vundamendi süvendi käsitsi kaevamine ning betooni tihendamiseks vaja minevate kivide kohale toomine.

Klaaspudelhoone sein ehituseks kulus umbes 3500 pudelit, nende puhastamine ja pesemine oli aeganõudev tegevus (üks inimene pesi ning puhastas ühes tunnis maksimaalselt 45 pudelit). Kiiremini edenes töö juhul, kui pesijateks oli korraga vähemalt neli inimest (nelja pesijaga maksimaalselt 180 pudelit tunnis). Nelja pesijaga oli võimalik tagada piisav kogus pudeleid ladumiseks kahele ladujale. Ühe pudeli rea ladumiseks kulus ühel inimesel kaks tundi. Selle aja sisse ei ole arvestatud segu valmistamist ega pudelite pesemist. Maksimaalselt töötas korraga hoone sein ehitamisel üheksa inimest. Sel juhul laoti neli pudelirida (ühe päeva jagu) nelja tunniga.

Klaaspudelhoone ehitamisel kasutati nii palju taaskasutatavat kui ka korduvkasutatavat ehitusmaterjali kui võimalik – vundamendi täitematerjalina kasutati lammutamisel tekkinud kiviklibu, põranda rajamisel varasemalt müüritises kasutusel olnud punaseid telliseid, sein ehitusel pandita klaastarad ning katusekattematerjalina rehviribasid. Avatäideteks kasutati aknana kahte pesumasina ust ning kahte praak pakettakent. Ustena kasutati teises hoones kasutusel olnud uksi. Samuti kõik puitkonstruktsioonid ei valmistatud uuest puidust, vaid kasutati varasemalt mujal ehituses kasutusel olnud puitu.

Klaaspudelhoone sein ehitusel tekkis olukordi, kus sein muutus kumeraks või nõgusaks. Selle vältimiseks tuli pudeleid vastavalt sisse või väljapoole suruda, et sein pind ühtlasemaks muutuks. Sein pinna ühtlustamiseks kasutati loodi, kuid kuna ehitusel osales korraga mitu inimest, ei suudetud kõiki nõgusaid või kumeraid kohti jälgida ning sein pinda ühtlustada. Tööde teostamiste ajal ei olnud kindlaks määratletud ühte isikut, kes vastutab loodimistöde eest.

Pudelseina nurkade ladumisel tuli jälgida, et ühesuurused pudelid oleksid valitud ristladumiseks. Erinevate suuruste ning kujuga pudelite kasutamisel hakkas hoone nurk lainetama.

Katuse ehitamise keerulisemaks osaks oli sarikate jaotamine sektsioonideks ning kinnitamine koondumispunkti. Kõiki sarikaid ei saanud kinnitada koondumispunkti, kuna vastasel juhul oleksid sarikate otsad kiiljaks muutunud. Esimese ja neljanda sarika vahele

kinnitati risti katusetala, mille külge kinnitati kolm sarikat. Sama tehti peegelpildis teise poolega. Sarikate peale löödi roovitis 25 mm laiustest puitlippidest. Töö oli mahukas ning aeganõudev.

Katusekattematerjalina kasutati vanarehvidest lõigatud mustrilise osa ribasid. Rehvide külgede lõikamine noaga oli kergesti teostatav. Lõikamisel tuli jälgida, et eemaldatav serv oleks sirge ega muutuks sakiliseks. Vastasel juhul oleks rehviribade paigaldamisel ülekatte osa jäänud ebahütlane. Lõikamisel saadud mustrilise osa ring lõigati pooleks ketaslõikuri metallilõikekettaga, kuna rehvi sees asetsevate traadikoordide tõttu ei olnud võimalik seda noaga lõigata. Parimaks metallilõikekettaks rehvi lõikamisel oli 2-3 mm paksune ketas. Peenema ketta puhul oli ketta kulum suurem. Ketaslõikuriga lõikamisel eraldus kummipuru ning kirbet kummitossu. Lõikamisel kasutati respiraatorit ning kaitseprille.

Algselt plaaniti kinnitada rehviribad katusekruvidega, kuid see oleks olnud aeganõudev ning vajanuks augu ettepuurimist läbi kahe rehviriba. Seetõttu otsustati võtta kasutusele kompressoriga töötav naelapüstol, mis tagas piisava jõu surumaks naela läbi kahe rehvikihhi.

4.1.1 Tulude- kulude aruanne

Klaaspudelhoone tuludeks (tabel 4.2) kokku oli 1785,42 eurot, arvestades SA Eesti Teadusagentuuri (ETAg) poolt rahastuse saanud projekti tulu, kaasfinantseeringuid, omafinantseeringut ning annetuse saadud ehitusmaterjali rahalist väärtust.

Tabel 4.2 Projekti tulude osa

Tulud	eurot, €
ETAg	1304,00
Kaasfin.	300,00
Omafin.	93,42
Annetusena saadud	88,00
Kokku	1785,42

Imavere Vallavalitsus toetas klaaspudelhoone projekti 100 euroga ning MTÜ Imavere Sotsiaalkapitali heategevusfond Nutikad Lapsed 200 euroga, mis kulus materjalide (klaaspudelite) kogumise transpordile. Kogumisega tegeleti alates 2013. aasta kevadest.

Sakret OÜ annetas ühe tonni tsemendisega klaaspudelhoone ehitust 2013. aasta suvel, mis kulus vundamendi rajamiseks. Annetus arvestati ümber, ehitustarvete kaupluse Espaki hindu arvestades, rahalisse väärtusesse (88 eurot).

2014. aasta kevadel toetas Haridus- ja Teadusministeerium ning SA Eesti Teadusagentuur (ETAg) läbi teaduse populariseerimise projektikonkursi klaaspudelhoone ehitust 1304 euroga.

Klaaspudelhoone ehituse kulude (tabel 4.3) arvestamisel lähtuti SA Eesti Teadusagentuuri projekti rahastusest kulunud ning oma –ja kaasfinantseeringu kulusi.

Tabel 4.3 Klaaspudelhoone ehituse kulud

Kulu liik	ETAg'i taotluses esitatud eelarve, €	ETAg'i antud toetusest kulunud, €	Oma ja kaasfin., €	Täiendav/selgitav informatsioon
Pudelite kogumise transpordikulu, alates 2013. aasta kevadest	-	-	373,42	Imavere VV+ Nutikad lapsed+ omafin.
Ehitusmaterjalide ja tarvikute soetamise kulu	829,00	539,9	88,00*	ETAg+ Sakret OÜ
Vabatahtlike abiliste transport ja toitlustus	325,00	327,16	-	Õpilasmaleva, noortekeskuse noorte ning vabatahtlike laagri transport ning toitlustus osalemiseks ehitusel
Kulud avamisel	150,00	150,00**	20,00	Hoone avamine kavandati 2015. aasta juuni lõppu
KULUD KOKKU	1 304,00	1017,06	481,42	

*Kui Sakret OÜ poolt saadud tonn tsemendisega arvestada ümber rahalisse väärtusesse (arvestades ehitustarvete kaupluse Espak hindu).

** Hoone avamine on kavandatud 2015. aasta juuniku lõppu. Kulude aruandes määrati tabelis antud rida täidetuks.

Eesti Teadusagentuuri poolt antud toetuse kulumiks on 1017,06 eurot. Kogu kulumiks, arvestades juurde oma- ja kaasfinantseering, on 1498,48 eurot.

SA Eesti Teadusagentuurile esitati eelarve muudatuse taotlus projektis kasutamata vahendite osas. Eelarve muudatus kataks osaliselt klaaspudelhoone terviklahenduse – tuleaseme, kubu ja korstna soetamise kulud. Terviklahendus võimaldaks klaaspudelhoonet kasutada aia-grillmajana.

4.1.2 Teaduse populariseerimise projekti täitmine

Teaduse populariseerimise projekti tegevuskava ajaline täitmine ei kulgenud plaanitult. Projekti tegevuskava on esitatud tabelis 4.4.

Tabel 4.4 Projekti tegevuskava

Projekti tegevused	Tegevuste detailsem kirjeldus	Väljund/ tulemus	Planeeritud kestvus	Tegelik kestvus
1	2	3	4	5
Sarnaste hoonete kohta info kogumine	Magistritöö kirjanduse ülevaate koostamine	Magistritöö esimeses peatükis antakse üldine ülevaade (12 lehekülge) klaaspudeli ja kasutatud rehvide mõjust keskkonnale ning taaskasutusvõimalustest nii maailmas kui Eestis, kirjeldatakse klaastaara ning vanarehvide kogumissüsteemi ning kogumist ja käitlemist reguleerivat seadusandlust Eestis.	märts- mai, 2014	2014. aasta november-2015. märts
Hoone projekteerimine	Hoone planeerimine ja graafilise osa koostamine	AutoCAD 2013 programmiga koostati 10 graafilist joonist (asendiplaan, vundamendi plaan, seina sidumine vundamendiga, hoone vaade idast, hoone vaade läänest, hoone vaade põhjast, hoone vaade lõunast, lõige A-A, katuse konstruktsioon, katuse plaan). Hoone planeeriti autori koju Järvamaale Imavere valda Laimetsa külla Pärna kinnistule.	märts- mai, 2014	2013. aasta kevad- 2014. juuli
Pandita klaastaara kogumine	Seina põhiehitusmaterjali kogumine	Pandita klaastaara kogumisega oli alustatud enne Eesti Teadusagentuuri projektist toetuse taotlemist. Kokku koguti umbes 6000 kange alkoholi pudelit.	märts- mai, 2014	2013. aasta veebruar-2014. mai
Infopäeva korraldamine	Projekti tutvustamine Imavere Põhikooli õpilastele	Infopäeval osales kokku 16 õpilast. Infopäeval tutvustati slaidiesitlusega projekti eesmärke ning kavandatava pudelhoone ehitust. Noortele toimus ka käeline tegevus.	mai 2014	05.mai 2014
Ehitusmaterjalide ja -tarvikute soetamine	Müürisegu, puidumaterjali, kinnitusvahendite, väiketööriistade soetamine	Ehitusmaterjalide ja -tarvikute soetamine toimus vastavalt vajadusele/ kulumisele. Ehituseks kulus kokku kolm tonni müürisegu.	mai- august, 2014	2014. aasta mai- 2015. mai
Noorte kaasamine ehitusprotsessi	Imavere õpilasmaleva, Imavere Noortekeskuse ning EstYes programmi raames Imaverre tulnud noorte kaasamine ehitusprotsessi	Kokku osales ehituses 25 noort. Noori kaasati klaaspudelhoone ehitusprotsessi 2014. aasta suvest sügiseni. Kuna 2014. aasta suve algus oli vihmane ja külm, nihkus ehitusprotsess septembrisse ja oktoobrisse. Peale talveperioodi lõppu jätkus ehitus 2015. aasta kevadel. Noori teavitati klaaspudelhoone ehitusest põhikoolis toimunud infopäeval. Imavere Noortekeskuse töötajad informeerisid noori projektist ning kasutati ka sotsiaalmeedia (<i>Facebook</i>) abi.	juuni- august, 2014	2014. aasta juuli- 2015. mai

1	2	3	4	5
Hoone ehitamine	Üldine ehitusprotsess (vundament, seinad, katus, põrand)	Kokku osales terves ehitusprotsessis 37 inimest. Üldiselt alustati ehitustegevust 2013. aasta suvel, mil rajati hoone vundament. Ehitus jätkus 2014. aasta juulist- 2015. aasta maini. Selle aja jooksul rajati rehviribadest katusega klaaspudelhoone, mille ehitusaluseks pinnaks on 10,5 m ² . Kokku kulus kogu ehitusprotsessile 380 töötundi.	Ei ole projektis eraldi reana esitatud	2013. aasta suvi- 2015. mai
Survekatsed	Katsetati seinakonstruktsioonis kasutatud materjalide taluvust survele	Kokku valmistati kuus katsekeha, mõõtmega 200 x 200 x 220 mm. Igas katsekehas oli kokku seitse klaaspudelit. Maksimaalseks survetugevuseks saadi 1,2 MPa ja minimaalseks 0,5 MPa.	Ei ole projektis eraldi reana esitatud	2015. aasta märts
Ehitusfüüsikaliste näitajate leidmine	Seina soojuskadude ning soojusjuhtivuse mõõtmine	Seina soojuskadusid analüüsiti termograafia abil. Termopilte tehti nii avatud kui suletud pudelite puhul. Avatud pudelikaela temperatuur on ligemale kolm korda väiksem kui suletult. Avatud pudeli puhul liigub soojus pudelisse ning läbi pudelipõhja hoonest välja. Soojusjuhtivuse mõõtmisel kasutati sensorplaati. Mõõtmine toimus seitsme ööpäeva jooksul. Parimaks U-arvu tulemuseks saadi väärtus 0,27 W/m ² K, halvimaks 1,87 W/m ² K.	september-detsember, 2014	2015. aasta märts ja aprill
Magistritöö koostamine	Kirjanduse ülevaate, praktilise töö ning uurimiste kirjeldus	Magistritöö koosneb sissejuhatausest, viiest peatükist, kokkuvõttest, tänu osast, lisadest ning graafilisest osast. Kokku 91 lehekülge.	september-detsember, 2014	2014. aasta november-2015. mai
Hoone avamine	Toetajate, abistajate ja teiste osaliste tänamine	Hoone avamine ning tutvustamine kogukonnale ja laiemale üldsusele planeeriti pärast autori Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži lõpetamist. Klaaspudelhoone toetajaid ja ehituses osalenuid (arvuliselt ~100 inimest) tänatakse hoone avamispäeval.	2015. kevad	2015. aasta juuni

2014. aasta märtsist maini jätkus pudelhoone materjali kogumine. Samal ajal toimus koostöö Imavere Avatud Noortekeskusega, kus teavitati noori antud projektist. 05.05.2014 toimus Imavere Põhikoolis teaduse populariseerimise projekti tutvustamine. Infopäeval osales kokku 16 õpilast. Infopäeval tutvustati slaidiesitlusega projekti eesmärke ning kavandatava pudelhoone ehitust. Samuti said noored võimaluse teha käelist tegevust. Nende ülesandeks oli meisterdada jogurtitopsidest, kohvipakkidest ja muust sellisest taaskasutatavast materjalist fantaasiaprototüüpe, mida võiks tulevikus kasutada. Näiteks taaskasutatavatest materjalidest valmistatud koduabiline- robot.

Ehitusmaterjalide ja -tarvikute soetamine toimus vastavalt vajadusele ja kulumisele. Ehitus sõltus olulisel määral ka ilmastikust, kuna näiteks seinade ladumisel vajab segumört kuivamist soodustavaid ilmastikuolusi. 2014. aasta suve algus oli vihmane ja külm, seetõttu lükkus ehitusprotsess sügisesse ning 2015. aasta kevadesse. Ehitusmaterjalide ja -tarvikute soetamine lükkus edasi kuni 2015. aasta kevadeni, kui ilmad võimaldasid ehitustegevuse jätkamist.

Noori kaasati klaaspudelhoone ehitusprotsessi 2014. aasta suvest sügiseni. Peale talveperioodi lõppu jätkus ehitus 2015. aasta kevadel. Ehituses osales kokku 37 inimest (neist 25 moodustasid vabatahtlikud noored). 2014. aasta sügisest kuni 2015. aasta kevadeni koguti materjale ning koostati magistritööd. Klaaspudelhoone avamine kavandati 2015. aasta juunikuul lõpu poole.

Projekti eelarve müüri segu rea koostamisel lähtuti ehitustarvete kaupluse Bauhof'i hindadest. Projekti tarvis vajalike materjalide soetamisel selgus, et ehitustarvete kaupluse Espaki hinnad olid peaaegu poole võrra soodsamad, kui esialgselt kavandatud 140 eurot tonni kohta. Seega vajaminev müüri segu osteti Espaki kauplusest.

Teaduse populariseerimise projekti eesmärgiks oli tutvustada klaaspudelite ning vanarehvide taaskasutusvõimalust klaaspudelhoone kontekstis. Klaaspudelhoone projekti kaasatud noored olid koostööaltid ning huvitatud ehitusprotsessis kaasalöömisest.

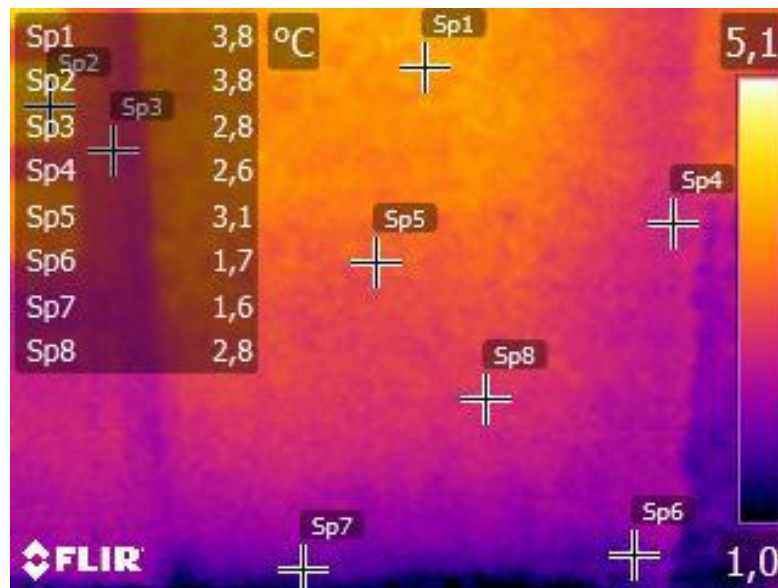
4.2 Hoone soojuskaod termokaameraga mõõtmisel

4.2.1 Välisfassaadi termoülevaatus

FLIR Tools programmi sisestati alltoodud parameetrid välisfassaadi termopiltide analüüsimisel:

- Kiirgustegur (*emissivity*) 0,95
- Peegeldunud temperatuur (*reflected apparent temperature*) +16 °C
- Mõõtmiskaugus (*distance*) 1 m
- Suhteline õhuniiskus väljas (*relative humidity*) 92 %
- Õhutemperatuur objekti ja kaamera vahel (*atmospheric temperature*) +4,4 °C
- Akna vm peegelduva objekti temperatuur (*external optical temperature*) +4 °C
- Läbilaskvustegur (*external optical transmittance*) 1,00

Esimene termopilt tehti hoone välisfassaadi põhjaküljest (joonis 4.1).

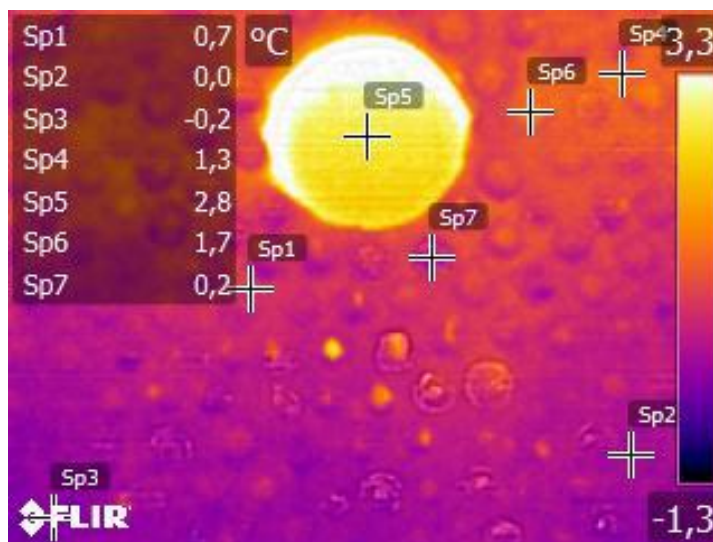


Joonis 4.1 Termopilt esiseina osast (Foto: Triin Tõnisson)

Esiseinas puuduvad aknaavad. Antud termopildiga jälgiti ainult pudelitest laotud seinosa. Termograafiliselt pildilt punkt Sp1 näitab seinapinna maksimumtemperatuuriks +3,8 °C. Punkt Sp2 näitab puitkoes oleva akna temperatuuri, milleks on +3,8 °C. Ja Sp3 võeti ukse puiduosalt, mis näitab +2,8 °C. Punkt Sp4 võeti ristsidusega laotud nurgalt, mis näitab temperatuuriks +2,6 °C. Punktid Sp5 ja Sp8 märgiti seinakeskosalt ning näitavad temperatuuriks vastavalt +3,1 °C ja +2,8 °C. Punktid Sp6 ja Sp7 võeti seinast ja vundamendi

liitumiskoha lähedalt ning neile vastavalt näitab temperatuur $+1,7^{\circ}\text{C}$ ja $+1,6^{\circ}\text{C}$. Antud seinosa puhul olid pudelid avatud ning soe õhk pääses hoone sees pudelisse.

Teine välisfassaadi termopilt tehti hoone lõuna küljest (joonis 4.2), kus osa seinast oli pudelikaelad korkidega suletud.



Joonis 4.2 Termopilt hoone lõuna külje osast (Foto: Triin Tõnisson)

Hoone lõuna küljes tehtud termopildile jäädvustati ka aknaava. Termograafiliselt pildilt punkt Sp1 võeti aknaava lähedalt, näidates temperatuuriks $+0,7^{\circ}\text{C}$. Punkt Sp4 näitab sein maksimumtemperatuuriks $+1,3^{\circ}\text{C}$. Punkt Sp5 näitab aknast kiirgavat soojust $+2,8^{\circ}\text{C}$. Punkt Sp2 näitab sein all osas temperatuuriks $+0^{\circ}\text{C}$ ning Sp3 $-0,2^{\circ}\text{C}$.

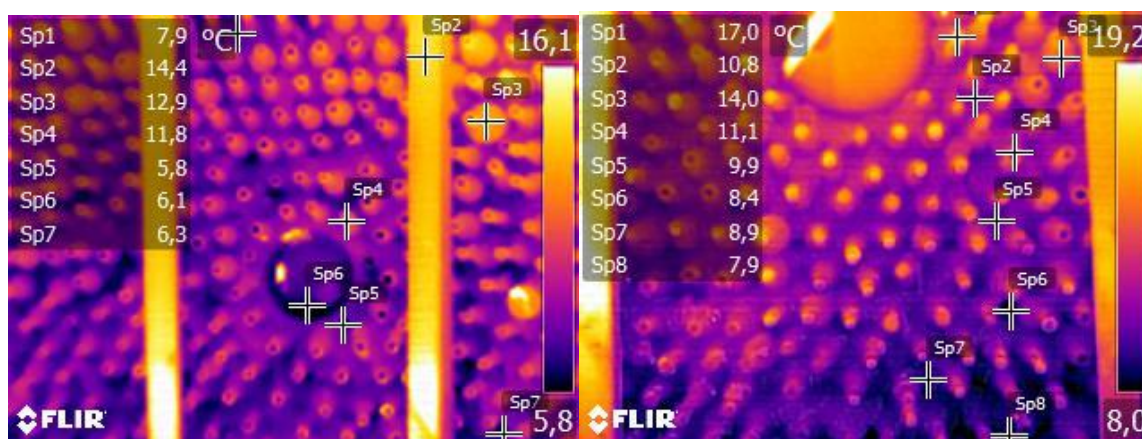
Antud sein osas olid hoone sees pudelikaelad suletud korkidega kuus pudelirida akna alt kuni aknaava keskosani. Võrreldes joonisega 4.1 on joonisel 4.2 näha väiksemaid soojuskadusid läbi sein – joonise 4.1 punkt Sp5 on ligikaudu samal kõrgusel kui joonisel 4.2 punkt Sp1 ning punkti Sp5 temperatuur on ligemale neli korda kõrgem kui punktil Sp1. Joonisel 4.2 tähistati punkt Sp6 kohas, kus pudelikael oli hoone sees avatud ning selle tulemusena oli temperatuuriks $+1,7^{\circ}\text{C}$. Seevastu punkt Sp7 märgistas kohta, kus pudelikael oli suletud hoone seest, mille tulemuseks oli $+0,2^{\circ}\text{C}$. Suletud pudelikael takistas sooja õhu sissevoolu pudelisse.

4.2.2 Siseruumi termoülevaatus

Siseruumi termopiltide analüüsimiseks sisestati FLIR Tools programmi alltoodud parameetrid:

- Kiirgustegur (*emissivity*) 0,95
- Peegeldunud temperatuur (*reflected apparent temperature*) +4,4 °C
- Mõõtmiskaugus (*distance*) 1 m
- Suhteline õhuniiskus hoones (*relative humidity*) 57 %
- Õhutemperatuur objekti ja kaamera vahel (*atmospheric temperature*) +16 °C
- Akna vm peegelduva objekti temperatuur (*external optical temperature*) +8 °C
- Läbilaskvustegur (*external optical transmittance*) 1,00

Siseruumist tehtud termopildid näitavad seina termograafiat nii avatud kui suletud pudelikaelte puhul (joonis 4.3).



a) avatud pudelikaelad

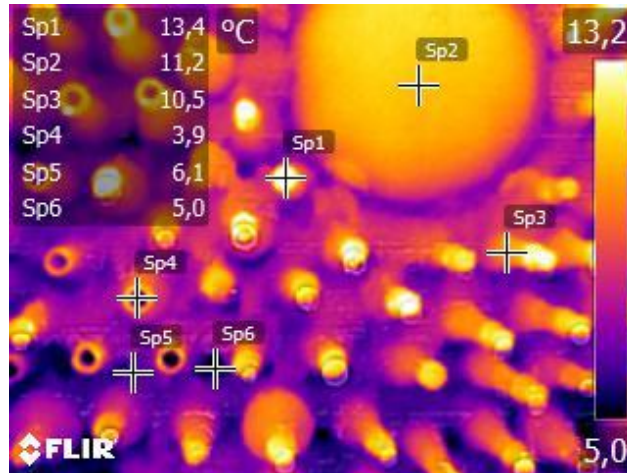
b) suletud pudelikaelad

Joonis 4.3 Termopildid siseruumist, a) ja b) (Fotod: Triin Tõnisson)

Klaaspudelite vahed ehk tsemendisegu ei ole piisavalt soojapidavad. Mida lähemale seina ja vundamendi liitekohale, seda tumedamaks muutub termopildi värv, see tähendab, et seda suurem on antud külmasild.

Vasakpoolsel pildil puuduvad pudelitel korgid, parempoolne pilt pildistati suletud pudeliavadega. Avatud pudelikaelad näitavad külma õhu sissevoolu. Termopilt näitab avatud pudelikaela pinna temperatuuriks 5,8 °C, suletud pudelikaelal aga 17 °C.

Joonisel 4.4 on korruga nii avatud kui suletud pudelikaelte termograafika.



Joonis 4.4 Avatud ja suletud pudelikaelte termograafika pilt (Foto: Triin Tõnisson)

Suletud pudelikaela termopilt (Sp1) näitab temperatuuriks 13,4°C, (Sp4) avatult 3,9°C. Avatud pudeli puhul on võimalik konvektiivne soojusülekanne, kuna õhk ja sellega koos soojus liigub pudelisse ning läbi õhukese pudelipõhja hoonest välja. Pudelite vahekohtade (tsemendisegu) minimaalseks temperatuuriks (Sp6) on 5°C. Hoone sein on ühekihiline (soojustuseta), seetõttu soojuskao läbi seinte on suured.

4.2.3 Temperatuuriindeksi arvutamine

Klaaspudelhoone sissepinna temperatuuriks mõõdeti keskmiselt +8°C, sisetemperatuuriks +16°C ja välistemperatuuriks +4,4°C. Temperatuuriindeksi leidmist iseloomustab sissepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuri omavaheline suhe (temperatuuriindeks üldandmete järgi), mille arvutamiseks kasutati valemit 1:

$$f_{Rsi} = \frac{8 - 4,4}{16 - 4,4} = \frac{3,6}{11,6} \approx 0,31$$

Arvutatud temperatuuriindeksiga hinnati hoone üldiste külmasildade kriitilisust juhul, kui sise- ja välistemperatuuri erinevus on 11,6 °C. Madala asustusega ja/või hea ventilatsiooniga elamu hallituse vältimise piirmääraks on 0,65, kondenseerumise vältimise piirmääraks aga 0,55. Tiheda asustusega ja/või halva ventilatsiooniga elamu hallituse vältimise piirmääraks on 0,8, kondenseerumise vältimise piirmääraks aga 0,7 [54].

Klaaspudelhoone puhul arvutatud temperatuuriindeks jääb alla piirsuuruste. Arvestada tuleb sellega, et klaaspudelhoonel puudub soojustus ning pidev kütmine. Seega kondensaadi või hallituse teke on vähetõenäoline.

Temperatuuriindeksi leidmiseks termograafiliste andmete järgi kasutati kolme alljärgnevat pinna punkte, mis võeti just tsemendisegu pinna osalt:

- 1) jooniselt 4.3 punkt Sp1 +7,9 °C
- 2) jooniselt 4.4 punkt Sp2 +10,8 °C
- 3) jooniselt 4.5 punkt Sp5 +6,1 °C

$$f_{Rsi1} = \frac{7,9 - 4,4}{16 - 4,4} = \frac{3,5}{11,6} \approx 0,30$$

$$f_{Rsi2} = \frac{10,8 - 4,4}{16 - 4,4} = \frac{6,2}{11,6} \approx 0,55$$

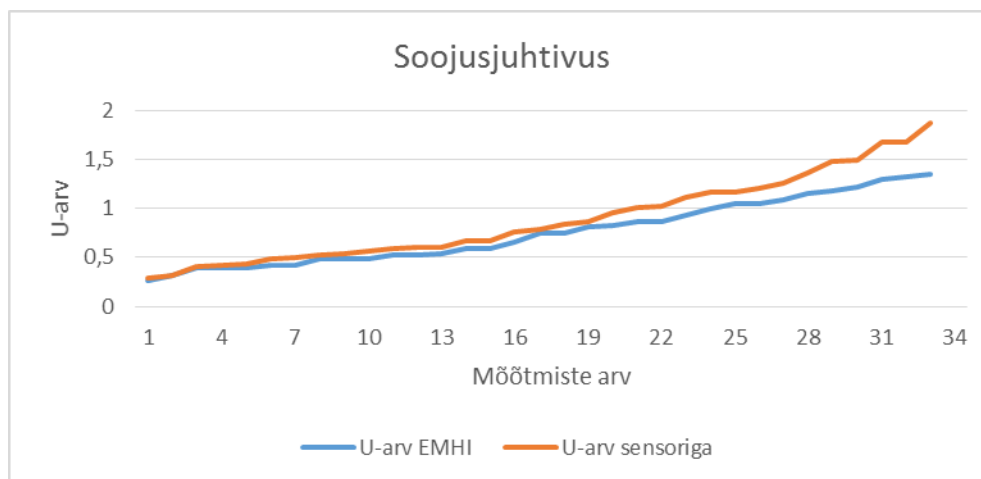
$$f_{Rsi3} = \frac{6,1 - 4,4}{16 - 4,4} = \frac{1,7}{11,6} \approx 0,15$$

Kolmest arvutatud punktist parima tulemuse andis joonise 4.4 punkt Sp2, mille temperatuuriindeksiks oli 0,55. Leitud tulemus ühtib madala asustusega elamu kondenseerumise vältimise piirmääraga. Joonisel 4.4 on pudeliavad suletud, selletõttu soojuste väljavool on väiksem. Soovides sarnast hoonet aastaringelt kasutada, tuleks suurendada müüri betooniosa soojapidavust.

4.3 Piirete soojusjuhtivuse mõõtmine

Analüüsis kasutatud koondtabel on lisas 6. Analüüsis arvestatud andmete järgi oli maksimaalseks hoone sisetemperatuuriks kütmise ajal +28,65 °C. Madalaimaks välistemperatuuriks EMHI andmetel +3,8 °C (samal ajal sensoriga mõõtmisel +5 °C).

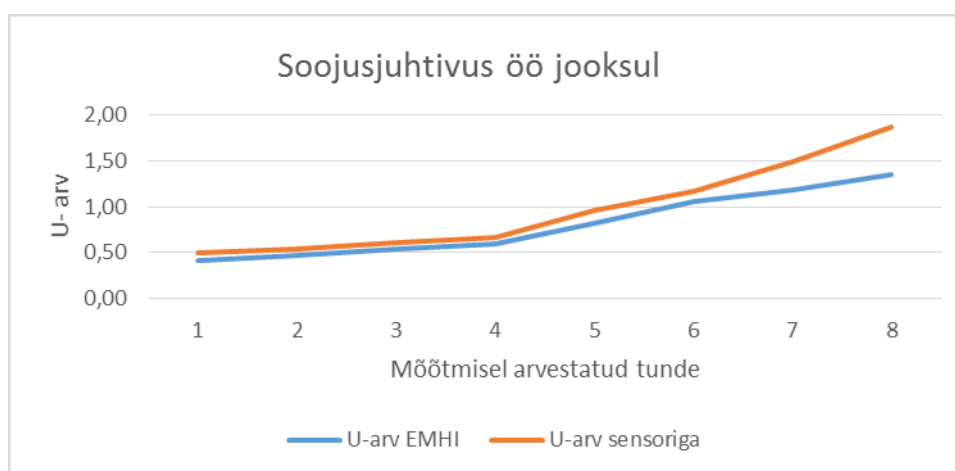
Mõõtmistulemuste analüüsimisel arvestati 33 mõõtmistulemust (joonis 4.5), mille välistemperatuurid olid leitavad ka EMHI andmetest.



Joonis 4.5 Mõõdetud soojusjuhtivuse graafik

Minimaalseks U- arvuks saadi EMHI välistemperatuuri andmeid arvestades 0,27 W/m²K, maksimaalseks 1,35 W/m²K. Keskmiseks U-arvuks 0,76 W/m²K. Minimaalseks U-arvuks soojusvoo sensoriga mõõdetud välistemperatuuri andmeid arvestades saadi 0,29 W/m²K ja maksimaalseks 1,87 W/m²K. Keskmiseks U-arvuks 0,89 W/m²K.

Kuna hoonesse paigutatud ajutist küttekeha köeti ainult õhtuti, arvestati öö jooksul soojusjuhtivuse dünaamika analüüsimisel kella 22.00 kuni kella 05.00 öösel salvestatud tulemusi (joonis 4.6).



Joonis 4.6 Salvestatud soojusjuhtivuse dünaamika kaheksa tunni jooksul

Jooniselt 4.6 on näha, et õhtuti on soojusvoog väiksem ning hommikuks see tõuseb. See on ilmselt tingitud sellest, et kütmisest tulenev soojus hajus hommikuks mööda hoonet ühtlaselt. Hommikupoolne sisetemperatuur on hoone kõigis avatud pudelites stabiilne.

Tabelis 4.5 on esitatud kaheksa tunni vältel mõõdetud tulemuste kaudu arvatud U- arvu vahemikud.

Tabel 4.5 U- arvu vahemikud kella aegade kaupa

Kellaeg	U- arvu vahemik, W/m ² K
22:00	0,39- 0,50
23:00	0,31- 0,53
00:00	0,40- 0,61
01:00	0,52- 0,67
02:00	0,65- 0,96
03:00	0,93- 1,21
04:00	1,09- 1,49
05:00	1,30- 1,87

Minimaalseks U- arvuks on 0,31 W/m²K, maksimaalseks aga 1,87 W/m²K. Tõenäolisemaks antud sein soojusjuhtivuseks on maksimaalne tulemus, kuna hommikupoolsemad andmed on stabiliseerunud ning vastavad reaalsusele.

Üldiste nõuete kohaselt ei tohi aga piirete soojusjuhtivus ületada väärtust 0,5 W/m²K. Vastasel juhul on vaja pöörata tähelepanu küttelehendusele. Mittelelamute välisseina piirete puhul on piirmääraks 0,15- 0,25 W/m²K [54].

4.4 Klaaspudelplukkide kandevõime survele

Klaaspudelpluki survekatsel purunesid pealmine ja keskmine pudelite rida (joonis 4.7), alumine jäi üldjuhul terveks.



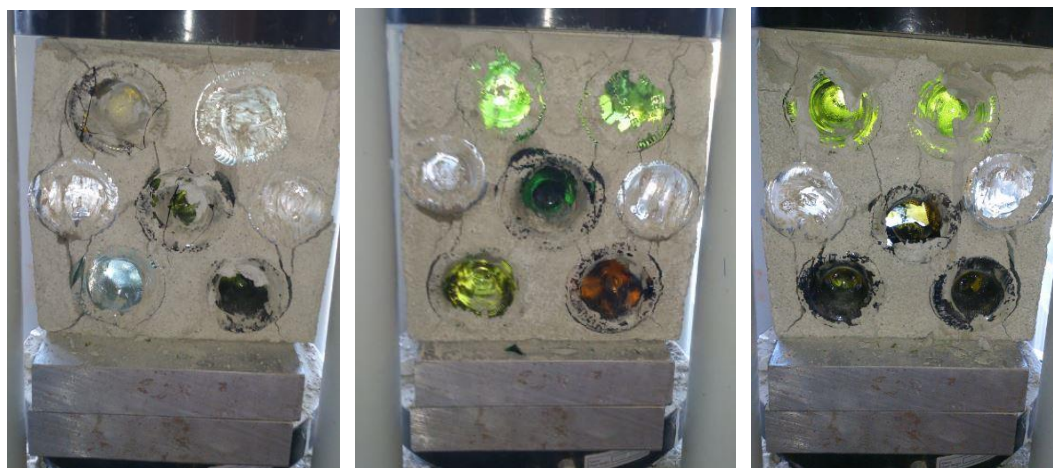
a) Katsekeha nr 1



b) Katsekeha nr 2



c) Katsekeha nr 3



d) Katsekeha nr 4

e) Katsekeha nr 5

f) Katsekeha nr 6

Joonis 4.7 Klaaspudelplokkide purunemispildid, a)- f) (Fotod: Triin Tõnisson)

Klaaspudelite sisaldus katsekehades vähendas oluliselt katsekehade vastupanuvõimet survele võrreldes kasutatud tsemendisegu survetugevusega (10 MPa). Surveseadmes katsetatud klaaspudelplokkide survetugevus on esitatud tabelis 4.6.

Tabel 4.6 Klaaspudelplokkide survetugevus

Katsekeha	Survepind A_c, mm^2	Maksimaalne koormusnäit F, N	Survetugevus $f_c, \text{N/mm}^2 = \text{MPa}$
1	37740	45900	1,2
2	38295	26100	0,7
3	37925	41200	1,1
4	37555	26800	0,7
5	37925	19500	0,5
6	38110	22,1	0,6

Väikseim tulemus oli $0,5 \text{ N/mm}^2$ ning suurim $1,2 \text{ N/mm}^2$. Katsekehade suurim survetugevus erines väikseimast üle kahe korra. Kuue klaaspudelploki katsekeha keskmiseks survetugevuseks oli $0,8 \text{ N/mm}^2$. Võttes võrdluseks Aeroc EcoTerm Plus ploki, mille survetugevus oli $1,8 \text{ N/mm}^2$ [62], on klaaspudelploki maksimum survetugevus $0,6 \text{ N/mm}^2$ võrra väiksem. Klaaspudelploki miinimum survetugev on üle kolme korra väiksem Aeroci plokist.

Erinevat värvi klaaspudelite kasutamine katsekehades tõi erinevaid tulemusi. Suurima survetugevusega plokk sisaldas kolme pruuni, kahte rohelist ning kahte läbipaistvat pudelit. Madalaima survetugevusega klaaspudelplokk sisaldas ühte pruuni, nelja rohelist

ning kahte läbipaistvat pudelit. Katsekehadel nr 1 ja nr 3, milles oli pealmises reas pruunid pudelid, oli mõõdetud survetugevus suurim võrreldes teiste plokkidega. Teistel plokkidel esines pealmises reas põhiliselt rohelist värvi pudelid. Erinevat värvi klaaspudelite sisaldus plokkidest on esitatud tabelis 4.7.

Tabel 4.7 Eri värvi klaaspudelite sisaldus katsekehades

Katsekeha	1	2	3	4	5	6
Värv						
Pruun	3	2	4	1	1	1
Roheline	2	2	1	2	4	4
Läbipaistev	2	3	2	4	2	2

Kuue katsekeha kohta kokku esines pruuni värvi pudeleid 12, rohelist 15 ja läbipaistvaid 15 korral. Katsekehade survekandevõime kõikumine oli tingitud eri värvi klaaspudelite klaasi paksuste erinevusest. Pruunil (veini) klaaspudelil oli klaasi paksus 2,5 mm, rohelistel (veini) 2,2 mm ja läbipaistval pudelil (veini, viina) 1,8 mm.

Klaaspudelhoone seina konstruktsioonis kasutati põhiliselt ka šampusepudeleid, kuid neid katsekehades ei rakendatud. Šampusepudeli läbimõõduks on 100 mm ning klaasi paksuseks on 3,2 mm. Nimetatud pudelid jäeti katsekehades kasutamata, kuna vastasel juhul oleks katsekeha suurus ületanud katsel kasutatud survemasina mahu mõõtmeid.

ARUTELU JA SOOVITUSED

Klaaspudelite kogumine ei olnud keeruline. Pooleteise aastaga koguti umbes 6000 kange alkoholi klaaspudelit. Tõenäoliselt oleks kogumine edenenuk kiiremini, kui laiemale üldsusele oleks esitatud üleskutse ning seejärel eraisikute käest materjali kogutud intensiivsemalt.

Klaaspudelhoone ehituseks kulus kokku 3500 pudelit, 90 rehvi, 3 tonni müüri segu (+1 tonn betoonisegu) ning 380 töötundi. Kõik ehitusetapid teostati käsitööna. Kiirendamiseks ehitusprotsessi tuleks leida mehhaniseeritud lahendusi näiteks vundamendi süvendi kaevamisel, pudelite pesemisel või katusekatteribade ettevalmistamisel. Lisaks on soovitatav puhastada klaaspudelite põhjad ning kaelad tsemendisegust ehituse ajal, kuna hilisemalt on tsemendisegu eemaldamine klaaspinnalt tülikas ning ajakulukas.

Soovitatav on ehitada mitme inimesega, sel juhul on ülesanded paremini jagatud. Sarnase hoone (10,5 m² ehitusaluse pinnaga) ehitamiseks oleks parim töötajate arv 4-5 inimest.

Näiteks:

- pudelipesija;
- segu valmistaja (aitab vajadusel pudelite pesijat);
- pudelite laduja(-d) (võib jaguneda kaheks- üks, kes segu kelluga pudelite vahele eelnevalt surub ning vajaliku kihi järgmise jaoks paneb; teine, kes pudelid paika sätib ja samal ajal pudelite vahelised vuugid puhastab üleliigsest segust);
- pudelite kätteandja.

Lisaks tuleks tööde teostamise ajal kindlaks määrata täpsed rollid. Näiteks, et ennetada seinu nõrgusaks või kumeraks muutumist, määrata kindel isik loodijaks.

Klaaspudelhoone rajamisel püüti kasutada nii palju taaskasutatavat materjali kui võimalik. Koguseliselt suurim ehitusmaterjal, mida tarniti poest, oli seinas kasutatud sidusmaterjal ehk tsemendisegu. Valmis müüri segu oleks soovitatav asendada järgmine kord looduslike materjalidega. Näiteks kasutada savi-tsemendisegu, savi-liiva-põhusegu või segada tsemendisegu paisutatud keramsiidiga (kergkruusaga). Samuti vundamendi rajamiseks kasutada näiteks pinnasega täidetud rehve nii nagu seda tehti *Earthship*'i (Maalaeva) puhul.

Antud hoone ehitusel kasutati ainult ühte ladumisviisi - horisontaalne pudelite paigutus. Ladudes vertikaalselt või luues klaaspudeltelliseid on võimalik suurendada seinas valgusefekti, kuna läbipaistev pind on suurem. Soovi korral oleks tulevikus võimalik katsetada ning uurida ehitusfüüsikalisi näitajaid nii vertikaalselt kui ka klaaspudeltellistest laotud seinapuhul.

Rehviribadest katuse puhul sulgeb lumekoormus ribade ülekatetel õhupilud. Õhupilude sulgemiseks ei kasutatud mastiksit ega silikooni. Ekstreemsemate ilmastikuolude kaitseks paigaldati katuse konstruktsiooni katusealuskate. Kuna katusekalle on suhteliselt väike, siis tugeva tuule ja vihmajärgi korral on oht, et vihmavesi võib tungida rehviribade ülekatete kohtadest katuse tarinditesse. Aluskate kaitseb tugikonstruktsioone kondensaadi, niiskuse ja vihmavee eest.

Ehitatud klaaspudelitest aia-grillmaja on planeeritud kasutada pideva küttega hoonena. Klaaspudelseina ja rehviribadest katust ei kaetud soojustuse või mõne teise katematerjaliga. Seinas tekkinud valgusefekt tagab hoones õdusa õhkkonna. Tulevikus on võimalik uurida seinas soojuskadusid ja soojusjuhtivust, kui sein rajatakse mitmekihilisena ning on olemas ka soojustus.

Hoone temperatuurindeks arvutati juhul, kui sise- ja välistemperatuuride erinevuseks on 11,6°C. Leitud temperatuurindeks (0,31) jääb vähemalt kaks korda alla piirväärtuse (0,65). Hoones hallituse ja kondenseerumise vältimiseks peaks arvutatud tulemus ületama piirväärtust. Antud hoone puhul tuleb arvestada sellega, et klaaspudelhoonel puudub soojustus ning pidev kütmine, mistõttu kondensaadi või hallituse teke on vähetõenäoline.

Magistritöö osas 4.2 on esitatud hoone soojakaod termokaameraga mõõtmisel. Termopiltidelt on näha, et korkidega suletud pudelite korral on soojuskaod väiksemad kui avatud pudelikaelte puhul. Avatud pudelitega on võimalik konvektiivne soojusülekanne, kuna õhk ja sellega koos soojus liigub pudelisse ning läbi õhukese pudelipõhja hoonest välja. Soojakaod läbi seinte on liiga suured, et sarnast soojustuseta hoonet kasutada aastaringseks elamiseks. Soojapidavuse suurendamiseks tuleks klaaspudelid täita näiteks ehitusvahuga (*makroflex*) või -villaga ning müüri betooniosa soojustada. Arvestada tuleb aga, et pudelite täitmisel kaob hoonesse tekkinud valgusefekt.

Klaaspudelhoone soojusjuhtivust mõõdeti sensorplaadiga. Minimaalseks U- arvuks saadi 0,31 W/m²K, maksimaalseks aga 1,87 W/m²K. Tõenäolisemaks antud seinasoojusjuhtivuseks oli maksimaalne soojusjuhtivusarv. Soojuse läbilaskvusvõimeks sel juhul oli 11-12 watti ruutmeetri kohta. Leitud tulemus ületab aga üldnõuete piirmäära (0,5 W/m²K) kolm kuni neli korda. Seinasoosjuhtivuse vähendamiseks oleks mõistlik hoone välispiire soojustada.

Lisaks katsetati seinakonstruktsioonis kasutatud materjalide survetugevust. Selleks valmistati kuus klaaspudelplokki, mis koosnesid seitsmest klaaspudelist. Väikseimaks survetugevuseks saadi 0,5 N/mm² ning suurimaks 1,2 N/mm². Eri paksusega klaaspudelite sisaldus katsekehades vähendas oluliselt katsekehade kandevõimet survele. Suurim survetugevus saadi, kui katsekeha sisaldas nii alumises kui ülemises reas pruuni värvi pudeleid, mille klaasi paksuseks oli 2,5 mm. Väiksema survetugevusega plokid sisaldasid rohkem läbipaistvaid pudeleid, mille klaasi paksuseks oli ainult 1,8 mm. Tulevikus võiks teostada katseid, kus katsekehades kasutatakse ka šampusepudeleid, mille klaasipaksuseks on 3,2 mm.

KOKKUVÕTE

Käesolevas magistritöös anti ülevaade klaaspudelite ja vanarehvide tekkekogustest Eesti jäätmemajanduses aastatel 2010-2013. Samuti käsitleti nende kogumist ja käitlemist reguleerivat seadusandlust Eestis. Töös kirjeldati klaaspudelite ning vanarehvide mõju keskkonnale, mis otseselt on olematu, kuna mõlemad materjalid on inertsed. Magistritöös esitati klaaspudelite ja rehvide erinevaid taaskasutusvõimalusi nii maailmas kui Eestis ning kirjeldati autori poolt rajatud klaaspudelhoone projekteerimist ja ehitamist.

Klaaspudelhoone seina ehituses kasutatud klaaspudeleid koguti kokku umbes 6000. Hoone ehitati ühekorruselisena, poolringi kujulise põhiplaaniga ning kasutusotstarbelt aia-grillhoonena. Rehviribadest katusega klaaspudelhoone rajamiseks kulus kokku umbes 3500 kange alkoholi pudelit, 90 vanarehvi ning 3 tonni müürisegu (+1 tonn betoonisegu). Töötunde kulus hoone projekteerimiseks, planeerimiseks, materjalide transpordiks, ja ettevalmistamiseks ning ehitamiseks kokku 380 ning kogumaksumuseks oli ligikaudu 1500 eurot.

Klaaspudelhoone näitel katsetati seina konstruktsioonis kasutatud materjalide tugevust survele. Klaaspudelite ning nende klaasi paksuste erinevus katsekehades mõjutas oluliselt katsekehade vastupanuvõimet survele. Suurima survetugevusega ($1,2 \text{ N/mm}^2 = 122 \text{ t/m}^2$) plokk sisaldas nii alumises kui ülemises reas pruuni värvi pudeleid, mille klaasi paksuseks oli 2,5 mm. Väikseima survetugevusega ($0,5 \text{ N/mm}^2 = 51 \text{ t/m}^2$) plokk sisaldas rohkem läbipaistvaid pudeleid, mille klaasi paksuseks oli ainult 1,8 mm.

Samuti uuriti klaaspudelhoone seinte soojuskadusid ning soojusjuhtivuse omadusi. Hoone soojuskadude mõõtmisel jälgiti nii suletud kui avatud pudelikaeltega seina osa. Termograafiliselt on korkidega suletud pudelite puhul soojuskaod väiksemad, kuid ei taga hoones piisavat soojapidavust aastaringseks elamiseks. Avatud pudelite puhul on võimalik konvektiivne soojusülekanne, kuna õhk ja sellega koos soojus liigub pudelitesse ning läbi õhukeste pudelipõhjade hoonest välja. Klaaspudelhoone soojusjuhtivust ehk U-arvu mõõdeti sensorplaadiga. Klaaspudelhoone seina tõenäoliseks soojusjuhtivuseks on $1,87 \text{ W/m}^2\text{K}$, sel juhul oli soojuse läbilaskvusvõimeks 11-12 watti ruutmeetri kohta. Leitud tulemus ületab aga üldnõuete piirmäära ($0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$) kolm kuni neli korda.

Magistritöö tulemustest selgus, et klaaspudeleid ning vanarehve on võimalik edukalt taaskasutada aia-grillmaja ehituses. Kasutatud materjalid loovad efektse seina ning katuse pinnstruktuuri. Klaaspudelhoones ei ole võimalik Eesti kliimas aastaringselt elada, kui tarinditel puudub soojustus.

TÄNAMINE

Autor tänab kõiki, kes on kaasa aidanud klaaspudelhoone ehitamisele ning magistritöö „Klaaspudelhoone projekt- ehitus“ valmimisele:

- rahalise toetuse eest Imavere Vallavalitsust, MTÜ Imavere Sotsiaalkapitali heategevusfondi Nutikad Lapsed, Haridus- ja Teadusministeeriumit ning SA Eesti Teadusagentuuri;
- annetatud ehitusmaterjalide ja –tarvikute eest OÜ Sakretit ning Rikson Investi;
- tasuta toormaterjali ehk klaaspudelite eest kohvikuid Al Mare ja Pierre, AS Väätsa Prügilat ning kõiki eraisikuid;
- põhilise tööjõu eest Imavere Avatud Noortekeskust ning Imavere Põhikooli;
- käesoleva magistritöö koostamisele kaasa aitamise eest Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži juhendajaid ning õppejõude.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Säästva Eesti Instituut. (2012). Olmejäätmete käitlusalternatiivide keskkonnamõju olelusringipõhine uuring. – Keskkonnaministeerium [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/olelusringi_analyys.pdf (14.03.15)
2. Säästva Eesti Instituut. (2008). Eestis tekkinud olmejäätmete (sh eraldi pakendijäätmete ja biolagunevate jäätmete koostise ja koguse analüüs). Segaalmejäätmete sortimisuuring. – Keskkonnaministeerium [WWW] <http://www.envir.ee/sites/default/files/olmejaatmeteuring2008.pdf> (20.05.15)
3. Eesti Pandipakend OÜ. Kuidas pandisüsteem töötab? [WWW] <http://eestipandipakend.ee/kuidas-pandisusteem-tootab/> (17.03.15)
4. Keskkonnaministeerium. (2014). Riigi Jäätmekava 2014-2020. [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/riigi_jaatmekava_2014-2020.pdf (17.03.15)
5. Pakendiseadus. (Vastu võetud 21.04.2004, jõustumine 01.06.2004). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062014050> (17.03.15)
6. JATS Jäätmearuandluse Infosüsteem. (2010-2013). Jäätmekood 15 01 07 (klaaspakend) [WWW] <https://jats.keskkonnainfo.ee/> (20.03.15)
7. Taaratark. Klaas. – Keskkonnaministeerium [WWW] <http://www.taaratark.ee/tarkuse-nurk/huvitavaid-fakte/> (16.03.15)
8. Moora, H. Säästva Eesti Instituut. Prügilasse jäätmete vastuvõtmise kriteeriumid ja kord. – Keskkonnaministeerium. [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/jaatmete_vastuvott_ja_kord.pdf (20.05.15)
9. Jäätmeseadus. (Vastu võetud 28.01.2004, jõustumine 01.05.2004). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/106032015028> (17.03.15)
10. MTÜ Eesti Rehviliit. (2009). Tootjavastutuse põhimõte. [WWW] http://www.rehviit.ee/web2/?cat_ID=3&page_id=9 (19.03.15)
11. JATS Jäätmearuandluse Infosüsteem. (2010-2013). Jäätmekood 16 01 03 (vanarehv) [WWW] <https://jats.keskkonnainfo.ee/> (20.03.15)
12. Grauding, G. (2006). Erinevad kasutatud rehvide taaskasutamise võimalused Eestis: bakalaureusetöö. Tallinn, Tallinna Ülikool. (üliõpilastöö)
13. Bukovec, M. (2011). Millal, kus ja kuidas klaas alguse sai? Varaseim klaas 3. aastatuhat – 330 a eKr. Mesopotaamia, Egiptus, Vahemerepiirkond. – Klaasikunsti ajalugu I, teema 1 [Online] <http://www.e->

- ope.ee/download/euni_repository/file/2558/KlaasikunstiajaluguI.Teemal.pdf
(15.03.15)
14. Hook, P. Heimlich, J. E. A History of Packaging – Ohio State University Fact Sheet
[Online] <http://ohioline.osu.edu/cd-fact/0133.html> (27.03.15)
15. Dictionary of American Biography. American National Biography. Michael J. Owens [WWW] http://todayinsci.com/O/Owens_MichaelJ/OwensMichaelJ.htm
(12.05.15)
16. Altajir Glass Bottle Factory Expansion, United Arab Emirates. [WWW]
<http://www.packaging-gateway.com/projects/altajir/> (12.05.15)
17. Mikomägi, M. (2010). Kallis klaaspudel on odavam kui odav plastpudel [WWW]
<http://www.raplamaa.ee/et/uudised/31-view-1426.html> (12.05.15)
18. Bramlage, S. Haudrich, J. (2015) Kuidas klaasi tehakse? – O-I Production Estonia AS [WWW] <http://www.o-i.com/Why-Glass/How-Glass-Is-Made/> (16.03.15)
19. Elert, G. Melting Point of Glass. - The Physics Factbook [WWW]
<http://hypertextbook.com/facts/2002/SaiLee.shtml> (27.03.15)
20. Rehren, Th. Freestone, I.C. (2015) Ancient glass: from kaleidoscope to crystal ball.
- Journal of Archaeological Science, Volume 56, April 2015, Pages 233–241
[Online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030544031500059X>
(26.03.15)
21. The Editors of Encyclopædia Britannica. (2015). Glass- Adding colour and special properties. – Encyclopædia Britannica [WWW]
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/234888/glass/283826/Adding-colour-and-special-properties> (27.03.15)
22. Laanmaa, K. Tehnoloogia keraamikas III. Värvivad komponendid. [WWW]
http://www.artun.ee/materials/tehnoloogia_keraamikas_3/vaumlrvivad-komponendid.html (13.05.15)
23. Vellini, M. Savioli, M. (2009). Energy and environmental analysis of glass container production and recycling. - Energy, Volume 34, Issue 12, December 2009, Pages 2137–2143 [Online]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544208002375> (28.03.15)
24. American Bottle Auction. History of Glass. [WWW]
<http://www.americanbottle.com/history-of-glass/> (27.03.15)

25. Keskkonnaamet. (2012). Jäätmete uus elu. [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/jaatmete_uus_elu.pdf (17.03.15)
26. Pakendiaktsiisi seadus. (Vastu võetud 19.12.1996, jõustumine 01.03.1997, osaliselt 01.12.1998. a.). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/117052014005> (17.03.15)
27. Eek, P. (2015). Riigi ootused tagatisraha süsteemile.- Keskkonnaministeerium. [WWW] http://www.envir.ee/sites/default/files/news-related-files/pandipakend_peeter_eek_esitlus_20150114.pdf (13.05.15)
28. Isover Saint-Gobain. Klaasi taaskasutamine. [WWW] <http://www.isover.ee/projekteerimine/klaasi-taaskasutamine> (16.03.15)
29. Vijayakumar, Dr. G., Vishaliny, Ms H., Govindarajulu, Dr. D. (2013). Studies on Glass Powder as Partial Replacement of Cement in Concrete Production. – International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 2, February 2013 [Online] http://ijetae.com/files/Volume3Issue2/IJETAE_0213_25.pdf (29.03.15)
30. Shafabakhsh, G.H., Sajed, Y. (2014). Investigation of dynamic behavior of hot mix asphalt containing waste materials; case study: Glass cullet. - Case Studies in Construction Materials, Volume 1, 2014, Pages 96–103 [Online] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221450951400014X> (29.03.15)
31. Fox, K. Glass Bottle Walls and Houses and more. – Inspiration Green [Online] <http://www.inspirationgreen.com/glassbottlewalls.html> (14.03.15)
32. Kohlstedt, K. 5 Recycled Architectures from Bottles, Cans, Bales & Tires. – WebUrbanist. [E-ajakiri] <http://weburbanist.com/2007/10/23/5-kinds-of-creative-recycled-architecture-cans-bottles-and-other-unusual-building-materials/> (14.03.14)
33. Gunzelmann, D. (2008). One Million Beer Bottles Later and it's a Buddhist Temple. – GreenUpgrader. [E-ajakiri] <http://greenupgrader.com/4262/one-million-beer-bottles-later-and-its-a-buddhist-temple/> (10.09.14)
34. Yoneda, Y. (2010). Amazing House Built From 6 Million Beer Bottles. – Inhabitat. [E-ajakiri] <http://inhabitat.com/amazing-house-built-from-6-million-beer-bottles/> (11.11.14)
35. Earthship Biotectures. Construction materials. [WWW] <http://earthship.com/construction-materials> (20.05.15)

36. Thomson, J. (2001) What we should know about tires: A historical background – JAGazette [Online] <http://www.jags.org/TechInfo/2001/05May01/tires/historyoftires.htm> (18.03.15)
37. Maxxis. (2014). How a tire is made. [WWW] <http://www.maxxis.com/other-automotive-information/how-a-tire-is-made> (31.03.15)
38. Goodyear. (2012). Kuidas rehve valmistatakse. [WWW] http://www.goodyear.eu/ee_et/all-about-tires/understand-your-tire/how-tires-are-made/ (18.03.15)
39. Hanover. Schladming. (2014). Tire compounds are “green chemistry” – Continental [WWW] http://www.continental-tires.com/www/tires_de_en/themes/news/meldungen/dl_pr_2014_launch_04_en.html (18.03.15)
40. Rubber Manufactures Assosiation. Scrap Tire Characteristics. [WWW] <http://www.energyjustice.net/files/tires/files/scrapchn.html> (02.04.15)
41. LEA Advisory. (1997). Evaluation of Employee Health Risk from Open Tire Burning. Site-Specific Health and Safety Report. – CalRecycle [WWW] <http://www.calrecycle.ca.gov/lea/Advisories/46/> (02.04.15)
42. Rehvidest tekkinud jäätmete kogumise, tootjale tagastamise ning taaskasutamise või kõrvaldamise nõuded ja kord. (Vastu võetud 17.06.2010 määrus nr 80, jõustumine 09.07.2010). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/117062014013> (18.03.15)
43. Probleemtooteregistri põhimäärus. (Vastu võetud 23.07.2009 nr 135, jõustumine 07.08.2009). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/118092013008> (19.03.15)
44. Probleemtoote kasutajale kättesaadavaks tehtava teabe loetelu ning teabe esitamise viisid ja kord. (Vastu võetud 22.07.2013 nr 57). – Elektrooniline Riigi Teataja [WWW] <https://www.riigiteataja.ee/akt/125072013004> (19.03.15)
45. Keskkonnaministeerium. Rehvid ja vanarehvid [WWW] <http://www.envir.ee/et/vanarehvid> (17.03.15)
46. TRIB Tire Retread & Repair Information Bureau. About Retreating [WWW] <http://www.retread.org/#!about-retreading/c1srn> (19.03.15)
47. Euroshield Environmentally Friendly Rubber Roofing. (2014). What’s really Green? [WWW] <http://www.euroshieldroofing.com/whats-really-green/> (19.03.15)

48. Mother Earth News editors. (1976). Recycled Tires for Roofing a House. [WWW] <http://www.motherearthnews.com/green-homes/recycled-tires-for-roofing-zmaz76soztak.aspx> (19.03.15)
49. Sisson, B. (2013). How soon is “Soon” when it comes to roof replacement? – Inspections by Bob [WWW] <http://www.inspectionsbybob.com/how-soon-is-soon-when-it-comes-to-roof-replacement/> (20.05.15)
50. Rubronic OÜ. Kummigraanul [WWW] <http://www.rubronic.ee/tooted> (19.03.15)
51. AS Epler & Lorenz. Jäätmete käitlemine [WWW] <http://www.epler-lorenz.ee/jaatmete-kaitlemine> (03.04.15)
52. Maainfo kaardirakendus. Järva maakond, Imavere vald, Laimetsa küla [WWW] http://xgis.maaamet.ee/xGIS/XGis?app_id=UU82&user_id=at&bbox=597286.671328671,6518593.32248521,597824.044109736,6518886.43491124&LANG=1 (21.04.15)
53. Eesti Energia. Termõlevaatus. [WWW] <https://www.energia.ee/termoylevaatus> (29.04.15)
54. Ruus, Aime. (2013). Ehitusfüüsika konspekt- peatükk 2. Soojusülekanne läbi piirdetarindi
55. EVS-EN 12390-3:2009 Kivistunud betooni katsetamine. Osa 3: Katsekehade survetugevus, Tallinn: Eesti Standardikeskus, 2009
56. Pullisaar, T. (2013). Toimivusdeklaratsioon nr. 001CPR2013-07-01 – Sakret OÜ [WWW] http://www.sakret.ee/userfiles/catalogfiles/toimivusdeklaratsioon/01_07_13%20BE,%20%20kuivbetoon.pdf (28.04.15)
57. Pullisaar, T. (2013). Toimivusdeklaratsioon nr. 101CPR2013-07-01 – Sakret OÜ [WWW] http://www.sakret.ee/userfiles/catalogfiles/toimivusdeklaratsioon/01_07_13%20ZM,%20mu%CC%88u%CC%88rimo%CC%88rt.pdf (28.04.15)
58. Johannsen, A. Seaton, M. TEKsaurus [WWW] <http://wordties.cst.dk/wordties-estwn/w/full/339046-kevlar> (18.05.15)
59. Veterinaar- ja toiduamet. Saasteainete seire mitteloomses toidus [WWW] <http://www.vet.agri.ee/?op=body&id=477> (18.05.15)
60. Sepp, S. (2010). Vanad rehvid saavad uue elu- Novaator [Online] http://www.novaator.ee/ET/tehnika/vanad_rehvid_saavad_uue_elu/ (18.05.15)

61. The Editors of Encyclopædia Britannica. (2015). Pneumatic tire – *Encyclopædia Britannica* [WWW]
<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/465442/pneumatic-tire> (18.05.15)
62. Aeroc Jämerä AS. (2015). AEROC EcoTerm Plus. [WWW]
<http://www.aeroc.ee/index.php?page=739> (21.05.15)

LISAD

Lisa 1. Horisontaalne klaaspudelseina ladumismeetod

Horisontaalse ladumisviisiga pudelmaja Tucsonis Arizonases [31].



Lisa 2. Vertikaalse klaaspudelseina ladumismeetod

Meeste tualeti sein püstise ladumisviisiga Kawakawal Uus- Meremaal. Autoriks Austria kunstnik ja arhitekt Friedensreich Hundertwasser [31].



Lisa 3. Klaaspudeltellis

Klaaspudeltellised [31].



Lisa 4. Teaduse populariseerimise projektikonkursi projekt

Magistritöö praktilise töö valmimine ja materjalide taaskasutamise tutvustamine laiemale üldsusele

1. Tegevuse eesmärk ja üksikasjalik kirjeldus, millele toetust taotletakse

Peaesmärk: Tallinna Tehnikaülikooli Tartu Kolledži materjalide taaskasutuse eriala magistritöö praktiliseks osaks on pandita klaaspudelite kasutamine keskkonnainsenerlikus projektis. Projekti elluviimise tulemusena valmib klaaspudelitest hoone, mille katus valmistatakse kasutatud rehvidest.

Projekti alaesmärk on propageerida ja tutvustada taaskasutusvõimalusi kohalikule kogukonnale, eelkõige noortele.

Kavas on koguda piisav kogus pandita klaastaarat, mille ringlusse suunamine ei ole nii arenenud kui pandikogumine, ehitada nendest 10 ruutmeetri suuruse ehitusaluse pinnaga näidishoone ning teha kõik vajalikud ehitusfüüsikalised arvutused. Projekti käigus tutvustatakse ideekavandit kohaliku põhikooli noortele ja kaasatakse nad hoone valmimise protsessi. Laiemale avalikkusele tutvustatakse hoone terviklahendust avamispäeval.

2. Tegevuse ajakava kuu täpsusega, kusjuures tegevus ei tohi kesta kauem kui 12 kuud.

Kuu	Tegevuskava
märts- mai	Sarnaste hoonete kohta informatsiooni kogumine, hoone projekteerimine ja pandita klaastaara kogumine
mai	Infopäev Imavere Põhikoolis
mai- august	Vahendite soetamine
juuni- august	Noorte kaasamine hoone ehitusprotsessi
september- detsember	Hoone ehitusfüüsikalised arvutused ja magistritöö koostamine
2015 kevad	Magistritöö kaitsmine, valminud hoone tutvustamine avalikkusele (hoone pidulik avamine, toetajate tänamine)

3. Tegevuse sihtgrupid ja nendeni jõudmise viis ning tegevuse potentsiaalne mõju ühiskonnale. (Projekti vajalikkuse põhjendus)

Tegevuse mõju ühiskonnale on populariseerida materjalide taaskasutamist ehituses ja elukeskkonnas. Propageerida säästlikku eluviisi ning ühendada inseneri karm maailm kunstilise poolega. Põhikooli noortele toimub infopäev, mis selgitab säästliku eluviisi

põhimõtteid, tutvustab erirala, mida projekti autor omandab ja ideekavandit, kuhu on plaanis kaasata ka noored. Noored kaasatakse materjalide kogumise ja hoone valmimise tööprotsessi. Sihtgrupp: kogukonna noored vanuses alates 14 eluaastat ja rahvusvahelise vabatahtlike laagris osalejad 18- 30 eluaastat. Hoone tutvustamine kogukonnale ja ehituse valmimisega seotud toetajatele, keda on arvuliselt ca 100.

4. *Tegevuse eelarve, kus on ära toodud ka võimalikud teised toetajad.*

	Kokku	Oma ja kaasfin.	Taotletav
Krohvi- ja müüri segu Sakret ZM M10 5000 kg 1 tonn= 146 €	~730 €	1 tonn/ 146 €	584 €
Materjali kogumine, transpordikulu 0,10€/km x 600 km	~60 €	~60 €	
Puidumaterjal 5,40 €/ 3m x 10 prussi	~60 €		~60 €
Puidukruvid 2 €/ pakk x 10 pakki	~20 €		~20 €
Katusekruvid 14,99 €/ pakk x 4 pakki	~45 €		~45 €
Väiketöövahendid (tugevdatud kindad, esmased esmaabivahendid)	~120 €		~120 €
Osalejate (noored) tellitud transport 5 päeva 35€/päev	~175 €		~175 €
Ehitusel osalevate noorte toitlustus 1x päevas x 10 noort x 5päeva	~150 €		~150 €
Kulud avamisel ~100 inimest	~150 €		~150 €
Esitlustehnika rent infopäeval ja avamisel	~20 €	~20 €	
Kokku	~1530 €	226 €	1304 €

Taotletav summa kokku on 1304 €.

5. *Taotleja varasemad kogemused teaduse populariseerimisel.*

Taaskasutuse õpitoa läbiviimine Käsukonna kultuurimajas alates oktoober 2013 kuni käesoleva ajani.

Õpitubade läbiviimine Imavere Põhikoolis oktoober 2013 kuni käesoleva ajani.

6. *Varem rahastatud tegevuse edasiarendusel või kordamisel põhjalik kokkuvõtte eelmis(t)e tegevus(t)e kohta.*

Sponsoreeritud vahenditega on valminud hoone vundament 2013 suvel (toetajateks kohalik ettevõtte ja kohalik omavalitsus).

7. *Kontaktandmed*

Taotleja nimi: Triin Tõnisson

Kontaktandmed

- Aadress: Järvamaa, Imavere vald, Laimetsa küla, Pärna talu, 72401
- Telefon: 56304177
- e-post: triintonisson001@gmail.com

Arveldusarve number: 221036998376 Swedbank IBAN EE162200221036998376

Arve omaniku nimi: Triin Tõnisson

Taotleja esindusõigusliku isiku nimi: Triin Tõnisson

digiallkiri

3.03.2014

Lisa 5. Klaaspudelhoone seina valgusefekt

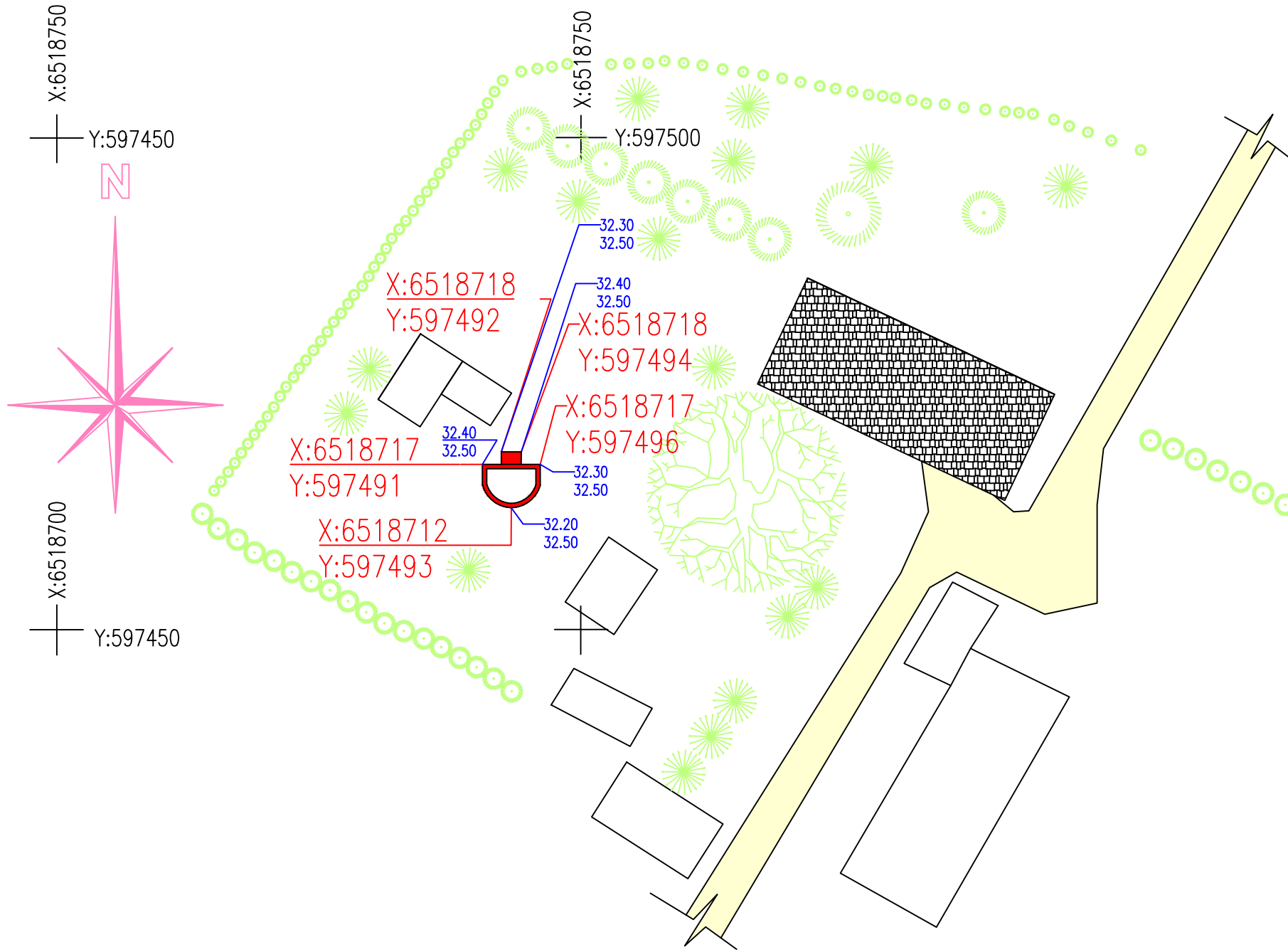
Klaaspudelhoone lääne poolsest siseküljest paistab sisse õhtu päike. Klaaspudelid löövad särama (Foto: Triin Tõnisson)



Lisa 6. Sensorplaadiga soojusjuhtivuse mõõtmise tulemused

Kuupäev	Kella aeg	Sisetemp. °C	Välisemp. °C	Wm ²	EMHI välisemp. °C	U-arv EMHI	U-arv sensoriga
26.04.2015	21:00:00	23,39	12,54	3,2	11,7	0,27	0,29
	22:00:00	22,3	12,11	6	9,9	0,48	0,59
	23:00:00	20,27	11,11	9,3	8,8	0,81	1,02
27.04.2015	0:00:00	18,84	10,42	10,6	8,1	0,99	1,26
	1:00:00	16,77	9,27	12,5	7,3	1,32	1,67
	22:00:00	24,79	14,01	5,4	11,8	0,42	0,50
	23:00:00	27,97	13,2	7,9	11,4	0,48	0,53
28.04.2015	0:00:00	28,65	13,65	9,2	11,7	0,54	0,61
	1:00:00	28,64	13,77	10	11,8	0,59	0,67
	2:00:00	26,25	13,43	12,3	11,3	0,82	0,96
	3:00:00	23,87	12,4	13,4	11,1	1,05	1,17
	4:00:00	21	12,93	12	10,8	1,18	1,49
	5:00:00	18,81	12,66	11,5	10,3	1,35	1,87
	22:00:00	20,59	9,26	4,9	8,1	0,39	0,43
	23:00:00	22,48	9,34	6,3	7,6	0,42	0,48
29.04.2015	0:00:00	24,11	9,54	7,9	7,6	0,48	0,54
	1:00:00	24,41	9,24	10,1	7,3	0,59	0,67
	2:00:00	21,82	9,5	9,7	7	0,65	0,79
	3:00:00	19,63	8,92	11,9	6,8	0,93	1,11
	4:00:00	17,24	8,79	11,5	6,7	1,09	1,36
	5:00:00	14,77	7,72	11,8	5,7	1,30	1,67
	23:00:00	17,26	5,11	3,9	4,8	0,31	0,32
30.04.2015	0:00:00	17,99	5,22	5,2	4,9	0,40	0,41
	1:00:00	18,5	5,15	7,5	4,2	0,52	0,56
	2:00:00	15,11	5,06	8,4	3,9	0,75	0,84
	3:00:00	12,59	5	9,2	3,8	1,05	1,21
1.05.2015	23:00:00	18,48	10,32	7,1	10,2	0,86	0,87
2.05.2015	0:00:00	19,18	9,43	7,4	9,3	0,75	0,76
	1:00:00	17,57	8,72	10,3	8,6	1,15	1,16
	21:00:00	24,83	7,34	7,4	6,3	0,40	0,42
	22:00:00	25,62	7,16	11	5	0,53	0,60
	23:00:00	19,23	6,52	12,8	4,4	0,86	1,01
3.05.2015	0:00:00	15,27	6,77	12,6	4,9	1,22	1,48
					Keskmine	0,76	0,89
					min	0,31	0,29
					max	1,35	1,87

GRAAFILINE OSA



Tingmärgid

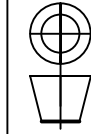
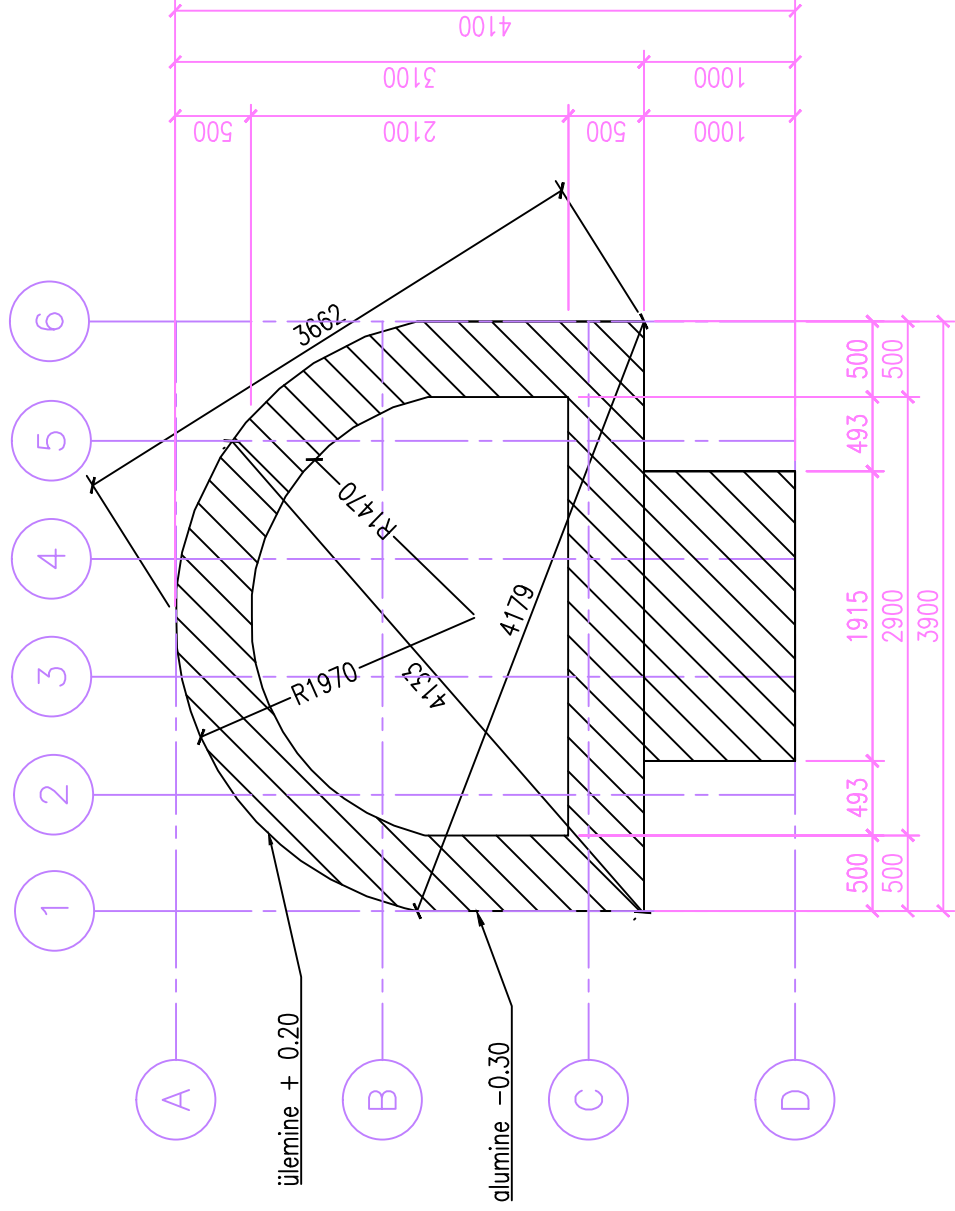
- Planeeritav hoone
- Tee
- Peahoone- elamu
- Kõrvalhooned
- 32.30 Olemasolev kõrgus
- 32.50 Planeeritav kõrgus
- Kõrghaljastus:
- tamm
- kuusk
- viljapuud/ ilupuud

Tehnilised andmed:
 Kinnistu suurus 28,75 ha
 Kinnistu sihtotstarve – maatulundusmaa 100 %
 Täisehitus 0,2 %
 Planeeritava hoone ehitusalune pind 10,5 m²
 Korruselisus 1

Märkused:
 Hoone ±0.00=32.20
 Hoone tulepüsisivusklass TP3

Möödistatud L-EST süsteemis

	KLAASPUDELHOONE	Mõõtkava: 1:500
Teostas	Triin Tõnisson	ASENDIPLAAN
Kontrollis	Lehar Leetsaar	
Kinnitas	Lehar Leetsaar	
Asutus:	TTÜ Tartu Kolledž	Leht: 1/10
		Tähis: EAKI105308



KLAASPUDELHOONE

Mõõtkava:

1:50

Lehe nimetus:

VUNDAMENDI PLAAN

Teostas Triin Tõnisson

Kontrollis Lehar Leetsaar

Kinnitas Lehar Leetsaar

Asutus:

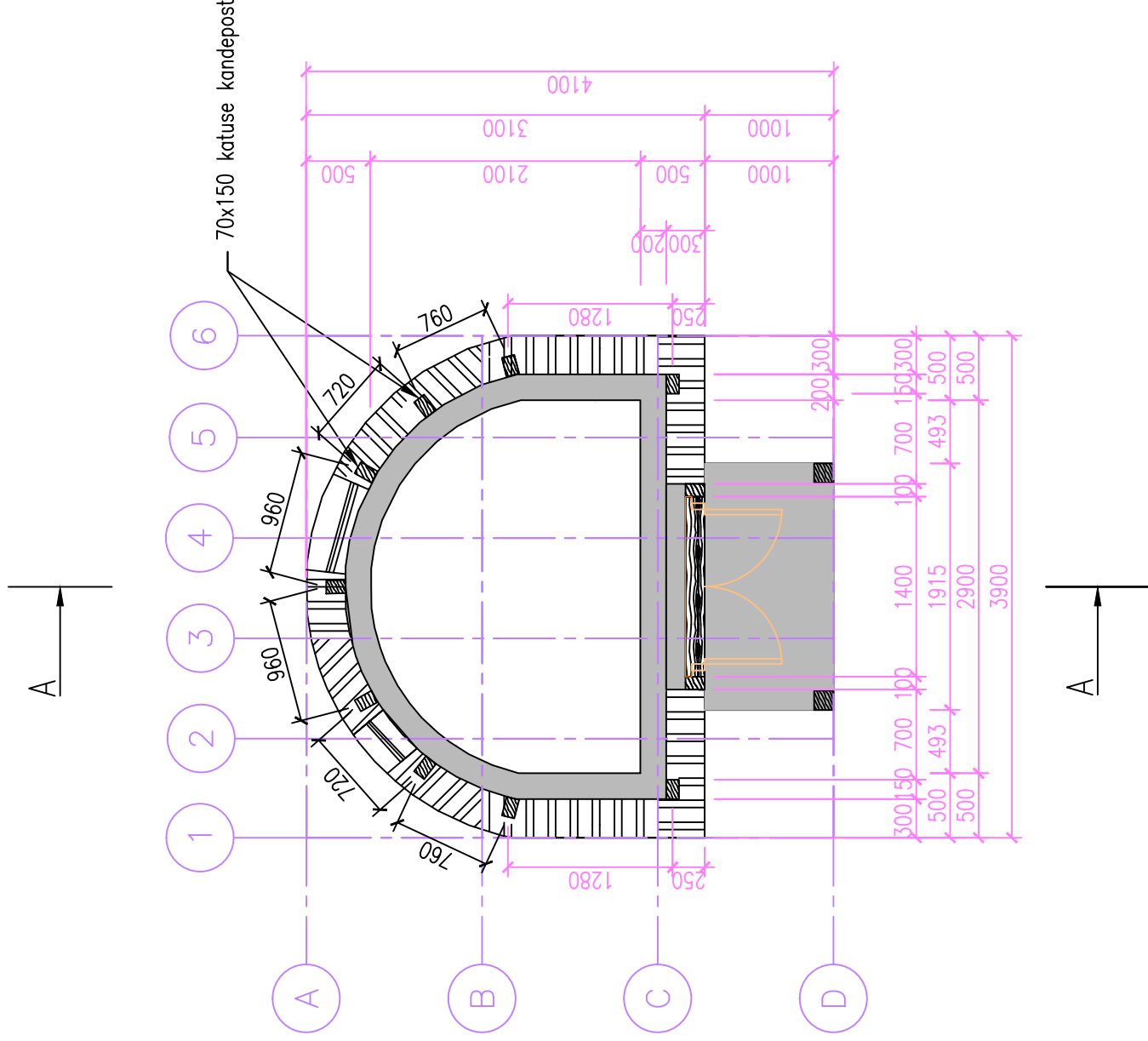
TTÜ Tartu Kolledž


Leht:

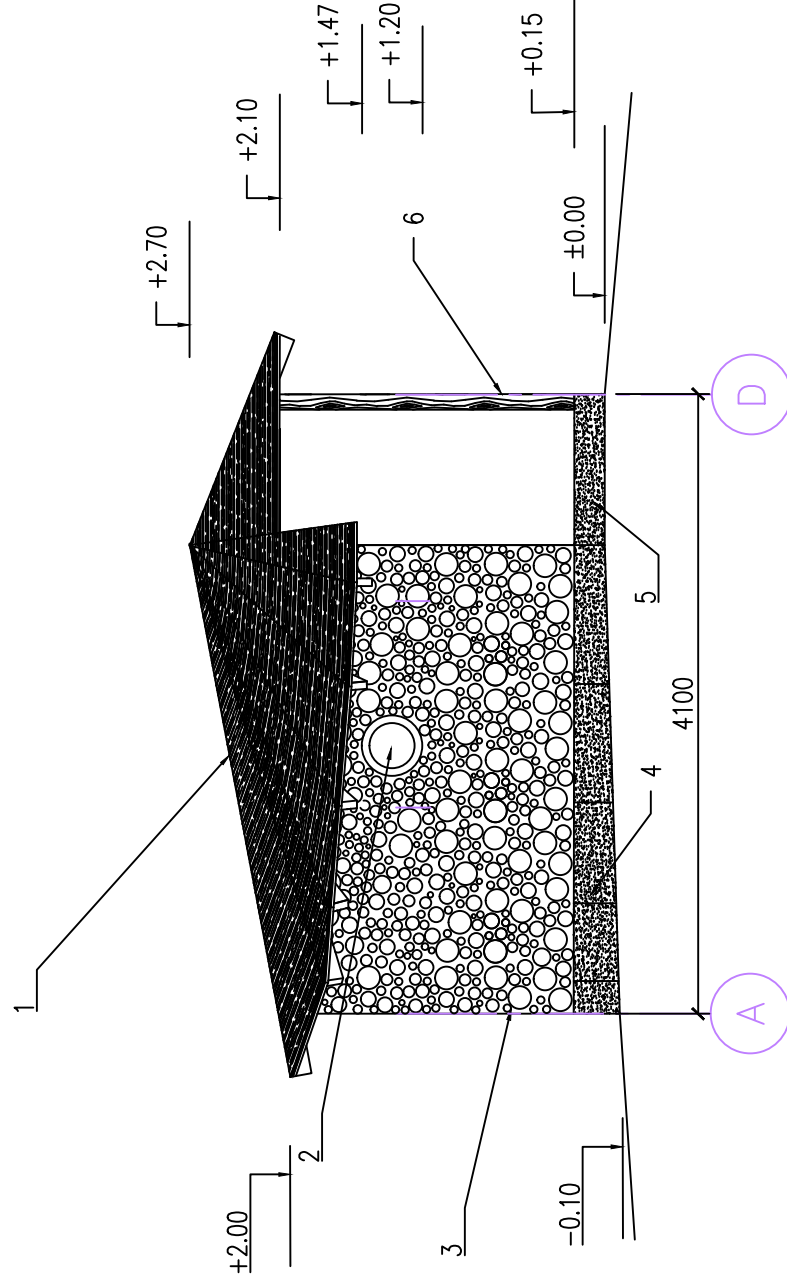
2/10

Tähis:

EAKI105308

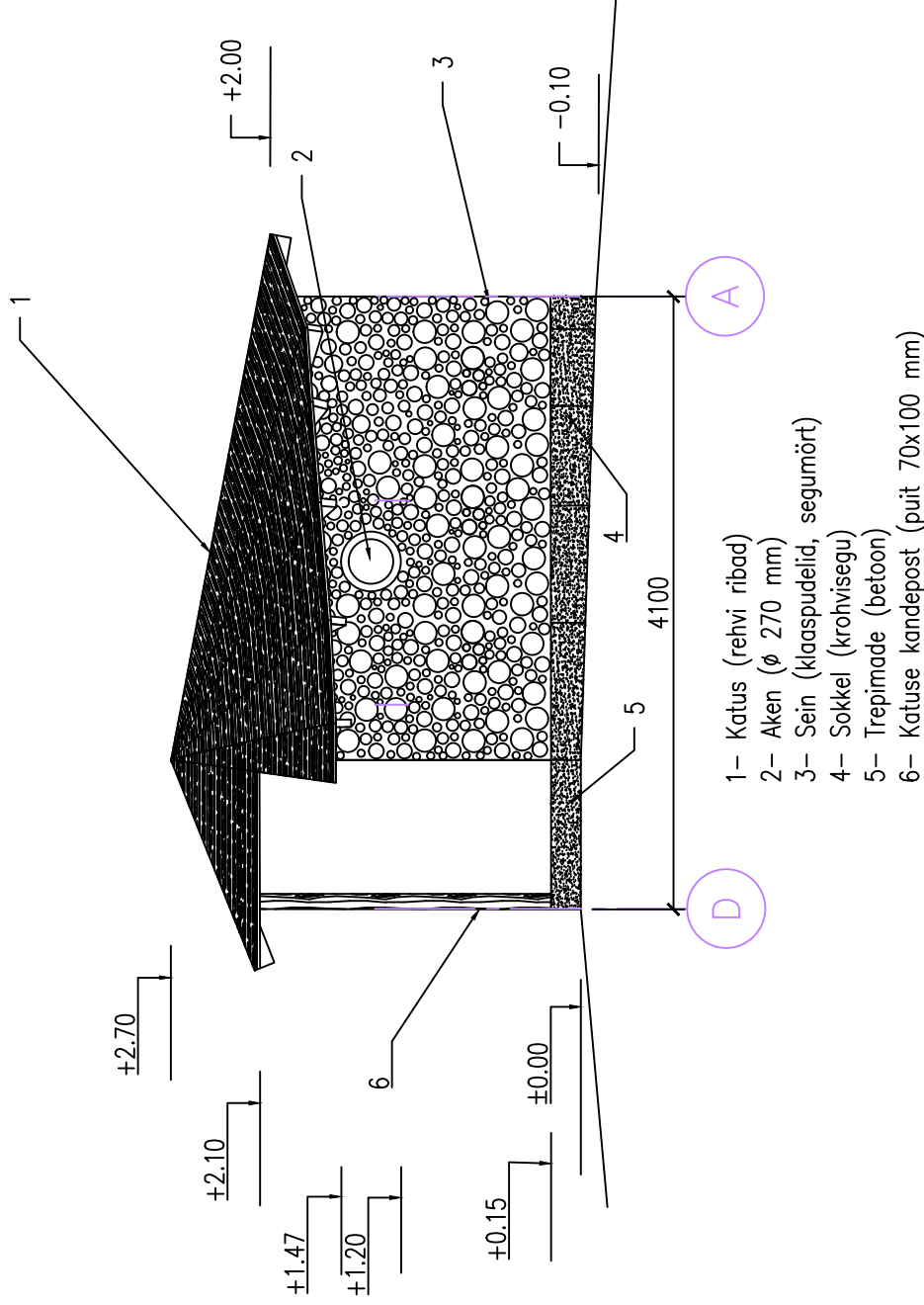


	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava:	1:50
	Teostas	Triin Tõnisson	Lehe nimetus:	
Kontrollis	Lehar Leetsaar	SEINA SIDUMINE VUNDAMENDIGA		
Kinnitas	Lehar Leetsaar			
Asutus:	TTÜ Tartu Kolledž	Leht:	3/10	Tähis:
				EAKI105308
				PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

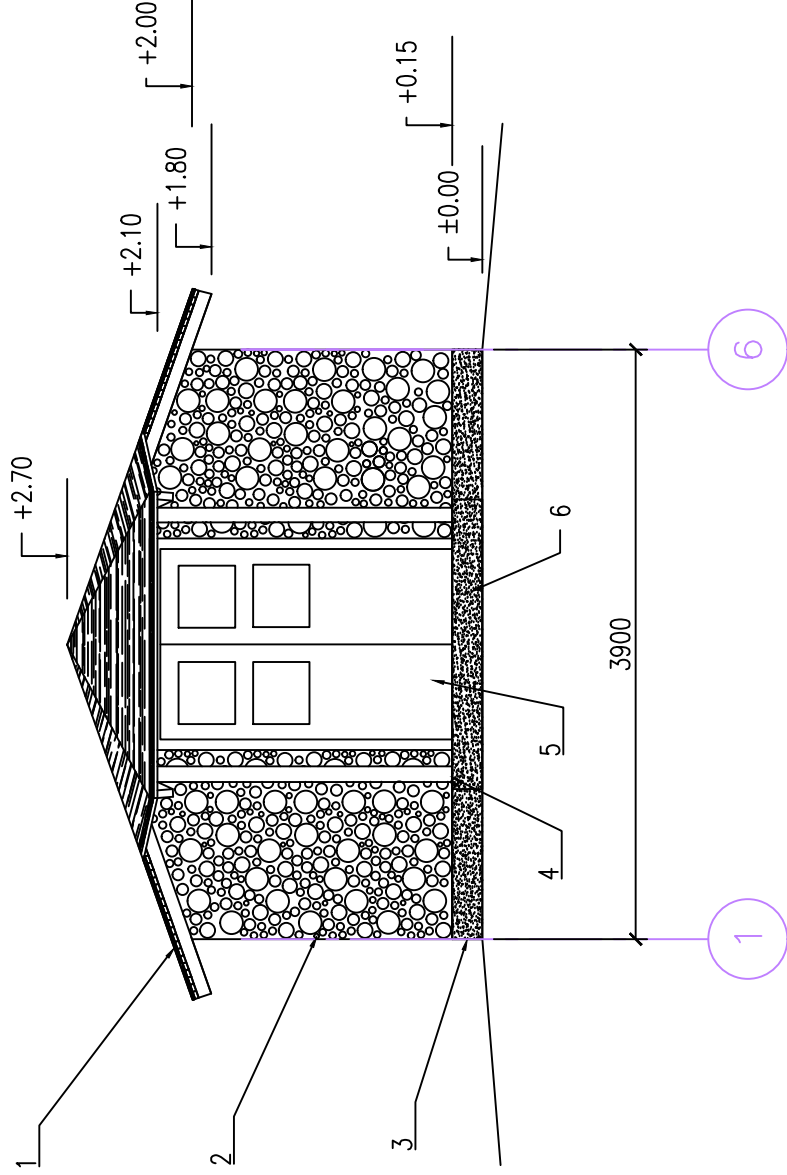


- 1– Katus (rehvi ribad)
- 2– Aken (ø 270 mm)
- 3– Sein (klaaspudelid, segumört)
- 4– Sokkel (krohvisegu)
- 5– Trepimade (betoon)
- 6– Katuse kandepost (puit 70x100 mm)

	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava: 1:50
Teostas	Lehe nimetus:		
Kontrollis	Triin Tõnisson	HOONE VAADE IDAST	
Kinnitas	Lehar Leetsaar		
Asutus:	Lehar Leetsaar		
TTÜ Tartu Kolledž	Leht: 4/10	Tähis:	EAKI105308
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT			

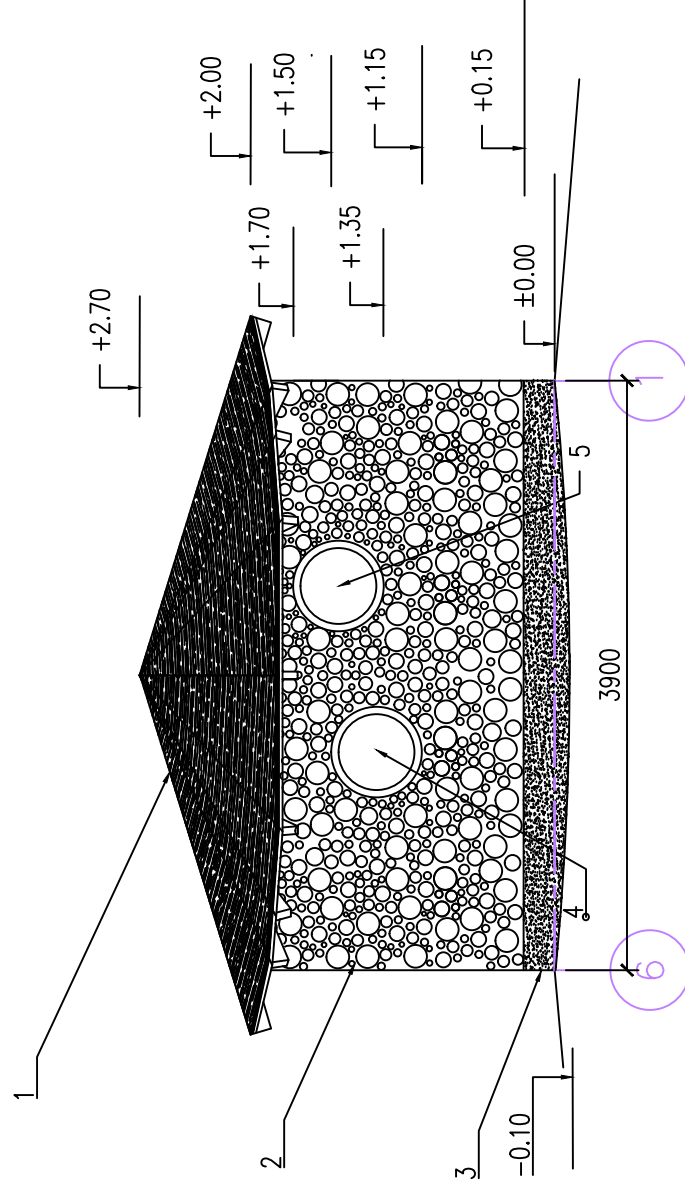


	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava: 1:50
Teostas	Lehe nimetus:		
Kontrollis	Triin Tõnisson	HOONE VAADE LÄÄNEST	
Kinnitas	Lehar Leetsaar		
Asutus:	Lehar Leetsaar		
TTÜ	Leht: 5/10	Tähis:	EAKI105308
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT			



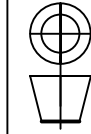
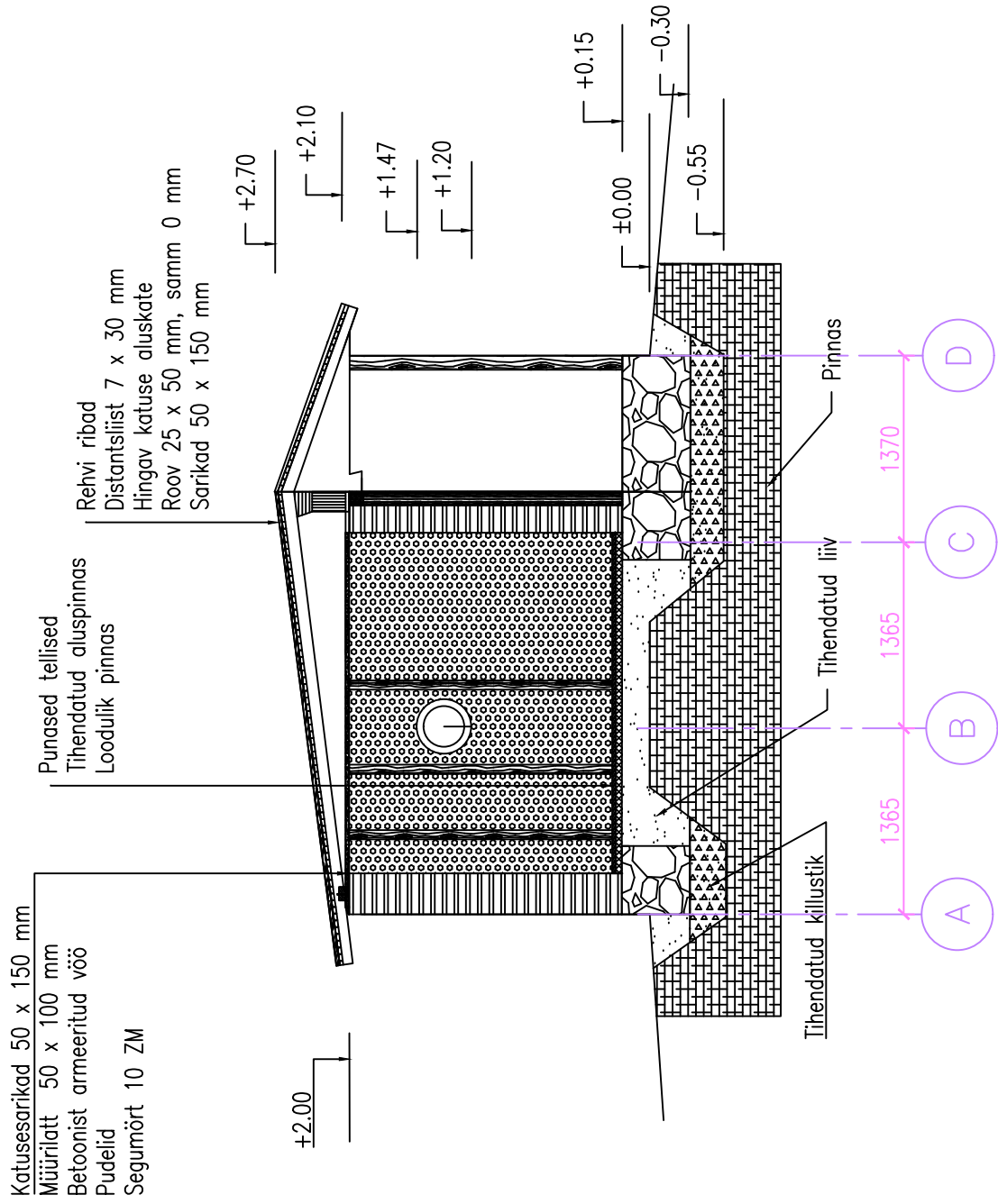
- 1- Katus (rahi ribad)
- 2- Sein (klaaspudelid, segumört)
- 3- Sokkel (betoon)
- 4- Katuse kandepost (puit 70x100 mm)
- 5- Uks (õlitatud puit)
- 6- Trepimade (betoon)

	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava: 1:50
Teostas Triin Tõnisson	Lehe nimetus: HOONE VAADE PÕHJAST		
Kontrollis Lehar Leetsaar			
Kinnitas Lehar Leetsaar			
Asutus: TTÜ Tartu Kolledž	Leht: 6/10	Tähis: EAKI105308	PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



- 1- Katus (rehvi ribad)
- 2- Sein (klaaspudelid, segumört)
- 3- Sokkel (krohvisegu)
- 4- Aken (∅ 345 mm)
- 5- Aken (∅ 345 mm)

	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava: 1:50
Teostas Triin Tõnisson	Lehe nimetus: HOONE VAADE LÕUNAST		
Kontrollis Lehar Leetsaar			
Kinnitas Lehar Leetsaar			
Asutus: TTÜ Tartu Kolledž	Leht: 7/10	Tähis: EAKI105308	PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



KLAASPUDELHOONE

Mõõtkava:

1:50

Teostas Triin Tõnisson

Lehe nimetus:

Kontrollis Lehar Leetsaar

LÕIGE A-A

Kinnitas Lehar Leetsaar

Asutus:

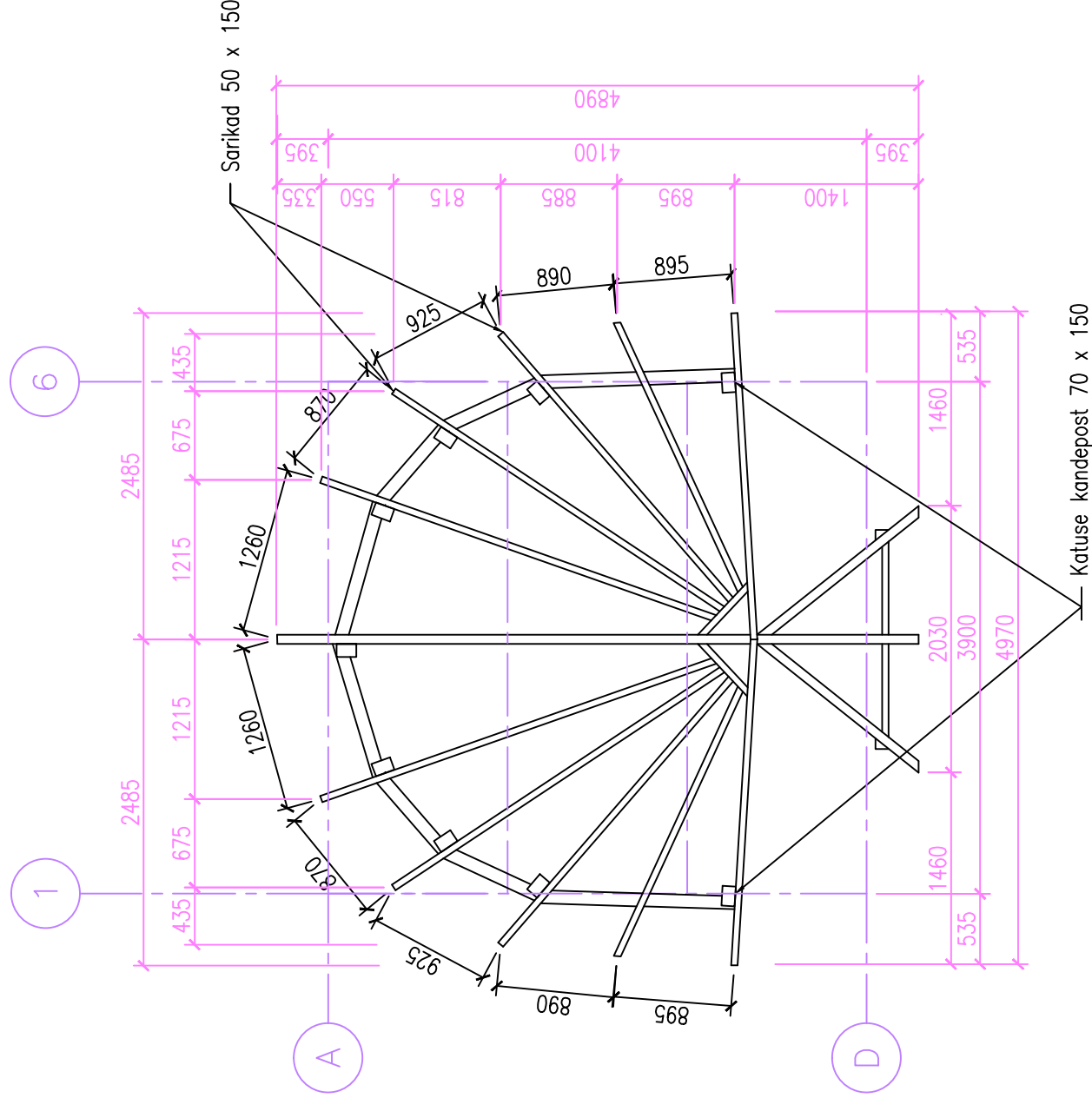
Leht:


8/10

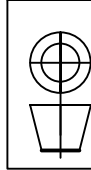
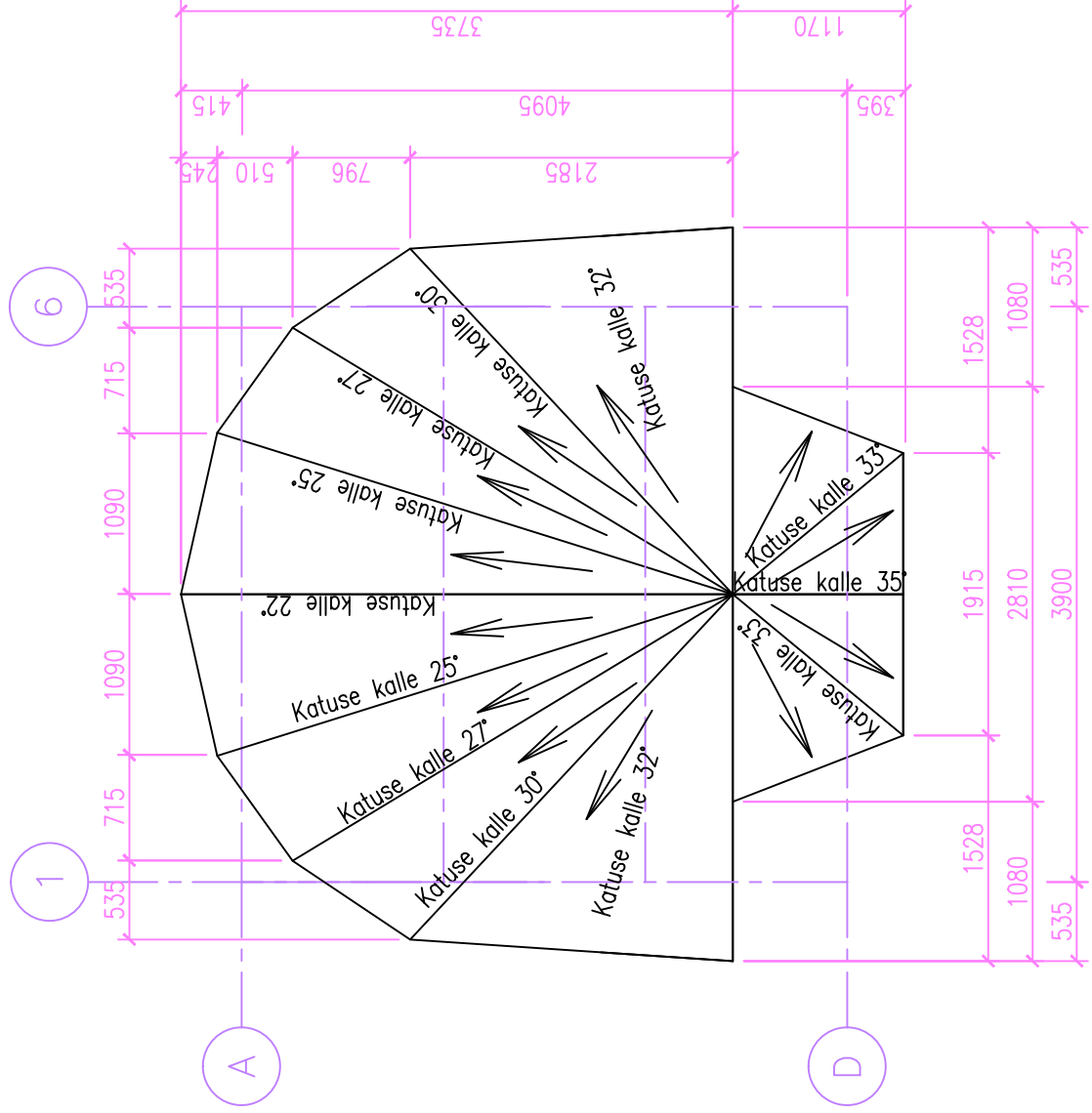
Tähis:

EAKI105308

TTÜ Tartu Kolledž



	KLAASPUDELHOONE		Mõõtkava:	1:50
Teostas	Triin Tõnisson		Lehe nimetus:	
Kontrollis	Lehar Leetsaar		KATUSE KONSTRUKTSIOON	
Kinnitas	Lehar Leetsaar			
Asutus:	TTÜ Tartu Kolledž	Leht:	9/10	Tähis:
				EAKI105308



KLAASPUDELHOONE

Mõõtkava:

1:50

Teostas Triin Tõnisson

Lehe nimetus:

Kontrollis Lehar Leetsaar

KATUSE PLAAN

Kinnitas Lehar Leetsaar

Asutus:

Leht:

Tähis:

TTÜ Tartu Kolledž

10/10

EAKI105308