

TARTU ÜLIKOOL

Toivo Salus

ENERGIASÄÄSTLIK VÄIKEELAMU

Lõputöö

Juhendaja: Erko Jakobson

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

TARTU 2013

SISUKORD

| | |
|---|----|
| SISSEJUHATUS..... | 3 |
| 1. HOONETE ENERGIATÕHUSUS | 5 |
| 1.1 Hoonete energiakasutus..... | 5 |
| 1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded Eesti Vabariigis | 5 |
| 1.3 Passiivmajastandardiga väikemaja tüüpilised komponendid | 7 |
| 1.4 Energiasäästliku väikeelamu paiknemine | 8 |
| 2. VÄIKEELAMU ENERGIABILANSS | 9 |
| 2.1 Hoone soojuspüsivus ja soojusülekanne | 9 |
| 2.2 Soojuse liikumine läbi hoone piirete | 10 |
| 2.3 Küttesüsteemide liigitus ja valik | 11 |
| 2.4 Väikeelamule taastuenergiat põhinevad sobilikud kütmissüsteemid | 13 |
| 2.5 Päikeseenergia kasutamine energiasäästliku väikeelamu juures..... | 14 |
| 2.6 Õhuvahetus..... | 20 |
| 2.7 Vabasoojuse mõju | 21 |
| 2.8 Suvine päikesekaitse ja palavuse vältimine | 21 |
| 2.9 Valgustingimused..... | 22 |
| 3. SOBIVA PROJEKTI LEIDMINE VÄIKEMAJALE. MATERJALIDE VALIK..... | 24 |
| 3.1 Väikeelamu energiatsükkel | 26 |
| 3.2 Hinnakalkulatsioon valmis ehitisele..... | 28 |
| 3.3 Energiatõhususe arvutamine. Energiamärgis. | 29 |
| KOKKUVÕTE..... | 30 |
| SUMMARY | 31 |
| KASUTATUD KIRJANDUS | 32 |
| LISAD | 34 |

SISSEJUHATUS

Suur osa maailmast liigub energiasäästlikkuse suunas. Seda nii ehitus-, masina-, kui ka näiteks põllumajandustööstuses. Kuigi enamik energiast saadakse siiani fossiilkütuste tarbimisest, on taastuvatest allikatest saadav energia osatähtsus suurenenud ja tänaseks päevaks on sõlmitud suur hulk riiklikke kokkuleppeid, et seda suurendada. Kiireid muutusi energiasäästlikuma keskkonna saavutamiseks on näha pidevalt meedias kajastuvate uudiste näol. Samuti viitab sellele iga paari aasta järel tehtavad seaduste parandused ja muudatused. Haridusasutustes on loodud teaduskonnad inimeste teadlikkuse tõstmiseks keskkonna vallas. Sõltumata kuidas toimuvad riikide valitsuste ja energiaettevõtete liikumised selles suunas, saab iga inimene ise ette võtta samme, vähendamaks sõltuvust energiast.

Suurel osal meist on olemas kodu. Olgu siis korter, maja, ridaelamu või kasvõi näiteks suvila. On olemas palju lihtsaid mooduseid muutmaks oma kodu energiasäästlikumaks ja hubasemaks. See ei vaja suuri investeeringuid, kuid saadud tulemus aitab kodukulusid kahandada. Kuna paljud peavad kodu soetama kasutades pangalaenu, muudab see tulemuse hinnatumaks.

Kolm aastat tagasi Tartu Ülikooli õppima asudes sai töö autor keskkonnafüüsika tunnis piisavalt inspiratsiooni ja teadmisi, et oma selleks ajaks valminud majakarpi senistele ehitusalastele teadmistele tuginedes mitte edasi ehitada. Õnneks on Eestis avaldatud suurel hulgal kirjandust, mis aitas autoril oma teadmisi täiendada. Ta süveneski värsketesse uuringutesse energiasäästlike majade ehitamisel ning muutis projekti selliselt, et saadud tulemus oleks nendele esitatud nõuetele vastav ning teda rahuldav.

Oma töös tahab ta kõigi tähelepanu pöörata erinevatele detailidele ja momentidele, mida tuleks väikese energiatarbimisega kodu ehitamisel silmas pidada. Autor on viimased 15 aastat tegelenud kinnisvara ja ehitamisega ning omandanud selles valdkonnas piisavalt teadmisi. Sidudes isikliku kogemuse koolis õpituga, tahab ta välja tuua lihtsad võimalused, kuidas vältida kipsist ja papist maja kuulsust omavate uuselamu rajoonidesse ehitatud hoonete staatust. Eraldi peatükis kirjeldab autor päikeseenergeetikat, kuna oma kursuseprojekti tehes puutus ta antud teemaga kokku ning sellest tekkis soov ka enda väikeelamule see paigaldada. Olles eelnevalt põgusalt tutvunud diplomitööde ülesehitusega, ei soovi autor oma töös suurt rõhku panna numbritele, valemitele ja arvutustele, millest ehk väike seltskond aru võiks saada. Autor otsib isiklikule kogemusele tuginedes välja just need punktid, millele väikese energiatarbimisega elamu ehitamisel peaks suurimat tähelepanu pöörama. Kõikides

peatükkides kirjeldatud nüansse on tema enda poolt ehitatud väikeelamus võimalik realselt töös näha. Töö lõpuks toob ta välja oma tänaseks valmis maja kulutabeli, kust kõik võiksid saada inspiratsiooni sarnase ettevõtmise kasuks. Töös kasutab autor nii raamatu-, ajakirjandus, kui ka internetimaterjale. Selle tööga soovib töö autor näidata, et hea tahtmise juures on võimalik ükskõik milline Eestimaa paik muuta omale hubaseks koduks ja seda suurte kulutusteta.

1. HOONETE ENERGIATÕHUSUS

1.1 Hoonete energiakasutus

Euroopas on hoonete energiatarve aina kasvava tähtsusega küsimus. Euroopa Liidu komisjon on teinud ettepaneku, et kõikides EL-i maades tuleb hoonete energiatarvet vähendada võrreldes 2005. aastal tarbituga 20 protsenti aastaks 2020. Arutlusel on veel lisaeesmärk, et aastaks 2050 peab soojuse tarve keskmiselt olema langenud poole võrra, võrreldes 2005. aasta tarbega.

Paljudes Euroopa riikides on hoonete soojusvajadus tervikuna vähenenud, hoolimata sellest, et hooneid on juurde ehitatud. Üheks põhjuseks on energiasäästumeetmete rakendamine olemasolevates hoonetes. Teiseks põhjuseks on ehitustehnoloogia areng 1970. aastate lõpus ja 1980. aastatel, mistõttu on nii elamute kui ühiskondlike hoonete soojusvajadus madalam (Abel, Voll 2010).

1.2 Energiatõhususe miinimumnõuded Eesti Vabariigis

Eesti Vabariigi Valitsuse välja antud energiatõhususe määruses on toodud energiatõhususarvud, mida uutes hoonetes ei tohi ületada.

Tõhususarvutustes tuleb kasutada alljärgnevat kaalumistegureid.

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| Taastuval toorainel põhinevad kütused | $K_s = 0,75$ |
| Kaugküte | $K_s = 0,9$ |
| Vedelkütused | $K_s = 1,0$ |
| Maagaas | $K_s = 1,0$ |
| Tahked fossiilkütused | $K_s = 1,0$ |
| Turvas ja turbabrikett | $K_s = 1,0$ |
| Elekter | $K_e = 2,0$ |

Energiatõhususarv ei tohi ületada:

| Ehitatav hoone kWh/(m ² x a) | Ehitatav hoone | Oluliselt rekonstrueeritav hoone | Madalenergia hoone |
|--|----------------|-------------------------------------|-----------------------|
| Väikeelamud | 160 | 210 | 120 |
| Korterelamud | 150 | 180 | 120 |
| Büroohooned, raamatukogud | 160 | 210 | 130 |
| Ärihooned | 210 | 270 | 160 |
| Tervishoiuhooned | 380 | 460 | 300 |
| Haridushoonetes | 160 | 200 | 120 |

(RT I, 05.09.2012, 4).

$$K_s \times \text{Soojusenergia (kWh/a)} + K_e \times \text{Elektrienergia (kWh/a)}$$

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{\text{-----}}{\text{Põrandapind (m}^2\text{)}}$$

Energiatõhususarvu nõuete ning ka teiste energiatõhususe määruuses ettekirjutatud nõuete täitmine on kohustuslik. Ehitusloa saamise eelduseks peab omavalitsusele esitama energiaarvutused, mis tõendavad, et energiatõhususe nõuded planeeritavas või ümberehitatavas hoones täidetakse (Abel, Voll 2010).

Energiasäästulahendusi ja -meetmeid valides peab alati kindlaks tegema, et kolm järgnevat funktsioonidega seotud tingimust täidetakse:

- sisekliima peab olema soovitud tasemel, see tähendab head õhukvaliteeti ja head soojuslikku sisekliimat; loomulikult ei tohi olla mingeid ohte tervisele;
- neil, kes elavad või töötavad hoones, ei tohi tekkida probleeme häiriva müra, ebameeldiva tuuletõmbuse või elektriväljadega;
- hoone pikaajaline funktsioneerimine on tagatud, näiteks tehes kindlaks, et paigaldatud süsteemid on vajadusel lihtsasti hooldatavad ja vahetatavad. Samuti, et hoone piirdetarind oleks niiskuskindel ning ehitusmaterjalid ja materjalide kooslused kaua vastupidavad ja kasutatavad.

Iga tehniline lahendus või samm energiavajaduse vähendamiseks peab vastama nendele kolmele tingimusele nii uute hoonete planeerimisel kui ka olemasolevate hoonete renoveerimisel (Abel, Voll 2010).

Kuna autor kirjeldab antud töös Eesti seadustega vastavuses elamutüüpi, siis kasutab ta energiasäästliku väikeelamu sõnaühendit.

1.3 Passiivmajastandardiga väikemaja tüüpilised komponendid

Passiivmaja (*passive house*) – hoone, milles kõrget mugavust tagavat temperatuuri hoitakse nii talvel kui suvel äärmiselt väikese energiavajadusega; kõrge siseõhu kvaliteet ja soojuslik mugavus tagatakse ruumide neto küttevajaduse juures vähem kui 15 kWh/(m²/a) ja laiaulatusliku passiivmaja standardi kohaselt ei tohi kogu primaarenergia (küte, ventilatsioon, soe vesi ja elekter) kulu olla suurem kui 120 kWh/m² aastas.

Euroopas kasutusel olev termin „passiivne maja“ ei viita passiivsele päikeseenergiat kasutavale majale, nagu nimetatakse Põhja Ameerikas, vaid energiat säilitavale väga hästi soojustatud majale.

Energiatõhus hoone (*low-energy house*) – väljendab tüüpiliselt energiatõhususe taset, kus ruumide neto küttevajadus on 30–70 kWh/(m²/a) (Mauring jt. 2009).

Energeetilises mõttes kvaliteetse ehk energiatõhusa hoone projekteerimisel on oluline mõista, et hoone on terviklik süsteem. Hoone ehitamise kavandamisel on tähtis integreeritud projekteerimine, kus arvesse võetakse kõikide komponentide vahel toimivaid vastastikuseid seoseid. Tüüpilisemateks komponentideks on:

- Soojustus: U- arv alla 0,15 W/(m²K)
- Külmasillavabad sõlmed
- Rõhutestiga tõendatud hoonekarbi hea õhupidavus, kuna see mõjutab oluliselt hoone hilisemat kütteenegiavajadust
- Klaaspindade ja aknaraamide U- arv alla 0,8 W/(m²K)
- Mehhaaniline põhiventilatsioon koos kõrge soojustagastuse määraga; väike elektritarve, suvel tüüpiliselt akende kaudu tuulutamine ja jahutamine
- Võimalikult väikesed soojakaod sooja tarbevee tootmisel ja jaotamisel

- Väga tõhusate elektriseadmete kasutamine

Kõikides nendes punktides võib praktikas tekkida suuremaid või väiksemaid möödalaskmisi. Põhjusteks on tüüpiliselt 1) rahaline piir, 2) ajasurve, 3) teadmatus. Oluline on osata neile faktoritele vajadusel uuesti tähelepanu pöörata (Mauring jt. 2009).

Nagu näha, sõltub ühe hoone energiatõhusus väga mitmest tegurist.

Toome veel välja kolm võimalust elamu energiatõhususe parandamiseks:

- Hoonepiirete omadused (eelkõige soojusjuhtivuse ja õhulekke vähendamine ehk siis lisasoojustamine ja tihendamine);
- Avatäidete omadused (soojuslähivuse vähendamine);
- Tehnosüsteemid (eelkõige soojusvarustus, kütte- ja ventilatsioonisüsteemid) (Kalamees jt. 2011).

1.4 Energiasäästliku väikeelamu paiknemine

Tuleb hinnata oluliste varjuheitvate kõrvalobjektide, kõrghaljastuse ja reljeefi mõju hoone lõunafassaadile lähtudes päikese kõrgusnurgast ja asimuudist ning kõrvalobjektide kõrgusest (Mauring jt. 2009).

Energiasäästlik väikeelamu ei peaks paiknema põllu peal või mere ääres, kus tahes-tahtmata võib ilmastiku tingimuste mõjul tekkida oht hoone soojuspidavusele. Maja võiks põhjapoolsest küljest olla varjatud metsa, mäekülje või hoonetega. Alates kagu- ja lõpetades läänesuunaga peab maja olema avatud päikesevalgusele. Antud tingimused ei pruugi igal kinnistul esineda, aga puid istutades või maha raiudes ja ilmakaari jälgides on seda võimalik saavutada (autori arvamus).

2. VÄIKEELAMU ENERGIABILANSS

Soojuse tootmiseks kasutatakse küttesüsteemides nii sisseveetavaid kütuseid: kivisütt; naftasaadusi; maagaasi, kui ka kodumaiseid kütuseid: puit; turvas; põlevkivi; põlevkiviõli; biokütused (õled, jäätmed). Kütused liigitatakse taastuvateks ja mittetaastuvateks (Abel, Voll 2010).

Autor leiab, et Eesti tingimustes on projektis kirjeldatava väikemaja optimaalsemateks kütte- ja soojaallikateks taastuvenegial põhinevad kütused, milleks on puit või puiduhake. Lisaks sellele näeb autor väikemaja kütte- ja soojaallikana päikeseenergiat.

2.1 Hoone soojuspüsivus ja soojusülekanded

Soojus kandub alati kõrgema temperatuuriga kehalt madalama temperatuuriga kehale. Ruumid kaotavad soojust läbi piirete, mis eraldavad ruumi välisõhust.

Eristatakse kolme liiki soojusülekandeid: soojusjuhtivus, konvektsioon, soojuskiirgus. Soojusjuhtivus – soojuse ülekandmine toimub aine molekulide liikumisenergia ülekandumise teel molekulilt molekulile. See on tahketes kehaes ainsaks soojuse ülekandmise viisiks. Vähesel määral toimub seda ka vedelikes ja gaasides. Ülekantav soojavoog on võrdeline temperatuuride vahel.

Ehitusmaterjalide soojusjuhtivuse oluliseks mõjutajaks on niiskus. Õhu soojusjuhtivus on väiksem, kui veel. Kui ehitusmaterjali poorid on täidetud õhuga, siis on tema soojusjuhtivus väike. Kui aga õhk asendub veega, suureneb materjali soojusjuhtivus. Veelgi enam suureneb soojusjuhtivus, kui vesi poorides jääb.

Konvektsioon – soojuse ülekandmine toimub vedelikes ja gaasides osakeste ümberpaiknemise tagajärjel. Konvektiivne soojusülekanne võib toimuda tahke keha pinna ja teda ümbritseva vedeliku või gaasi vahel kui nende temperatuurid on erinevad. Tahke keha pinna vastu puutudes vedeliku või gaasi osakesed kas soojenevad või jahtuvad ja eemaldudes pinnast osalevad juba iseseisvalt konvektiivses soojusülekandes.

Kui soojuse ülekandmine toimub ainult temperatuurierinevuste tõttu, siis on tegemist loomuliku konvektsiooniga. Kui aga ülekandmine on tingitud välisest mõjust (tuul, ventilaator), siis on tegemist sundkonvektsiooniga.

Soojuskiirgus – soojuse ülekandumine kiirguse teel toimub kehade vahel, mida eraldab kiirgust läbilaskev keskkond. Mida kõrgem on keha temperatuur, seda suurem osa kiirgusenergiast kandub üle lühematel lainetel. Näiteks päikesekiirgus läbib õhu ja aknaklaasi neid oluliselt soojendamata, küll aga soojenevad toas olevad esemed. Soojust kiirgavad ka ruumides paiknevad küttekehad (Angelstok 2009).

Kuna konvektiivse energia ülekandega toimub kõige suurem soojusülekanne, siis energiasäästliku maja ehitamise juures tuleb seda tingimata jälgida (autori arvamus).

2.2 Soojuse liikumine läbi hoone piirete

Kütmisega hoonesse antud soojus hajub sealt läbi välisseinte, viimase korruse lae, akende, uste, keldripõranda.

Ühekihiliste piirete puhul antakse kõigepealt ruumiõhu soojus välispiirete sisepindadele. Välispiirete sisepinnalt kandub soojus edasi tema välispinnale, kuna piire ise on soojust juhtivast materjalist. Jahe välisõhk soojeneb puutudes kokku piirde välispinnaga. Samaaegselt kiirgab piirde välispind soojust, mille neelab väliskeskkond.

Tegelikkuses on meil piirded mitmekihilised ja sellisel juhul on piirde üldine soojustakistus võrdne üksikute kihtide soojustakistuse summaga.

Piirete soojustakistust saab mõjutada isolatsioonikihi soojustakistuse ja paksuse valikuga. Isolatsioonikihi paksuse suurendamise efekt väheneb aga tunduvalt, kui see ületab 200 mm. Siis hakkavad ilmema külmasildade mõjud. Külmasild tekib hoone välispiirde soojustuse kohaliku vähenemise tulemusena. Kõige tavalisemateks külmasildadeks on isolatsioonikihti läbivad või selle paksust vähendavad talad, karkassid, aknasüvendid jm.

Piirete soojustakistuse suurendamiseks võib neisse jätta kinnised õhkvaheed, kus suurem osa soojusest levib konvektiivse ja kiirgusliku soojusülekanne teel ja väike osa soojusjuhtivuse teel. Otstarbekas on kasutada mitut kitsast õhkvahet, nagu näiteks kolmekordsed aknad. Laiemad õhkvaheed on otstarbekas täita poorse materjaliga, näiteks mineraalvatiga (Angelstok 2009).

Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

- külmasilla suuremast soojusjuhtivusest põhjustatud madalam sisepinnatemperatuur ja sellest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni,
- madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust, tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest,
- külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures on kasvanud külmasildade suhteline osakaal hoone soojuskadudest (Kalamees jt. 2011).

Välisseinte välispinna soojustamiseks võib kasutada päikesekiirgust läbilaskvaid isolatsioonimaterjale. Need on näiteks mitmesugused plastid, karg-, kapillaar- ja vahtkonstruktsioonid. Selline isolatsioon laseb kiirgusel soojendada seina, kuid takistab soojal sealt tagasi välja minna. Seinast kandub soojus edasi siseruumidesse. Isolatsiooni ja seina vahel ei tohiks olla õhuvahet (Angelstok 2009).

Soojustuseks sobivad erinevad soojustusvillaplaadid. Villaplaadid on valmistatud anorgaanilisest ja keemiliselt neutraalsest materjalist ning ei sisalda korrosiooni tekitavaid komponente. Näiteks klaasvill on lõhnatu, ei mädane ega paku soodsat kasvupinnast hallituseentele. Klaasvilla plaatide peamised kasutuskohad on katused, põrandad, seinad ja vahelaed. Klaasvill on ka väga hea heliisolaator. Soojustusplaadid paigaldatakse enamasti puit- või metallsõrestike vahele ilma lisakinnitusvahendeid kasutamata. Optimaalse soojusisolatsiooni tagamiseks peab isolatsioonimaterjal täitma kogu selleks mõeldud ruumi. Seetõttu peaksid isolatsioonimaterjali mõõtmed olema arvestuslikest mõõtudest veidi suuremad. Spetsiaalseid kinnitusvahendeid kasutades saab soojustusplaate paigaldada ilma sõrestikkonstruktsioonita (Saint-Gobain 2013).

2.3 Küttesüsteemide liigitus ja valik

Inimkonna esimeseks küttesüsteemiks oli lõke, mis levitas soojuskiirgust. Põlemisel tekkivate suitsugaaside eemalejuhtimiseks võeti kasutusele korsten. Korstnaga lõkkest sai kamin, mis on tänapäevalgi kasutatav kütteseade. Kaminalt saadavate suitsugaaside soojushulga suurendamiseks juhiti suitsugaasid kanalitesse, kus nad andsid oma soojust ära kanali

materjalile. Sel viisil salvestatud soojust sai kasutada ruumi kütteks pikema aja jooksul ja nii tekkis ahi. Ahi soojendab õhku ruumis loomuliku konvektsiooni teel.

Hoonete kütmissviisideks on **kohtküte, keskküte ja kaugküte**.

Kohtküttesüsteemis soojendab üks kütteseade ühte ruumi või selle osa.

Keskküttesüsteemid varustavad soojust ühest kütteseadmest paljusid ruume, terveid hooneid.

Suurem arv elamuid või korrusmaju on ühendatud kaugküttesüsteemiga.

Soojuskandja annab temas leiduva soojusenergia edasi küttekehale, mille pinnalt soojus levib ruumi kiirguse, konvektsiooni ja vähesel määral soojusjuhtivuse teel.

Kõige levinum soojuskandja on vesi. Tal on suur erisoojus (1kcal/kg °C), mis võimaldab väikese veehulgaga transportida suuri soojushulkasid ilma, et vee temperatuuri oleks vaja tõsta eriti kõrgele. Puuduseks on vee suur erikaal, mis põhjustab suurt energiakulu tema transpordil.

Kütmine tagab hoone kasutamiseks vajaliku soojusolukorra, mis omakorda mõjutab tugevasti inimese organismi. Liiga kõrge temperatuuri puhul inimese vaimne ja füüsiline teovõime langeb. Liiga madal temperatuur põhjustab samuti tööviljakuse langust ning on eriti ohtlik vanuritele ja haigetele.

Küttesüsteem tuleb projekteerida ja ehitada nii, et oleks tagatud tuleohutus, tõmme, põlemisgaaside lekkekindlus, pikk kasutusiga ja tugevus. Terve süsteem peab taluma temperatuuri, korrosiooni, puhastamise ja tahma põlemise mõjusid.

Hoone energiatarve ja küttesüsteemi valik sõltuvad hoone mahust, arhitektuurist, elanike arvust ja nende harjumustest, ehituse kvaliteedist, ehitustehniliste ja soojustehniliste lahenduste kooskõlast, hoone paiknemisest krundil, ventilatsioonist jne (Angelstok 2009).

Aastasadu on Eestis ainsaks kütteallikaks olnud mets. Metsa tuleb aeg-ajalt puhastada. Mets on taastuv. Puidu hind küttena on odav. Käesoleva töö autor leiab, et kütmissviisidest on energiasäästlikule väikeelamule kõige sobilikumaks kütmissviisiks kohtküte ja järgnevatel alapunktides tulebki juttu selle kütmissliigi erinevatest võimalustest (autori arvamus).

2.4 Väikeelamule taastuenergia põhinevad sobilikud kütmissviisid

Ahjud ja kaminahjud – ahiküte on väga levinud kütmissviis vanemates hoonetes ja populaarne väikeelamutes. Kulutused ahjude ehitamisel on väikesed. Ahjud kasutavad kohalikke kütuseid ja nende kasutegur on küllaltki kõrge (kuni 75%).

Ahikütte puudusteks on tuleohtlikkus, vingugaasi oht ahju ebaõige kütmise korral, töömahukus (kütuse veoks ja säilitamiseks on vaja transporti ja hoiuruumi), ahjusid ja korstnaid tuleb perioodiliselt puhastada, ahi võtab enda alla kasulikku põrandapinda.

Ahjusid liigitatakse soojusmahtuvuse järgi suure ja keskmise soojussalvestusega ja soojust mittesalvestavateks. Suure soojussalvestusega ahjud on paksuseinalised (koldes vähemalt 12 cm, mujal vähemalt 6 cm). Keskmise soojussalvestusega on õhukeseseinalised ahjud (koldes alla 12 cm, mujal 4...6 cm). Soojust mittesalvestavad on voodrita või osalise õhukese voodriga metallahjud (Angelstok 2009).

Soojust salvestavate ahjude pinna välistemperatuur ei ületa mõõdukal kütmisel 90 °C.

Soojust mittesalvestavate ahjude pinnatemperatuur võib olla kõrgem, ulatudes 160...200 °C, seega on nad tuleohtlikumad.

Ahjud ehitatakse parema tõmbe saamise huvides võimalikult lähedale korstnatele. Korstnad aga ehitatakse hoonete keskele. Ühe ahjuga on otstarbekas kütta mitut ruumi.

Ahjude ladumiseks kasutatakse glasuuritud või glasuurimata ahjupotte ja punaseid telliseid. Kolded vooderdatakse seestpoolt tulekindlate kividega. Ahjude metallosad - restid, luugid, ukсед, klapid jm valmistatakse hallmalmist, mis talub kõrget temperatuuri ja ei korrodeeru (Angelstok 2009).

Antud töö autor leiab, et kompaktselt projekteeritud energiasäästliku väikeelamu jaoks on ahi või siis kaminahi ainuõige kohtküttelahendus, kuna keskselt paigaldatud soojaandjana kandub soojus ühtlaselt igas suunas nii esimesel kui ka teisel korrusel ning sõltuvalt elamu suurusest välistab muude küttekehade vajaduse (vt. lisa 1).

Pliidid - üheaegselt ruumi kütmist ja toiduvalmistamist võimaldab soemüüriga pliit. Pliidi kütmisel tekkivad suitsugaasid juhatakse soemüüri lõõridesse, mille seinad kuumenevad ja annavad soojuse edasi ruumile. Pliit ehitatakse tavaliselt selliselt, et suvel soemüür ei soojene. Soemüüriga pliit kuulub väikese soojussalvestusega ahjude liiki, mis kütmisel kiiresti soojenevad ja kütmise lõpetamise järel suhteliselt kiiresti jahtuvad (vt. lisa 2).

Pliidi küttekolle peab olema restiga. Koldes tekkiva soojuse täielikumaks ära kasutamiseks võiks koldesse olla paigutatud nn pliidipudelid, mis kujutavad endast küttekeha. Need on

vasest, malmist või tsingitud terasest torust, milles ringleb vesi. Kolde leek ja kuumad suitsugaasid soojendavad küttekehast läbivoolavat vett, mida kasutatakse kas soojaveesüsteemis või ruumi kütteks (Angelstok 2009).

Korsten - on kohtküttesüsteemi oluline osa, mis projekteeritakse arvestades temaga liituvat kütteseadet ja kasutatavat kütust. Korsten peab tagama piisava tõmbe, olema ohutu, küllalt tugev ja võimalikult pika kasutuseaga. Korsten on omaette ehitis, mis toetatakse vundamendile, et tagada tema stabiilsus. Kütteseadet peab korstna suhtes olema nii, et suitsulõõri saaks juhtida võimalikult otse üles. See tagab parema tõmbe. Korsten võib olla laotud tellistest, moodulitest või terastarinditest. Teraskorstnates on väliskesta sees roostevabast terasest sisekorsten. Nende vahel peab olema mittepõlev soojusisolatsioon.

Korsten peab ulatuma üle katuse. Kütteseadet ja korsten peavad omavahel sobima. Tuleb teada kütteseadme väljundgaaside temperatuuri normaalsel kütmisel. Korstna temperatuuriklass ei tohi olla madalam kui kütteseadme väljundgaaside temperatuur (Angelstok 2009).

Antud töö autor leiab, et korsten peab väikeelamu juures täitma lisaks suitsugaaside eemaldajana veel ka kütte- ja ventilatsioonisüsteemi rolli. Küttesüsteemina just seetõttu, et kuumade suitsugaaside eemaldamisega salvestub osa soojust korstnasse ning eraldub hiljem läbi korstna seinaga tupp. Seetõttu võiks korsten olla ehitatud soojust salvestavast materjalist (punane tellis). Ehitades mitme lõõriga korstna, saab ühte lõõridest kasutada ventilatsiooniks.

2.5 Päikeseenergia kasutamine energiasäästliku väikeelamu juures

Päikesekiirgust, mille tihedus maapinnal risti päikesekiirtega on ligikaudu 1 kW/m², saab suhteliselt lihtsalt muundada soojusenergiaks (Angelstok 2009).

Soojusliku päikeseküttesüsteemiga (*solar thermal system*) saab katta osa hoone:

- Sooja tarbevee energiavajadusest,
- Ruumide energia küttevajadusest.

Päikeseküte – on päikese kiirgusel põhinev küte. Passiivse päikeseküte puhul neelavad päikesekiirgust hoone eriehitusega seinad või lame soojusneeldur *päikesepaneel*. Aktiivse päikeseküte puhul edastab läbi päikeseküte pumbatav või puhutav soojuskandja soojust

salvestisse, -vahetisse või -pumpa ning nende kaudu keskkütte- või kuumaveesüsteemi (Tanning 2010).

Passiivse päikesekütte korral on juba hoone projekteerimisel arvesse võetud suuremate akende paigutust lõuna suunda ning konstruktsioonide soojasalvestamist. Kuna aknad lasevad läbi lühilainelist päikesekiirgust, kuid ei lase ruumist välja pikalainelist soojuskiirgust, siis võib aken isegi külma ilmaga ruumi kütta (Angelstok 2009).

Ühepereelamu kuumaveesüsteemides on kollektori tavaline suurus 4–6 m². Nii ruumide kütmiseks, kui ka kuuma vee saamiseks mõeldud süsteemides võib kollektori pindala ulatuda 10 - 30 m²-ni. Kodude kuumaveesüsteemides on salvesti maht kollektori ühe ruutmeetri kohta harilikult 50–60 liitrit. Nii ruumide kütmiseks kui ka kuuma vee tootmiseks mõeldud süsteemide puhul on salvesti maht tavaliselt 25–30 liitrit kollektori pinna ühe ruutmeetri kohta (Tanning 2010).

Päikesekollektorite optimaalseks suunaks loetakse lõuna suunda, asupaiga laiuskraadile vastava kaldenurgaga. Eestis on see 45–60° (vaata joonis nr 1). Suvepäikese optimaalseks kasutamiseks loetakse 20–35° ja talvel annab hea tulemuse 60–70° kraadine kalle või isegi 90 – kraadine fassaadikollektor. On arvatud, et eesti ühepereelamus, kus iga pereliige tarbib keskmiselt 35 liitrit 45–50°-kraadilist vett päevas, on sooja tarbevee tootmisel võimalik saavutada päikesekütte osakaaluks aastas ühe 2,5 m²-se kollektoriga juba 50%, kahe- kolme kollektoriga juba 70–80% (Akrom-Ex 2012).



Joonis nr 1

Vee soojendamine päikesepaneelide abil on Eestis vaikselt aga kindlalt järjest rohkem kasutamist leidmas. Sellist lahendust saab kasutada nii sooja tarbevee tootmiseks kui ka küttesüsteemi toetava lahendusena. Suvisel päikesepaistelisel ajal suudab selline lahendus pea täielikult katta vajaliku tarbevee vajaduse. Kogu süsteem annab reaalselt kasu umbes 6 kuni 8 kuud aastas. Eestis saab päikesekollektoritega edukalt toota sooja tarbevett veebruari keskelt oktoobri alguseni.

Eestis on levinumad 2 tüüpi päikesepaneelid:



Tasapinnalised päikesekollektorid (joonis nr 2).



Vaakumtorudega päikesekollektorid (joonis nr 3).

Eelistada tasuks vaakumtorudega päikesekollektoreid, sest need suudavad päikesekiirgust paremini kätte saada - nad on umbes 30% võimsamad, kui tasapinnalised kollektorid.

Seda seetõttu, et ükskõik, mis ilmakaarest päike paistab, pakub vaakumtorudega kollektor päikesele alati sama neeldumispindala (Solotent 2009).

Lisaks on vaakumtorudega päikesekollektorite puhul võimalik päikeseenergiast osaliselt kasu saada ka hajuspilvede korral ning süsteem toimib ka kuni 30 miinuskraadi juures. Tõsi, see

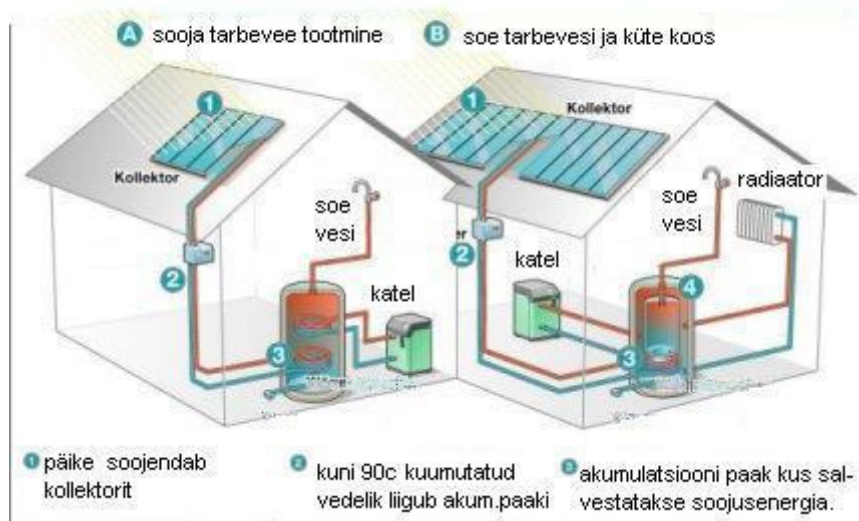
lahendus on ühtlasi ka 30% kallim (OÜ 4Projekt 2009–2012).

Vaakumtorudega päikesepaneelides muudab toru sisepinnale kantud selektiivne kate päikesekiirguse soojusenergiaks. Torus asetsevate alumiiniumribade abil antakse see edasi vasktorust küttekehale, milles kasutatakse soojuskandjana vedelikku. Soojuse mõjul vedelik aurustub ja tõuseb üles kollektori soojusvahetisse, kust energia kantakse vasktoru seinaga kaudu üle vedelikule, mille abil boilerivett soojendatakse. Tsirkulatsioon kestab seni, kuni päike suudab kollektori pinda soojendada. Paneel paigaldatakse täpselt lõuna suunda 30–60° nurga all. Tavaoludes ei vaja paneel hooldust, sest tänu vaakumtoru kaarjale kujule hoiavad nii tuul kui vihm paneelipinna puhtana. Toru purunemisel on selle vahetamine lihtne, ei maksa palju ega nõua ohutusnõuete ja kasutusjuhiste järgimisele spetsiaalseid oskusi. Vaakumtorudes ei ole soojakadusid (Maasik 2008).

Päikeseenergial põhineva soojaveesüsteemi koostisosad:

- **päikesekollektor**
- **veeboileri**
- **paisupaak**
- **pump**
- **kontrollerid ja juhtimisautomaatika.**

Mitu m² peaks päikesekollektoreid olema, sõltub kokkuvõttes konkreetsest lahendusest ja soovidest. Näiteks 150 m² maja puhul, mis lisaks tarbevee soojendamisele ka maja küttesüsteemi tarbeks vett aitaks soojendada, võiks päikesekollektorite pind olla umbes 20m². Igal juhul on kasulik integreerida päikeseenergial toimiv soojaveesüsteem olemasoleva küttesüsteemiga nn lisakütte lahendusena. Nii muutub süsteem veelgi efektiivsemaks ja süsteemi tasuvusaeg väheneb. Ideaalsetes oludes, kus päikesekiired langevad risti kollektori tasapinnaga, ulatub süsteemi kasutegur lausa 90%-ni (OÜ 4Projekt 2009–2012).



Päikeseenergia kasutamise võimalusi (joonis nr 4) (Sonnest 2012).

Päikesepaneelid ehk PV- (ingl. k. „*photovoltaic*“) paneelid võimaldavad keskkonnasõbralikku ja sõltumatut elektritootmist. Päikesepaneelide valmistamiseks kulutatud energiakogus jääb oluliselt alla paneelide eluea jooksul toodetud energiale. PV-paneelide ligikaudseks elueaks loetakse 25–30 aastat. Teiste taastuvenergia liikide ees on PV-süsteemil teatud eelised:

- erinevalt generaatoritest ja koostootmisjaamadest ei vaja päikeseelektri süsteem kütust;
- PV-süsteemil ei ole liikuvaid osi, selle paigaldamine ja kasutus on lihtne ning peaaegu täiesti hooldusvaba;
- erinevalt tuule ja hüdroenergia seadmetest ei ole päikesepaneelide kasutamisel piiranguid, neid võib lihtsalt paigaldada kõikjale asulatesse;

PV-paneelid sobivad asendama muid katuse või fassaadikattematerjale, kuna nad on valmistatud veekindlast materjalist ja paigaldatavad teineteisega seotud moodulitena (Tanning 2010).

Päike omab energiaallikana tohutut potentsiaali päike energiaallikana omab. Ainuüksi kahe päeva jooksul kiiratakse Maale rohkem energiat, kui kõikidest maa nafta- ja kivisüevarudest toota saaks.

Üheks peamiseks takistuseks päikeselektrijaama investeerimiseks on kindlasti hind. Rusikareegli järgi maksab hetkel 1kW päikesepaneeli ca 1500 eurot. Ekspertide arvates on

oodata 10 aasta perspektiivis hinnatasemeks kuni veerandit tänasest tasemest. Niisiis on päikeseenergia ainuke energiaallikas, mille hind on langemas ka pikemas perspektiivis.

Ekvaatoril on päikese kiirgusintensiivsus veidi rohkem kui kahekordne võrreldes meie kliimavöötmega. Mis aga päikeseelektrit puudutab, siis on meie kliima – mitte arvestades päikesekiirgust – parim päikeseelektri tootmiseks. Kuigi lõuna pool on päikesekiirgus suurem, valitseb seal ka oluliselt kõrgem õhutemperatuur. Paneelid kuumenevad sellises keskkonnas oluliselt rohkem ning seetõttu langeb ka paneelide kasutegur. Lisaks suurendavad suur kuumus ja suured temperatuurikõikumised päikesepaneelide ja elektroonika vananemist. Enamus päikesepaneeli tagab madalal temperatuuril parema kasuteguri. Päikesepaneelid muudavad elektriks nii hajusat valgust nagu ka otsest päikesekiirgust (Urva 2012).

Autori arvamus on, et taastuvenergiaallikatest sobib Eesti tingimustes päikeseenergia kõige paremini energiasäästlikule väikeelamule. Ta on vaikne, ei sega silma, kui paigutada katusele, ega vaja tihedat hooldust. Tuuleenergia puhul on asukoht oluline, kuna sügaval metsas või küngaste vahel, rääkimata isegi põllu peal olemisest, ei pruugi piisavalt tuult olla, et saavutada maksimaalne kasu tuulegeneraatorist. Suure tuule puhul lülitab tuulegeneraator ennast ohutuse mõttes välja ning kaotab seetõttu samuti oma tootlikkuse.

2.6 Õhuvahetus

Üks levinumaid puudusi kodudes ja tööruumides on vähene õhuvahetus ning sellega kaasnevad probleemid: niiskuse- ja hallituseoht ning liiga kõrge temperatuur. Üheks lihtsamaks ja ökonoomsemaks lahenduseks olukorra parandamisel on soojusvahetiga ventilatsiooniseadmed, ehk pendeltüüpi ventilatsiooniseadmed. Nad töötavad paarikaupa (sünkroniseeritud läbi ühise kontrolleri). Iga seade puhub 70 sek. õhku sisse ja 70 sek. välja. Tsükkel kordub pidevalt.

Väljatõmbel liigub soe õhk toast välja, soojendades üles soojusakumulaatori. Sissepuhkel värskelt ja jahe välisõhk puhutakse läbi eelnevalt väljatõmbe faasis soojendatud akumulaatori tupp. Akumulaator annab soojuse õhule üle. Tupp jõuab värskelt ja eelsoojendatud õhk.

Suvel on neid seadmeid võimalik kasutada passiijahutuseks. Lülitades öösel süsteemi tööle ilma soojustagastuseta režiimis, saame ruumid jaheda välisõhuga maha jahutada.

Pendeltüüpi ventilatsiooniseadmed taaskasutavad kuni 92% vahetatava õhu soojusenergiast, mis aitab küttekulusid oluliselt kokku hoida. Aknaid avamata on siseruumides tagatud soovitud temperatuuriga puhas õhk (Kiisler 2008).

2.7 Vabasoojuse mõju

Ruumi vabasoojus on soojus, mis kandub ruumiõhku inimestelt, valgustusest, tegevusega seotud seadmetest ja hoone tarindist.

Õhk ise ei absorbeeri kiirgust: päikesekiirgust, valgustite ja soojade pindade kiirgust. Niipea aga, kui kiirgus tabab tahket pinda, muutub see soojuseks ja pinna temperatuur tõuseb. Kui pinna temperatuur tõuseb kõrgemale õhu temperatuurist, kandub soojus konvektiivselt ruumiõhku.

Inimesed eraldavad soojust kolmel viisil: konvektsiooni, kiirguse ja niiskuse aurumisega.

Konvektsioon on neist ilmne lisa ruumi vabasoojusele. Hingeõhuga ja naha kaudu ruumi eralduv aur on niinimetatud varjatud soojus. See lisab õhku niiskust, kuid ei mõjuta õhutemperatuuri. Kiirgus inimestelt mängib piiratud osa, salvestub tarindi pindadesse ja võib nende temperatuuri mõjutada vaid marginaalselt.

Täiskasvanud inimene eraldab 60 W vabasoojust. Püsiva kasutuse korral eraldab sülearvuti koos laadijaga umbes 20–40 W soojust (Abel, Voll 2010).

2.8 Suvine päikesekaitse ja palavuse vältimine

Juhul, kui hoonel on suuremad klaaspinnad suunatud itta või läände, tuleb tähelepanu pöörata piisava päikesekaitse saavutamiseks. Lõunaküljes on varjudega päikesekaitse soovitatav. Päikesekaitselahenduste kavandamisel tuleb tähele panna, et lisaks päikese otsekiirgusele varjavad sellised lahendused ka päikese hajuskiirgust, mis mõjutavad ruumide valgustatust päevavalgusega. Seetõttu liigutatavate või eemaldatavate päikesekaitse lahenduste rakendamine võimaldab suuremat paindlikkust erinevates olukordades. Lisaks sellele tuleb suvise palavuse vältimiseks ruume jahutada akna kaudu tuulutamisega. Efekt on suurem, kui seda teha öösiti, kui õhk on jahedam.

Üldiselt kui kasutatakse tõhusaid päikesekaitse lahendusi ja liigsoojus eemaldatakse hoonest akende kaudu, pole Eesti kliimas eluhoones kvaliteetse sisekliima tagamiseks aktiivset jahutust vaja projekteerida (Mauring jt. 2009).

2.9 Valgustingimused

Kvaliteetne ruum eeldab ka piisavaid ja kvaliteetseid valgustingimusi. Planeerides hoone siseruumide jaoks häid valgustingimusi on vaja arvestada hulga erinevate teguritega, et suurendada hoonesse jõudvat päevavalguse hulka, kuid samas vähendada päikesekiirgusest tingitud ruumide ülekuumenemist ja jahutusvajadust.

Päevavalguse ehk taevavalguse (*skylight*) all mõistetakse hajuvalgust, mis lähtub atmosfäärist või peegeldub hoonesse seda ümbritsevatelt pindadelt. Päevavalguse intensiivsus on seotud taeva heledusega ning varieerub sõltuvalt kellaajast, pilvisusest ning aastaajast.

Päikesekiirguse ehk päikesevalguse (*sunlight*) all mõistetakse päikeselt lähtuvat otsekiirgust, mis on päevavalgusest oluliselt heledam. Kuna päikese asend taevas muutub sõltuvalt kella ja aastaajast ning kiirguse intensiivsus ja hulk mingis punktis on tugevalt mõjutatud pilvedest, puudest, hoonetest ja teistest ümberkaudsetest objektidest, siis ei ole see valgustingimuste tagamisel usaldusväärne allikas. Päikesekiirguse suur heledus tekitab ruumides visuaalselt ebamugavaid kontraste ja peegeldusi ning võib mõjuda pimestavalt.

Seega eeldab loomulike valgustingimuste optimeerimine nii erinevate klaasitüüpide kui varjatavate ja hajutavate detailide läbimõeldud kasutamist, et hoida päikese otsekiirgust väljas ning lasta hajuvalgust võimalikult sügavale ruumidesse tungida.

Päevavalgustegur (*daylight factor*) – on levinuim viis loomulike valgustingimuste piisavuse hindamiseks. See on suurus, mis näitab protsentuaalselt siseruumi valitud punktis valitseva päevavalguse intensiivsuse ja väliskeskkonna päevavalguse intensiivsuse suhet lauspilvise ilma korral.

Olulised aspektid valgustingimustega arvestamisel on:

- Loomulike valgustingimuste optimeerimisega tuleb tegeleda projekteerimise algfaasis
- Loomulike valgustingimuste parendamisel tuleb paralleelselt analüüsida tehtavate projekteerimisotsuste mõju jahutusvajadusele
- Tuleb arvestada valgustingimuste ühtlusele läbi erinevate ruumipunktide
- Horisontaalsed klaaspinnad (katuseaknad, valgusšahtid) annavad rohkem valgust

- Kõrged vertikaalsed avad juhivad valgust sügavamale ruumi kui laiad horisontaalsed avad
- Päevavalguse paremaks hajutamiseks ja peegeldamiseks ruumi sügavusse peaks materjalide peegeldustegurid olema lagede puhul 80%, seinade puhul 50–70% ja põrandate puhul 20–40% (Mauring jt. 2009).

Energiasäästliku maja üheks olulisemaks komponendiks on aknad, mis võiksid vastata passiivmaja standarditele. Passiivmaja standarditele vastavaid aknaid on meil alles viimasel ajal tootma hakatud. Selliste akende soojajuhtivuse nõuded on ranged ja lähemalt tuleb nendest juttu järgmises punktis (autori arvamus).

Valgustite puhul on oluline hubane ja soe sisevalgus. Selleks sobivad antud töö autori arvates LED- tehnoloogial valmistatud pirnid, mille energiatarve on viidud miinimumini.

3. SOBIVA PROJEKTI LEIDMINE VÄIKEMAJALE. MATERJALIDE VALIK

Antud töö autor projekteeris oma väikeelamu projekti ise. Eesti Vabariigi seadused lubavad kuni 60 m²-se ehitusaluse pindalaga ja kuni 5 m kõrget hoonet kohaliku omavalitsuse loal igal inimesel endal projekteerida. Töö autor soovis kõik elamuehitusele tehtavad kulud madalal hoida ja seetõttu ta seda võimalust ka kasutas.

Käesoleva töö autori õnneks leidis ta energiasäästlikule hoonele esitatavate nõudmiste suhtes sobiliku kinnistu ja sai hoone projekteerida ilmakaari arvestades (vt lisa 4).

Projekteeritud hoone asukoht on Tartumaal, Vara vallas, Kauda külas ja kinnistu nimi on Meerijõe. Kuna antud asukohas pole valla ehitusnõunik projekteerimistingimusi kehtestanud, sai töö autor projekteerida just sellise väikeelamu, nagu ta seda tahtis. Loomulikult tuli projekteerimisel ja ehitamisel projekti parandada ja muuta, arvestada tuli kõiki käesolevas töös kirjeldatud punkte.

Oma energiasäästlikusse väikemajja ehitas töö autor kaminahju ja pliidi. Lisaks nendele projekteeris töö autor majja ka sauna ning võimaluse, et ükskõik millist kohtkütmissviisi kasutada, saab ta sooja tarbevett. See välistab vajaduse elektrienergiat soojavee boileri kütmiseks kulutada (vt lisa 3). Suvise sooja tarbevee jaoks plaanib töö autor soetada päikeseenergial toimiva küttesüsteemi.

Uute tehnoloogiliste lahenduste, küttekehade paigutuse, akende ja uste asukoha muutmisega saavutati autori arvates optimaalseim lahendus energiasäästliku väikeelamu jaoks (vt lisa 5 ja 6).

Antud töö autor lähtus oma väikeelamu projekti koostades sellest, et seinamaterjal peab olema soojust salvestav. Seoses sellega jäid projekteerimisel välja puitkarkass -lahendused ja tuli analüüsida väikeplokkidest ning põhust/savist maja ehitamise võimalust. Põhust/savist maja ehitamisel antud töö autoril kogemus puudus ja vajalikke spetsialiste on selles valdkonnas veel vähe. Seega otsustas autor väikeplokkidest majaehitamise kasuks.

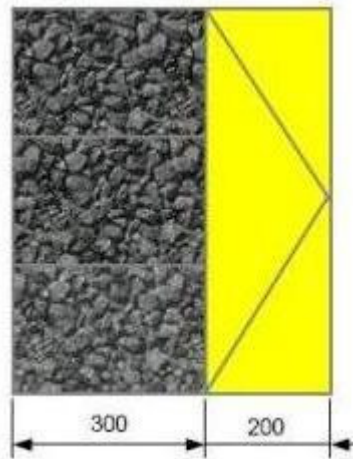
Väikeplokil seinamaterjalina on palju häid omadusi. Need omadused võiks mahutada näiteks sõnasse "turvalisus", mis tähendab, et plokid on: mittesüttivad, ei mädane, ei "mängi" oluliselt, ei karda närilisi, tugevad, taluvad koormusi, võimaldavad teostada väga mitmesuguseid huvitavaid idee-lahendusi, looduslikud või looduslike materjalide baasil materjal, ei põhjusta allergiaid, puhta vuugiga laotuna ei vaja reeglina lisaviimistlust, ei vaja kulukaid hooldus-, remonttöid, omavad võimet salvestada soojust ja pärast kütmist ruumi

tagastada, hea heli (müra) isolaatorid. Ehitusmaterjalide turul olevatest väikeplokkidest tuntumad on Fibo 3 ja Aeroc Ecoterm. Fibo ja Aeroc plokkide koos soojustusega tehniliste andmete võrdlemisel selgus, et Fibo näitajad on paremad (joonis nr 5). Kuna Aeroci plokkid on oma tehnoloogia poolest mittehingavad ja maja ehitamisel peab investeerima ka ventilatsioonisüsteemi, siis otsustas töö autor Fibo plokkidest maja ehitada. Lisaks sellele oli töö autor projekteerinud majja ehitatava korstna kolmelõõriliseks, millest 2 oleksid suitsu- ja üks ventilatsioonilõõr (autori arvamus).

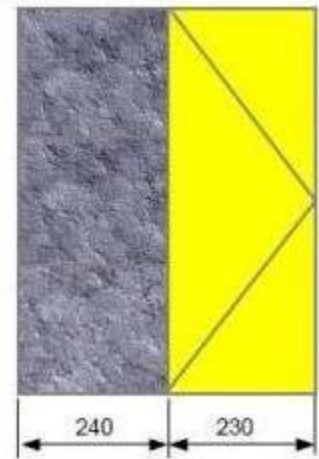
AEROC EcoTerm Plus 500 Keramsiitplokkid
Täiskiviseina (soojustuseta) Soojustatud
ligikaudne U-arv $\approx 0,17$



Soojustatud
ligikaudne U-arv $\approx 0,16$



Betoonplokkid
seina Soojustatud
ligikaudne U-arv $\approx 0,17$



Joonis nr 5. Erinevatest plokkidest sarnase soojapidavusega seinalahendused (Aeroc Jämerä AS 2013).

Antud töö autor soojustas oma väikeelamu välisseinad klaasvilla plaatidega kahes kihis. Esimesse kihti paigaldas ta 100 mm soojustust ja teise kihti 50 mm. Soojustuse kattis ta kinni tuuletõkke plaadiga ja välisviimistlusena kattis maja laudisega (vt lisa 8). Katuslae vahele paigutas autor 300 mm sama soojustust. Enne põrandate valamist paigutas töö autor tagasitäidetud liiva peale 120 mm paksuselt vahtpolüstüroolist põranda soojustusplaate. Maja vundament sai väljast soojustatud 100 mm paksuse vahtpolüstüroolist soojustusplaadiga. Esimene aasta tõi välja ka mõningad möödalaskmised soojustamisel, aga need on töö autoril praeguseks kõrvaldatud (autori arvamus).

Kuna akende soojajuhtivusest sõltub väga palju energiasäästliku maja energiakulust, tuli otsida võimalikult passiivmaja nõuetele vastavaid aknaid. Sellisteks akendeks leidis antud töö autor Geneo profiilidest aknasüsteemid (joonis nr 6), mille eelisteks on:

- esimene integreeritud armatuuriga aknaprofiilisüsteem.
- valmistatud kõrgtehnoloogilisest materjalist.
- oma klassi energiasäästlikuim (näit. $U_w = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$).
- parim helikindlus tänu terasarmatuuri puudumisele (Helikindlusklass: klaas 50 dB = $R_{w,P} 47 \text{ dB}$), optimaalne soojapidavus kaasa arvatud.
- sisseмурdmiskindlus kuni turvaastmeni 3.
- kõrge investeeeringute garantii tänu praeguste normidele (Rehau 2013).



Joonis nr 6

3.1 Väikeelamu energiatsükkel

Ehitise elutsükli analüüs on meetod selgitamaks ehitamise ning hoone kõigi eluetappidega kaasnevaid keskkonnamõjusid. Analüüsi kaudu loodetakse leida lahendusi ning vähendada keskkonnale langevat koormust. Ehitamiseks kasutatud materjalide omadustest ja karkassilahendustest sõltub hoone kasutusfaasis kütmiseks või jahutamiseks ning lammutusfaasis kulutatav energiakogus. Seetõttu on ehitusmaterjalidel oluline tähtsus.

Hoone elutsükli võib tinglikult jaotada kolmeks:

- 1) ehitus-
- 2) kasutus-

3) lammutusfaas

Loodussõbralikkuse vaatepunktist on oluline materjalide tootmiseks kulutatava energia ehk primaarenergia hulk ja sellega kaasneva emissiooni minimeerimine ning materjalide taaskasutatavus. Taaskasutamise all mõeldakse materjalide korduvkasutamist, ümbertöötlemist või põletamist.

Primaarenergia hõlmab kogu energiakulu, alates toormaterjali saamiseks kulutatud energiast lõpetades toote ehitusplatsile transportimisega. Materjali primaarenergia sisaldus sõltub kasutatava tehnoloogia efektiivsusest, toormaterjali transportimise kaugusest ja taaskasutatavate materjalide hulgast erinedes sõltuvalt tootest, tootmisviisidest, tootjast ja seadmetest.

Vähendamaks olulisi mõjutegureid – kulutatavat energiat ja emissiooni, tuleks majad projekteerida nii, et nende energiatarve oleks kasutusfaasis väike. Seda on võimalik saavutada, kasutades maksimaalselt ära päikeseenergiat, aga ka paigaldades läbimõeldult piisava soojustuse. Soojustusmaterjalide tootmisega kaasnevad emissioonid on võrreldes hoone kasutusfaasis ära hoitud emissioonidega (küttekulu väheneb) tühised. Näiteks on mitmepereelamu soojustamiseks kasutatava 100 mm paksuse kivivilla tootmisega kaasnev CO₂ kogus võrdne vaid kahe hoone kasutusaasta jooksul tänu soojustusele ära hoitud CO₂ kogusega.

Eestis välisseinamaterjalide elutsüklite võrdluses on kõige keskkonnasõbralikumaks osutunud kergsavimaja. Puitmaja ja kergsavimaja välisseina elutsükli etappidega kaasnev energiakulu ja emissioonid on sarnased, erinevus kahe seina vahel tekib taaskasutusvõimalusest.

Kergplokkimaja välisseinas on kõige energiarikkamad materjalid suure tihedusega telliskivid, tsemendil põhinev müürisegu ja kergkruusaplokid. Lisaks kasutatakse nende materjalide tootmiseks kõrgetemperatuuri. Põletusetapp on tootmisprotsessis ka peamiseks emissiooniallikaks, mistõttu on soovitatav kasutada võimalikult palju alternatiivenergiat ning loodussõbralikke kütuseid, nagu puit ja maagaas.

Hoone energiasisalduse ja tootmisega kaasnevaid emissioone saab vähendada ka materjalide taaskasutamise kaudu. Lähtudes jällegi keskkonnasõbralikkuse aspektist on ehitamiseks soovitatav valida materjale, mis pärast lammutamist käituksid inertsetena või oleksid komposteeritavad. Selle kaudu väheneb vajadus kulutada energiat ümbertöötamiseks (Esperk 2008).

3.2 Hinnakalkulatsioon valmis ehitisele

Tabel nr 1. Autori elamu kulutabel.

| | |
|---|--------------|
| 9.1 Kinnistu maksumus | 4000 |
| 9.2 Ehitusprojekt riigilõiv | 50 |
| 9.3 Omanikujäreelvalve | 300 |
| 9.4 Vundamendisüvend | 600 |
| 9.5 Kaevetööd s.h juurdesõidutee rajamine | 400 |
| 9.6 Juurdesõidutee pinnakate | 300 |
| 9.7 Elektriliitumine ja paigaldus | 2000 |
| 9.8 Vundament koos soojustuse ja tagasitäitega | 2000 |
| 9.9 Aluspõrand | 1500 |
| 9.10 Välisseinad | 4000 |
| 9.11 Vahe- ja katuslagi | 1500 |
| 9.12 Sisetrepp | 600 |
| 9.13 Aknad | 2000 |
| 9.14 Välis- ja siseuksed | 700 |
| 9.15 Terrass | 200 |
| 9.16 Katusematerjal ja vihmaveesüsteemid | 1000 |
| 9.17 Siseseinad | 2000 |
| 9.18 Lagede viimistlus | 1000 |
| 9.19 Põrandate ehitus | 2500 |
| 9.20 Küttekehade ja korstna ehitus | 4000 |
| 9.21 Veevarustus ja kanalisatsioon | 1500 |
| 9.22 Ventilatsioon | 300 |
| 9.23 Majasisesed elektritööd | 500 |
| 9.24 Määratlemata kulud | 5000 |
| 9.25 Päikesekütte süsteem sooja tarbevee saamiseks (vt lisa 7). | 4000 |
| KOKKU koos käibemaksuga: | 41950 |

Töö autor on hinnakalkulatsiooni koostanud võttes arvesse oma kulutabelisse sisse kantud väljaminekuid, mille järgi on tema praeguse elamu valmishituseks kulunud ca 36000 eurot. Sellele lisanduvad kulutused päikeseenergial töötavale soojaveesüsteemile. Hinnad tabelis on ümardatud (autori arvamus).

3.3 Energiatõhususe arvutamine. Energiamärgis.

| | |
|---|--------------|
| Taastuval toorainel põhineva kütuse kaalumistegur | $K_s = 0,75$ |
| Elektri kaalumistegur | $K_e = 2,0$ |
| Ahju kasutegur | $K_t = 0,75$ |

Ahjus segapuidu (niiskussisaldus 20%) põlemisel kütteväärtus 1300 kWh/m³, kasepuude põlemisel 1500 kWh/m³ ja puiduhakke põlemisel kütteväärtus 800 kWh/m³ (Angelstok 2009).

Seega:

$$\text{Energiatõhususarv} = \frac{K_t \times (K_s \times \text{Soojusenergia (kWh/a)} + K_e \times \text{Elektrienergia (kWh/a)})}{\text{Põrandapind (m}^2\text{)}} =$$

$$= \frac{K_t \times (0,75 \times 9100) + 2,0 \times 3000}{100} = 111,1875 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \times \text{a})$$

Selgituseks antud valemis olevatele numbritele lisan, et 9100 on 2012 aprillist 2013 aasta aprillini reaalselt kulutatud 7 m³ segapuidu põlemise kütteväärtus ja 3000 on aastane elektritarbimine ilma sooja vee saamiseks kulutatud energiata.

Seega vastab minu poolt ehitatud väikemaja täielikult Eesti Vabariigi Valitsuse poolt välja antud energiatõhususe määruuses esitatud nõudele, mille järgi energiatõhususarv ei tohi ületada 160 kWh/(m² x a) (autori arvutused).

Energiamärgise arvutamine Finestum Ehitusekspertiisid OÜ kodulehel annab elamu energiamärgiseks B (Finestum 2013).

KOKKUVÕTE

Lõputöö teema – energiasäästlik väikeelamu – oli autoril peas mõlkunud juba alates sellest ajast, kui ta ülikooli astus. Energiasäästlikus on kogu maailmas järjest rohkem kajastatud ning seetõttu tahtis töö autor anda oma panuse teema käsitlusse.

Kui autor alustas käesoleva projekti kirjutamist, olid tal vaid pealiskaudsed teadmised ning ta ei osanud arvatagi, kui paljude uute teemadega tuleb tal kokku puutuda. Projekti kirjutamise käigus sai autor suurel hulgal infot, mida ta oma erialal tulevikus ära saab kasutada.

Lõputöö esimene peatükk annab ülevaate hetkel Eestis kehtivatest energiatõhususarvudest ja energiatõhususteguritest. Kuna nõuded muutuvad aasta-aastalt karmimaks, tõi autor välja ka energiatõhususarvu arvutusmeetodid.

Järgnenud punktides tõi töö autor välja peamised nõuded energiasäästliku maja ehitamisel ning lisas neile oma arvamused ja kommentaarid. Töö autor puutus kokku erinevate taastuvenergia teemadega. Pikemalt neist kirjeldas autor päikeseenergiat. See on teema, mida töö autor tahab ka oma elamu juures rakendada. Autor käsitles võimalusi, kuidas päikeseenergiast nii sooja tarbevett kui ka keskkütteks vajalikku soojust saada. Välja sai toodud kahte liiki päikesepaneelid ja päikeseenergial põhineva soojaveesüsteemi osad.

Kolmandas punktis kirjeldas töö autor energiasäästliku väikemaja projekti koostamist, materjalide, akende ja küttesüsteemide valikut elamusse.

Järgnevalt kirjeldas autor lisaks kõigile eelnenud punktides kirjeldatule veel väikeelamu elutsüklit ja selle erinevates faasides kuluvat energiat.

Kuna töö autor on viimase kolme aastaga oma energiasäästliku maja realselt valmis ehitanud ning sellele tehtud kulutused kirja pannud, soovis ta järgmises peatükis seda ka esitleda. Eesmärgiks on töö autoril innustada kõiki sarnast ettevõtmist kaaluvaid inimesi seda kindlasti tegema.

Viimases peatükis näitas töö autor, et tema väikeelamu on energiasäästlik nii kehtivate seaduste, kui ka reaalsete arvutuste tulemusena.

Üldiselt leiab töö autor, et möödas on ajad, kui ehitama asudes kasutati kõiki kättesaadavaid materjale. Hetkel on ehitusmaterjalide valik suur. Autor leiab, et esmatähtis on ehitusprotsess teoorias eelnevalt läbi töötada, kaaluda erinevaid soove ja nõudeid, panna see kõik kirja, leida soovitud materjalid, teha kuluarvestus ning alles siis töödega alustada.

LOW-ENERGY HOUSE

Toivo Salus

Summary

The aim of this bachelor thesis was to write about energy saving in private house. As we use energy every day, and its price is getting higher, we have to think how to save it. The second aim was to prove, that is possible to build a low-energy house with a reasonable budget.

Almost everyone has a place for living. We like to call it home. Many of us have to spend a lot of money for heating, electricity, water etc. Some of us have to pay for a loan. The amount of money that we have to spend just for a place to live can be very big.

With this thesis the author wants to show, how to plan a home, then build it, and how to plan it with all necessary things that low-energy house needs.

In data collecting process the author was surprised, of the complexity of low-energy houses. The author has been engaged with building and real estate for 15 years, and everything he learned with composing this thesis, he can now use in his work. There are many books and articles about possibilities of energy saving. The author had to collect all necessary data from different places and put it in this thesis.

Compared to the other buildings, the low-energy house is not much expensive to build. It just needs a good project and planning. At the end of this project the author wants to share a table with the budget he used to build his low-energy home in environment, he likes.

The purpose of this thesis was to encourage everyone to make a move in energy saving. The author hopes to break the myth, that building a low-energy house is very expensive. If somebody is dreaming of building a home, with low maintenance budget, then hopefully this thesis can give drive and guidance to fulfil this dream.

KASUTATUD KIRJANDUS

Abel, E., Voll, H., 2010. Hoonete energiatarve ja sisekliima. Presshouse. Tallinn. 249 lk.

Angelstok, F., 2009. Küttesüsteemid. 29 lk.

Energiatõhususe miinimumnõuded. Vabariigi Valitsuse määrus. 30.08.2012 // RT I 2012, 4.

Esperk, T., 2008. Ehitaja käsiraamat. Presshouse OÜ. Tallinn.

Kalamees, T., Alev, Ü., Arumägi, E., Ilomets, S., Just, A., Kallavus, U., 2011. Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I. Tallinna Tehnikaülikooli kirjastus. Tallinn. 114 lk.

Kiisler, E. (toimetaja), 2008. Ehitaja käsiraamat. Presshouse OÜ. Tallinn.

Maasik, I. 2008. TM Kodu&ehitus 6: 30-35.

Mauring, T., Hallik, J., Siiner, A., Valge, M., 2009. Passiivmajatehnoloogia. Kvaliteedi tagamine kõrge energiatõhususega hoone ehitamisel. TÜ Kirjastus. Tartu. 73 lk.

Tanning, L. 2010. Maailma energia ülevaade. III osa, Alternatiivsed. Süsi. Hüdro. Tulevik. Tallinn: Infotrükk. 251 lk.

Urva, U. 2012. Päikesepaneelid. Elektriala 3: 22-23.

Akrom-Ex OÜ, 2012. Päikesekütte süsteemid.

www.akromex.com/2012/PV.php#.UJpuccXZaYg 25.11.2012.

Finestum Ehitusekspertiisid OÜ, 2013. Energiamärgis.

<http://www.termo.ee/Infomaterjal/energiamargise%20arvutamine.php> 16.05.2013.

Jämerä Eesti AS, 2013. Tooted.

http://www.aeroc.ee/index.php?page=1055&lang=est&cnt=Passiivmaja_ja_AEROC
27.03.2013

Saint-Gobain Ehitustooted AS, 2013. Isover KL-33.

<http://www.isover.ee/infomaterjalid/tootekirjeldused> 24.04.2013.

Solotent OÜ. 2009, Vaakumtorukollektor SUN 3010 ja SUN 3015.

<http://www.solotent.ee/paneelid.html> 15.11.2012.

Rehau Polymer OÜ, Geneo profiilisüsteemid. www.rehau.ee 16.05.2013

4Project OÜ, 2012. Päikesepaneelid. <http://www.majaehitaja.ee/sildid/paikesepaneelid>
10.11.2012.

LISAD

Lisa 1: kaminahi (autori erakogu)



Lisa 2: pliit koos soojamüüriga (autori erakogu).



Lisa 3: saunaahi koos soojaveeboileriga (autori erakogu)

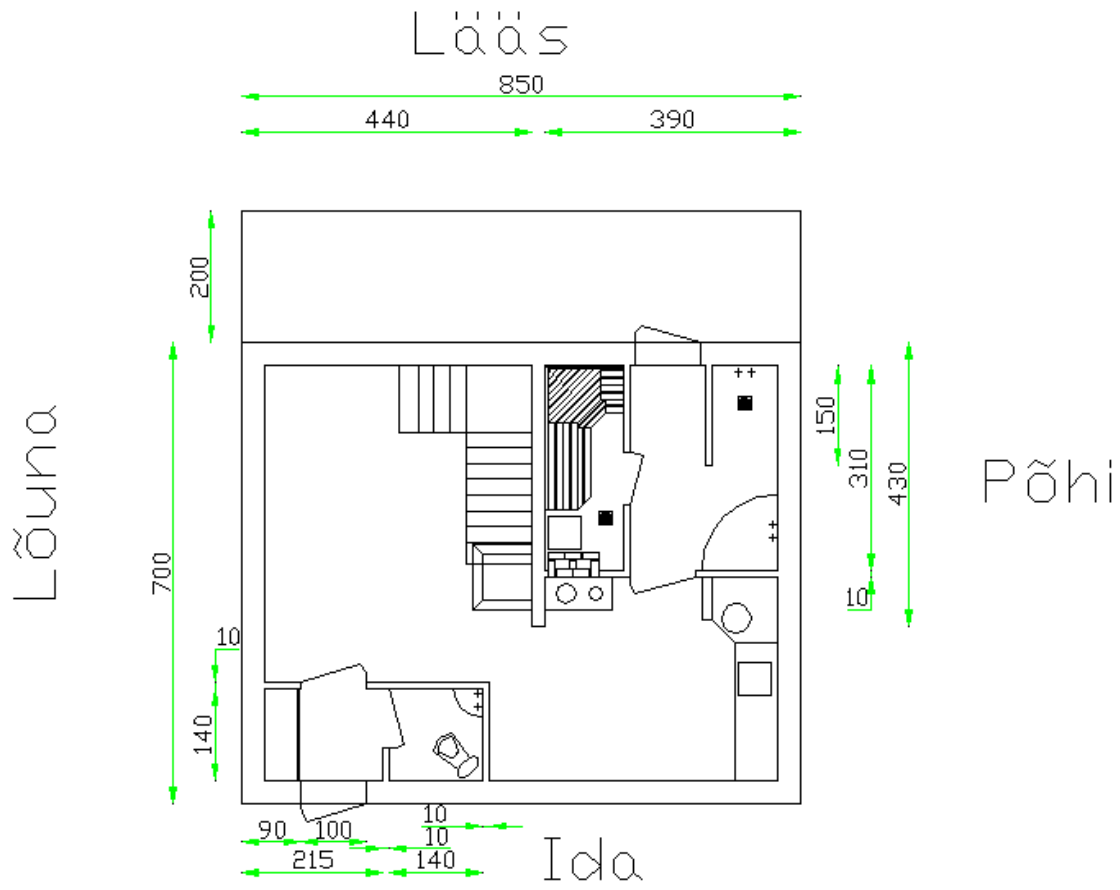


Lisa 4: Meerijõe, Kauda küla, Vara vald, Tartumaa

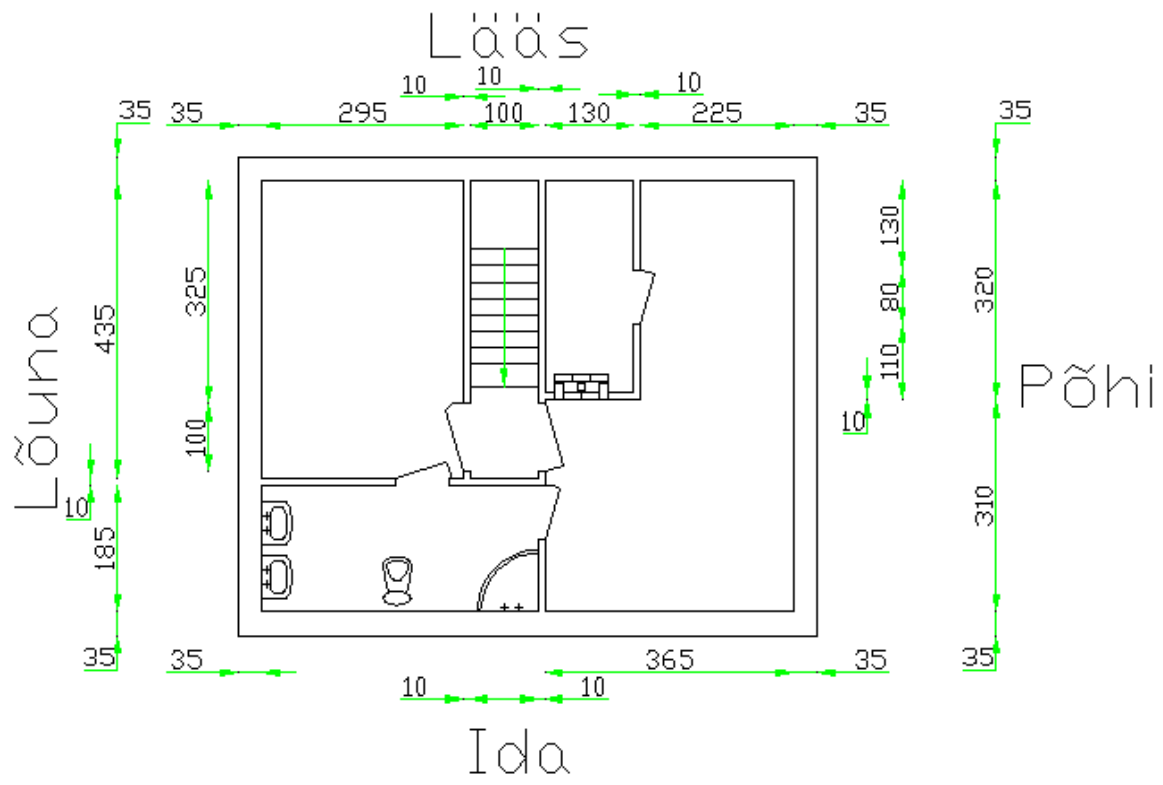
<http://xgis.maaamet.ee/ky/FindKYByT.asp?txtCU=86101:006:0291>



Lisa 5: Maja esimese korruse plaan



Lisa 6: Maja teise korruse plaan



Lisa 7: Päikeseenergiat põhinev soojaveesüsteem.

Tere.

Mahutid on kõik vertikaalasetusega. Põrandale paigaldatav.

Saadame esmapakkumise

Soojavee tootmise komplekt SWS-E / BE 300

Sisaldab

2 x 2.55 m² kollektoreid

Kolmesüsteemne mahupaak 300 l

Solaarjaam/automaatika päikesele SSR 25 ,energialoendur, andmete salvestus

Paisupaak SAG 25R

Termosegisti tarbeveele

Soojuskanal propüleenglükool 11 l

Sensorid

Elektrilise küttekeha lisamise võimalus

Hind komplektil 4 192 €

Lisandub projektipõhine materjal

Raam 610 €

Kinnitusdetailid 152 €

15 m roostevaba isoleeritud kaksiktorustik DN15 736 €

Abimaterjal 350 €

Materjal kokku 6 040 €

Soodushind 4 228 €

Paigaldus 1 000 €

Kokku 5 228 € +km

Nominaalvõimsus 3.64 kw

Aastane energiasaak 1820 kw / h / aastas

Garantii kollektoritele 10 a., paigaldus ja muud seadmed 2 a.

Tarneaeg 2-4 nädalat alates ettemaksust -50%

Parimate soovidega

Janno Sõber

5234159

SunHeat OÜ

janno@sunheat.ee

<http://www.sunheat.ee/>

Lisa 8: maja pildid



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Toivo Salus
sünnikuupäev: 04.02.1974 a.

annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose: „Energiasäästlik väikeelamu“

mille juhendaja on Erko Jakobson,

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **20.05.2013**