



EESTI-SVEITSIKOOSTOOPROGRAMM
ESTONIAN-SWISS COOPERATION PROGRAMME

Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine

Juhend väikeelamute projekteerijale, ehitajale ja tellijale

Targo Kalamees
Teet Tark

Tallinn 2012

Sisukord

1	Eessõna	3
2	Sissejuhatus	4
2.1	Madalenergia- ja liginullenergiaväikeelamu	4
2.2	Võrdlushoone	7
2.3	Sisekliima ja energiatõhususe eesmärgid	8
2.4	Energiatõhususe saavutamise tõendamispõhimõte	9
2.5	Energiatõhususarvu leidmise näited	11
3	Piirdetarindite arvutus ja nende mõju hoone energiakulule	14
3.1	Soojusjuhtivuskadod piirdetarindite kaudu	14
3.2	Külmasillad	17
3.3	Hoonepiirete õhupidavus	21
3.4	Välispiirete summaarne soojuserikadu	28
3.5	Piirdetarindite põhimõttelisi tüüplahendusi	29
4	Tehnosüsteemid ja nende mõju hoone energiakasutusele ning energiatõhususele	37
4.1	Energiaallikad	37
4.2	Ventilatsioon	46
4.3	Küttesüsteem	52
4.4	Jahutus	55
4.5	Valgustuse ja elektriseadmete elektritarve	56
4.6	Soe tarbevesi	56
4.7	Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve	57
5	Vabasoojused, päikesekaitse ja ülekütmise kontroll	58
5.1	Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojus	58
5.2	Klaasi omadused ja vabasoojus päikesest	59
5.3	Tarindite soojuslik massiivsus	60
6	Näited	61
6.1	Näide 1: leida hoone ligikaudne energiatõhususarv	61
6.2	Näide 2: mida teha, et näite 1 väikeelamu energiatõhususarv $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	64
6.3	Näide 3: näites 2 toodud väikeelamu PV-paneelide min. võimsus, et täita energiatõhususarvu kriteeriumi $ETA \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	65
6.4	Näide 4: $ETA \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kriteeriumi täitmine elektri tootmisega väiksema päikesepaneelide arvu puhul	66
7	Mõisted	69

1 Eessõna

Kõnessolev juhendmaterjal on koostatud Eesti-Šveitsi koostööprogrammi raames ja toetusel ning SA KredEx tellimisel. Tulenevalt Euroopa Liidu Energiatõhususe direktiivist (2010/31/EU) peavad alates 01.01.2021 kõik uued hooned, sh. ka väikeelamud vastama liginullenergiahoone nõuetele. See aeg pole enam kaugel ja liginullenergiahoonete kavandamisele on vaja mõtlema hakata juba täna. Missugune on liginullenergiahoone ja mis nõuetele peab see vastama, selle võib määrata iga liikmesriik iseseisvalt. Eesti-Šveitsi koostööprogrammi raames tehtud uurimistöo eesmärgiks oli määratleda Eesti tarbeks liginullenergiahoone ja kuluoptimaalse (ingl. *cost-optimal*) väikeelamu kriteeriumid ning anda suunad madalenergia- ja liginullenergiahoonete projekteerimise algfaasis tehtavate otsuste tegemiseks.

Uurimistöo käigus valmis neli aruannet:

- Cost optimal and nZEB energy performance levels for buildings;
- **Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine.**
Juhend väikeelamu projekteerijale, ehitajale ja tellijale;
- Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine.
Juhend korterelamu projekteerijale, ehitajale ja tellijale;
- Madalenergia- ja liginullenergiahoone kavandamine.
Juhend büroo- ja avaliku hoone tellijale.

See juhendmaterjal käsitleb väikeelamuid (eramu, paariselamu, ridaelamu) ja on mõeldud arhitektidele, inseneridele, tellijatele, arendajatele ja teistele energiatarbijatele väikeelamu kavandamisest huvitatud isikutele.

Uuringu ja juhendmaterjali koostamise aluseks võeti nn. võrdlushoone (vt. Joonis 2.5), mis esindaks nüüdisaegset arhitektuuri ja vastab Eesti tavadele.

Juhendis on esitatud võrdlushoone arvutustulemused graafikute kujul, mida saab kavandamise algjärgus kasutada ka teiste analoogsete hoonete energiakasutuse ja energiatarbijate arvude ligikaudseks hindamiseks.

2 Sissejuhatus

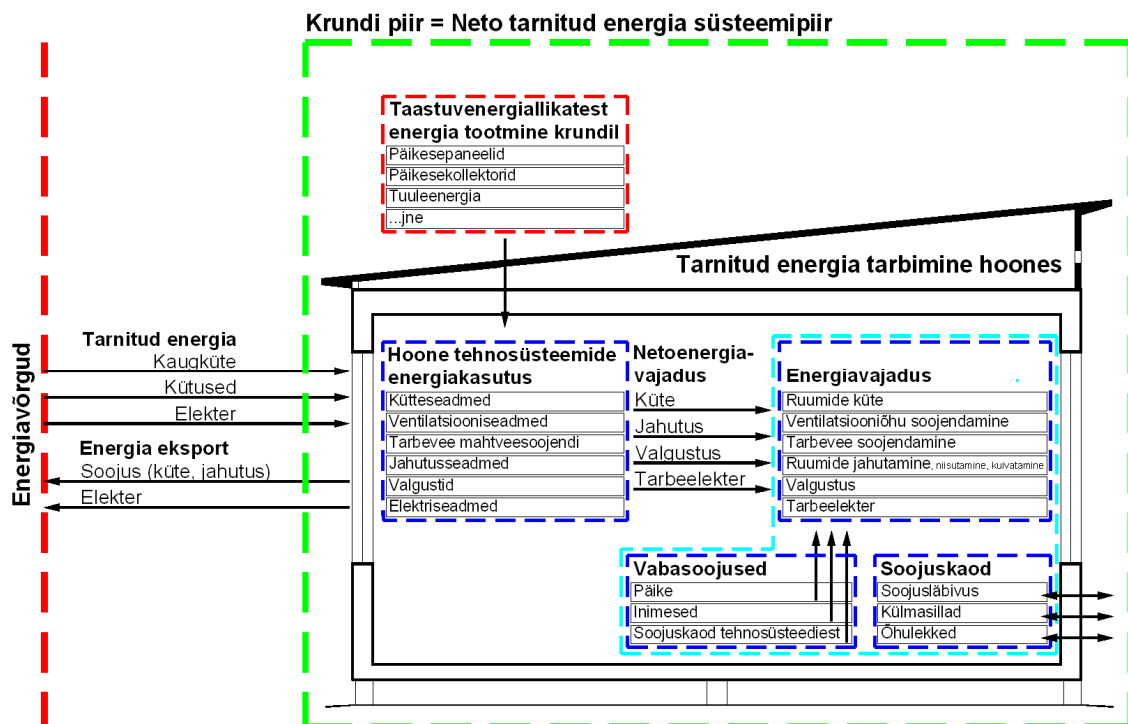
2.1 Madalenergia- ja liginullenergiaväikeelamu

Nii Eestis kui ka mujal kasutatakse väga erinevaid nimetusi, millega soovitakse tähistada energiatõhusat hoonet, nagu näiteks passiivmaja, madalenergiamaaja, A-klassi hoone, A+++ klassi maja, liginullenergiahoone, nullenergiahoone, plussenergiahoone, efektiivenergiahoone jne. Erinevad nimetused tekitavad segadust ja tihti ei saa eri osapooled (projekteerijad, tellijad, ehitajad, arendajad, tootjad jne) üksteisest aru, valminud hoone ei pruugi vastata mõne osapoole ootustele ning seda isegi vaatamata asjaolule, et kõik osapooled on teinud parima. Probleem tekkis sellest, et räägiti üksteisest mööda – eri osapooltel oli energiatõhusast majast erinev arusaam. Seetõttu on vaja määratleda mõisted.

See uuring defineerib Eesti tingimuste jaoks järgmised hoonete energiatõhususe mõisted:

- madalenergiahoone;
- liginullenergiahoone;
- energiatõhususe miinimumnõuetele vastav uus hoone;
- energiatõhususe miinimumnõuetele vastav oluliselt rekonstrueeritav hoone.

Eestis on uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe määramise aluseks energiatõhususarv, mis tuleb leida Vabariigi Valitsuse määruse nr. 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ järgi. Energiatõhususarv $ETA \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ on aastane arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju ning krundil taastuvatest energiaallikatest toodetud energia, vt. Joonis 2.1. Energiatõhusarvuga seonduvat on põhjalikumalt käsitletud peatükkides 2.4 ja 2.5.



Joonis 2.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid.

Madalenergiahooneks oleva väikeelamu energiatõhususarv on väiksem või võrdne $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Liginullenergiahooneks oleva väikeelamu energiatõhususarv on väiksem või võrdne $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Madalenergiahoone kavandamisel on vaja tagada, et hoone soojuskaod oleks väikesed, tehnosüsteemid oleksid energiatõhusad ja vabasoojust kasutataks otstarbekalt. Need

komponendid mõjutavad hoonesse tarnitavat energia kogust. Lisaks sõltub energiatõhususarv hoonesse tarnitavate energiakandjate kaalumisteguritest, mis arvestavad keskkonnamõjusid ja tarnitava energiakandja tootmiseks vajalikku primaarenergiat.

Seega on madalenergiahoone kavandamisel vaja jälgida järgmisi aspekte:

- hoone välispiirete soojuserikadu koetava pinna kohta (H/A) oleks väike (vt. peatükki 3.4);
- kasutatakse otstarbekalt vabasoojust (vt. peatükke 5, 4.3 ja 4.4);
- hoone tehnosüsteemid oleksid energiatõhusad (vt. peatükki 4);
- hoone primaarenergiakasutus oleks väike, st. hoonesse tarnitaks vähem ja väikseima keskkonnamõjuga (väiksemate kaalumisteguritega) energiat (vt. peatükki 4).

Väga esialgses lähenduses võib lähtuda järgnevas tabelis (vt. Tabel 2.1) toodud orienteeruvatest välispiirete soojuserikao suurimatest võimalikest väärtustest. Tabeli andmed kehtivad eeldusel, et väikeelamu tehnosüsteemid rajatakse energiatõhususe põhimõtteid järgides:

- suure kasuteguriga katel, vt. peatükki 4.1.2;
- suure soojustagastusega ventilatsioonisüsteem ($\eta \geq 0,8$), vt. peatükki 4.2.2;
- ventilatsiooni elektrikasutus on väike ($SFP \leq 1,5 \dots 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$).

Tabel 2.1 Orienteeruvad maksimaalsed välispiirete soojuserikao suurused madalenergiahoone esialgsel kavandamisel.

	Välispiirete soojuserikadu H/A , $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;	
	Väikeelamus puudub jahutus	Väikeelamus on jahutus
Gaasi/õli katel	0,50...0,55	0,39...0,43
Puidupelleti katel	0,60...0,65	0,55...0,60
Õhk-vesi-tüüpi soojuspump	0,85...0,90	0,74...0,79
Maasoojuspump	1,1...1,2	1,0...1,1

Lisaks eelkirjeldatule on **liginullenergiahoone** nõuete tagamiseks madalenergiahoones vaja toota energiat krundil või lähiümbruses (energiaühistu põhimõte) taastuvatest allikatest. Väikeelamus kõige enam kasutatavate taastuvenergiaallikate kohta leiab informatsiooni peatükkidest 4.1.4 ja 4.1.5.

Tuleb rõhutada, et liginullenergiahoone tähendab ka hoonet, mis tarbib krundivälisest energiat ja/või on ühendatud energiavõrkudega (näiteks elektrivõrk, gaasivõrk).

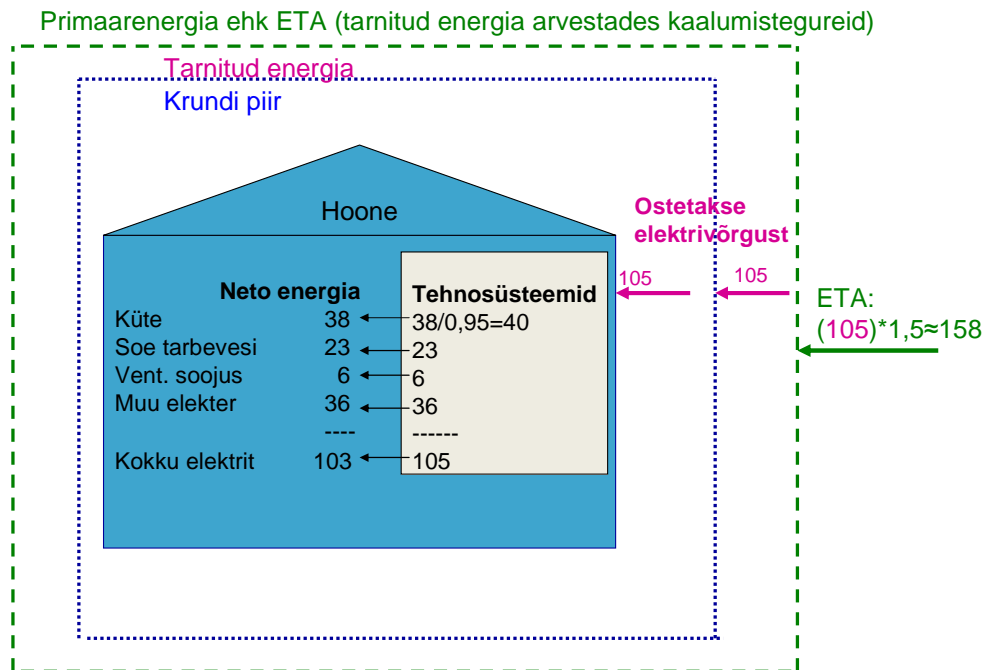
Liginullenergiahoone primaarenergiabilanssi, mis väljendub energiatõhususarvus, käsitletakse aasta arvestuses. Näiteks talvel võib hoone primaarenergiatarve (kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energia) olla suurem kui taastuvatest energiaallikatest toodetud primaarenergia. Suvel võib olla vastupidi – energiavõrku tarnitakse tagasi tarbitust rohkem primaarenergiat. Liginullenergiahoone primaarenergiabilanss on aasta arvestuses positiivne, st aastane summaarne kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energia on toodetust suurem. Energiatõhususarv on vahemikus 0–50 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Järgnevatel joonistel on lihtsustatult illustreeritud madalenergia- ja liginullenergiahoone kriteeriumite täitmise põhimõtteid.

Vaatleme hoonet, mille küttesüsteemiks on soojuskandjaga vesipõrandaküte. Hoone ainukeseks väliseks energiaallikaks on elektrivõrk. Hoone netoenergiakasutused on:

- | | |
|--|--|
| • küte | 38 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |
| • soe tarbevesi | 23 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |
| • ventilatsiooni soojus | 6 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |
| • muu elekter (valgustus, seadmed, tehnosüsteemid) | 36 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |
| • kokku | 103 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ |

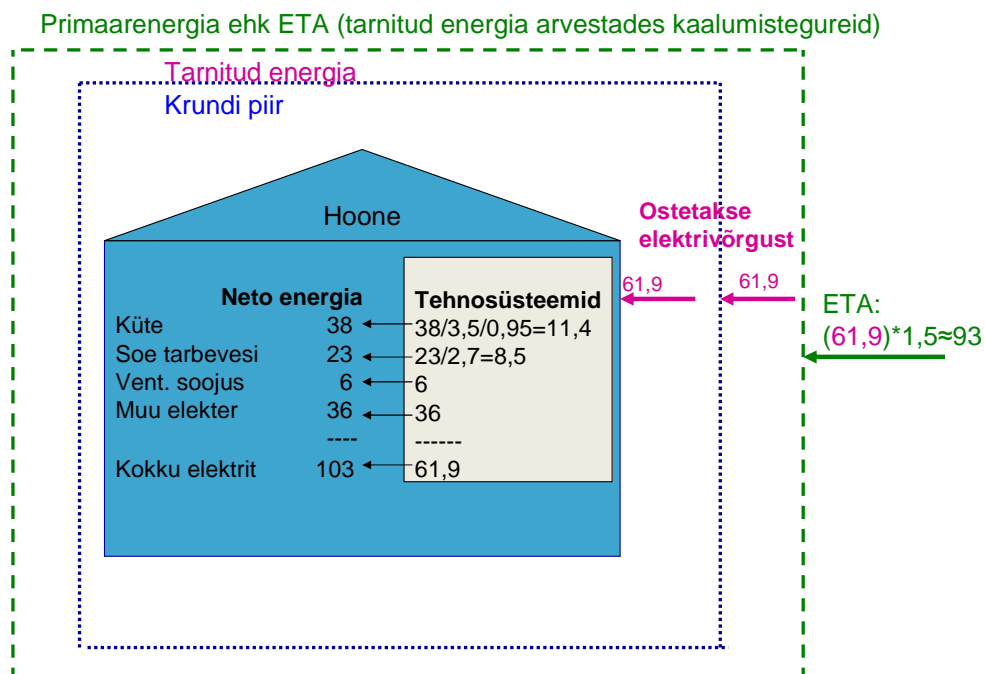
Kui hoones on kütte soojusallikaks elektrikatel ja kui arvestada põrandaküttesüsteemi kasuteguriks 0,95, tarnitakse hoonesse elektrit kokku 105 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, kujuneks hoone energiatõhusarvuks 158 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (vt. Joonis 2.2).



Joonis 2.2 Kütte ja sooja tarbevee soojusallikaks on elektrikatel. Energiaühikuks on kWh/(m²·a).

Elektrikatla korral ei ole täidetud kriteerium $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Kui asendada hoones elektrikatel soojuspumbaga, mis toodab soojust kütteks ja sooja tarbevee jaoks, siis arvestades soojuspumba soojustegurit (vt. peatükki 4.1.1), oleks vaja tarnida hoonele elektrit 61,9 kWh/(m²·a). Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, kujuneks hoone energiatõhususarvaks 93 kWh/(m²·a) (vt. Joonis 2.3).



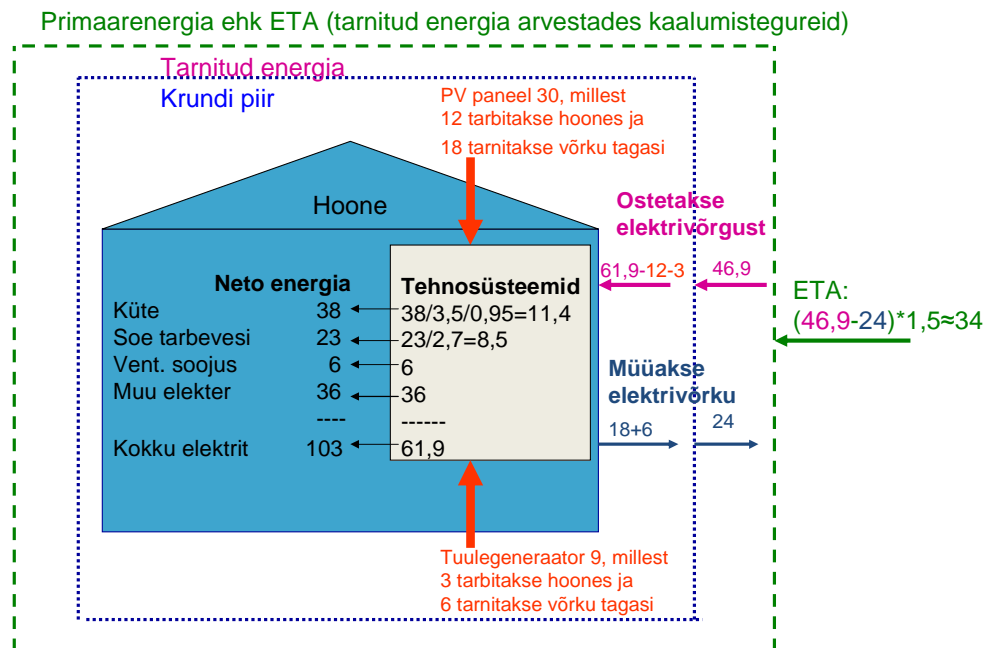
Joonis 2.3 Hoone kütte ja soojatarbevee soojusallikaks on soojuspump.

Kui soojusallikaks on soojuspump, siis on vaadeldud väikeelamu energiatõhususarv väiksem kui 110 kWh/(m²·a).

Kui lisaks soojuspumbale on hoone katusele paigaldatud PV-paneelid, mis toodavad 30 kWh/(m²·a) elektrit, ja krundile tuulegeneraator, mis toodab 9 kWh/(m²·a) elektrit (vt. Joonis

2.4), siis tuleks aastas tarnida hoone tarbeks $46,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ elektrit ja võrku antakse tagasi $24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Sellisel juhul on tegemist liginullenergiaväikeelamuga, sest saavutatav energiatõhususarv 34 on väiksem kui $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Joonis 2.4 Hoone kütte ja soojatarbevee soojusallikaks on soojuspump ning hoone kruundil paiknevad PV-paneelid ja tuulegeneraator.

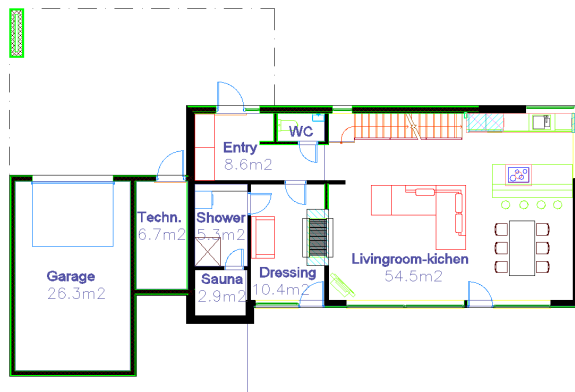
2.2 Võrdlushoone

Juhendi koostamisel ja kriteeriumite määramisel võeti aluseks nn. võrdlushoone (vt. Joonis 2.5). Võrdlushoonet iseloomustavad järgmised põhinäitajad:

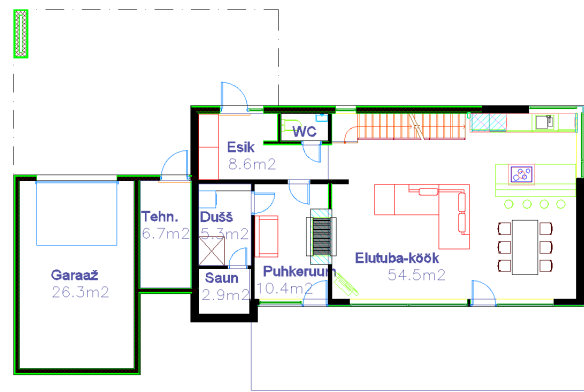
- korruste arv: 2;
- suletud netopind: 197 m^2 ;
- köetav pind: 171 m^2 (garaaž ei ole köetav);
- akende pind: 20% seinte pinnast; sh põhjas 9,5, idas 5,3, lõunas 29,7 ja läänes $0,5 \text{ m}^2$;
- ventilatsiooni õhuvooluhulk: 1 l/s elu- ja magamistubade põrandapinna kohta + köögikubu väljatõmme: kokku 81 l/s, $0,61 \text{ h}^{-1}$, 0,47 l/s köetava pinna kohta;
- tuleb tähelepanu juhtida asjaolule, et tehnoruumi suurus on keskküttekatla ja küttelao lahenduse jaoks liiga väike.

Energiatõhususe arvutustes ei võetud arvesse kütmata garaaži, seda nii pinna kui ka vabasoojuste ja energiakasutuste osas.

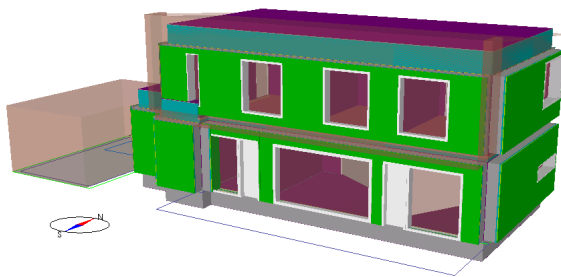
Töös on esitatud võrdlushoone arvutustulemused graafikute kujul, mida saab hoone kavandamise algetapis kasutada ka teiste analoogsete hoonete energiakasutuse ja energiatõhususarvu ligikaudseks hindamiseks.



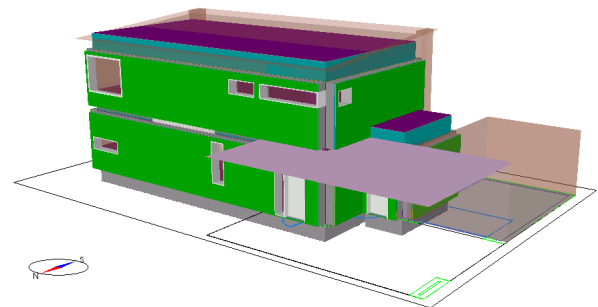
I korruse plaan



II korruse plaan



Perspektiivvaade kagust



Perspektiivvaade loodest

Joonis 2.5 Energiaarvutuste aluseks olnud väikeelamu.

2.3 Sisekliima ja energiatõhususe eesmärgid

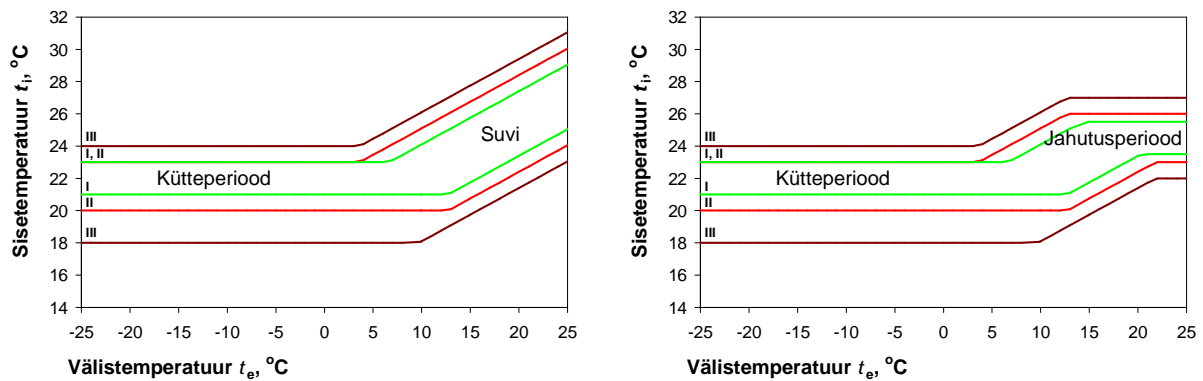
Ehitiste energiatõhususe nõuded täiendavad hoonete funktsionaalsuse, turvalisuse ja tervislikkuse üldisi nõudeid ning nende eesmärk on tagada hoonete keskkonnasäästlikkus ja hea sisekliima majanduslikult tõhusal viisil.

Energiat ei tohi säästa sisekliima arvelt, st vaatamata väikesele energiakulule peab olema madala- ja liginullenergiahoones tagatud hea ja tervislik sisekliima. Sisekliima nõuded on esitatud standardis EVS-EN 15251. Uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete puhul tuleb lähtuda sisekliima II klassi piirsuurustest.

Ruumiõhu puhtuse tagamiseks ja niiskusprobleemide vältimiseks peab hoones olema õhuvahetus. Selleks et õhk vahetuks sõltumata välisõhu tingimustest ja liigselt soojust raiskamata, on hädavajalik heitõhu soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon. Et saavutada rahuldavat sisekliimat, peab ventilatsioonisüsteemid projekteerima eluhoonetele ette nähtud ventilatsiooninõuete järgi (vt. peatükki 4.2.1).

Arvestada tuleb ka sellega, et tehnoseadmete (vee- ja kanalisatsiooniseadmed, kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusseadmed vms.) summaarne helirõhu taotlustase arvutuslikus olukorras on $L_{pA,eq,T} \leq 25$ dBA. Kas kesktolmuimejate puhul tuleb pöörata tähelepanu tema müra-tasemele?

Soojusliku mugavuse seisukohast loetakse eluruumides sobivaks sisetemperatuuriks talvel +20...+22 °C ja suvel ei tohiks see tõusta üle +25...+27 °C, vt. Joonis 2.6.



Joonis 2.6 Näide elamute sisetemperatuuri muutumisest ööpäeva keskise välistemperatuuri järgi ilma mehaanilise jahutuseta ruumides (vasakul) ja mehaanilise jahutusega ruumides (paremal) (EVS-EN 15251 RL).

2.4 Energiatõhususe saavutamise tõendamispõhimõte

Sarnaselt tavaliste hoonetega tuleb ka madal- ja liginullenergiahoonete energiatoõhususe saavutamine tõendada Vabariigi Valitsuse 20.12.2007. a määruse nr. 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ (edaspidi määrus nr. 258) kohaselt.

Energiatõhususe arvuliselt väljendatud kriteeriumid on kehtestatud hoone summaarse energiakasutuse kohta ja on tehniliselt väljendatud kahe põhinäitajaga:

- energiatoõhususarvuga, mis iseloomustab hoone summaarset energia erikasutust;
- suviste temperatuuride nõudega, mis iseloomustab hoone sisekliimat suvel.

Energiatõhususarv ETA $W/(m^2K)$ on aastane arvutuslik summaarne tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju. Tuleb rõhutada, et ETA käsitleb hoone energiakasutust summaarsena. Oluline on mitte üksiku tehnosüsteemi energiakasutus, vaid kõigi süsteemide summaarne kasutus. Näiteks kui asendada valgustus vähem elektrit tarvitava vastu, siis väheneb küll elektri kasutus, aga samal ajal suureneb küttevajadus. ETA ei kajasta neid kasutusi eraldi, vaid kütte- ja elektritarbed liidetakse kokku ning vaadeldakse summaarset kasutust.

Energiatõhususarvu piirsuurused väikeelamule selle töö tegemise tingimustes on (elektri kaalumistegur 1,5; 2012 aasta kevadel):

- 50 $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$ liginullenergiahoone;
- 120 $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$ madalenergiahoone;
- 180 $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$ uute hoonete energiatoõhususe miinimumnõuded;
- 250 $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$ oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatoõhususe miinimumnõuded.

Tulevikus sätestatakse konkreetsed piirsuurused õigusaktidega.

Suviste sisetemperatuuride piirväärtusega välditakse ruumide ülekuumenemist, mida soodustavad suured klaaspinnad ja vabasoojuskoormused. Ruumide ülekuumenemine võib tähendada seda, et ehitusjärgselt ollakse ruumide kasutamise võimaldamiseks sunnitud paigaldama väheefektiivseid jahutusseadmeid.

Energiatõhususe kriteeriumi vastavust hinnatakse arvutuslikult hoone projektdokumentatsiooni alusel enne ehitusloa taotlemist tavaliselt eelprojekti staadiumis. Kui edasise projekteerimise käigus muudetakse energiaarvutuste lähteandmeid (näiteks tehnosüsteemide ja piirdetarindite omaduste nõuded), on kindlasti vaja korrata energiaarvutusi.

Kuna hoonete energiakasutus sõltub oluliselt hoone kasutusaegadest ja -intensiivsusest (erinevatest soojuslikest ja elektrilistest koormustest), arvutatakse summaarne energiakasutus hoone standardkasutusel. Näiteks sooja tarbevee ja elektri kasutus sõltub suuresti elanike kasutusharjumustest. Sisekliima- ja energiatoõhususarvutuste tegemine hoone standard-

kasutusel tähendab seda, et energiaarvutus tehakse alati EVS-EN 15251 II sisekliimaklassi jaoks määratud ruumitemperatuuride ja ventilatsiooni õhuhulkadega olenemata sellest, kas hoone tehnosüsteemid suudavad selliseid temperatuure ja ventilatsiooni õhuhulkasid tagada ning arvutus määrab erinevate hoonete ja ruumide kasutuse suhteliselt detailselt nii inimeste kohaloleku, valgustuse kui ka seadmete kasutamise osas. Standardkasutusega tagatakse energiaarvutuste ühtsed lähtetingimused ja sellega välistatakse energia põhjendamatu kokkuhoid sisekliima arvelt. Selline lähenemine aitab vältida olukordi, kus näiteks liginullenergiahoone lahenduse tõendamiseks üritatakse esitada arvutusi, kus külmal perioodil on kasutatud liiga madalaid ruumiõhu temperatuure, õhuvahetus ei taga vajalikku sisekliimat, valgustus pole piisav, elektriseadmed töötavad ainult mõne tunni ööpäevas. Praktikas pole aga selliste tingimuste korral võimalik hoonet kasutada ja tegelik energiakasutus on oluliselt suurem ning ka sellele vastav energiatõhususarv on oluliselt suurem, mille tagajärjel hoone ei vasta ei arvutuslikult ega hiljem tegelikus kasutuses liginullenergiahoone kriteeriumitele. Kõetava pinna kohta arvutatud energiakasutus hoone standardkasutusel võimaldab sama tüüpi hoonete energiatõhususe omavahelise objektiivse võrdluse. Kasutatavad arvutuslikud temperatuurid ja ventilatsiooni õhuhulgad vastavad vähemalt standardi EVS-EN 15251:2007 sisekliima II klassi piirsuurustele.

Hoonete energiaarvutusmeetodid jagunevad dünaamilisteks (lahendavad igal ajahetkel energiabilansi tasakaaluvõrrandid) ja lihtsustatud, statsionaarseteks arvutusmeetoditeks (kuude kaupa või arvutus kraadpäevade abil).

Dünaamilisi arvutusmeetodeid on erineva detailsusega, ühe- ja mitmetsoonilisi, alates mõne sõlmpunktiga meetoditest kuni ülimalt detailsete arvutisimulatsiooniprogrammideni. Viimased sisaldavad detailset kliimaprotsessorit ning soojus-, massiülekannet ja õhuvoolusid arvesse võtvaid mudeleid hoone piirete ja tehnosüsteemide komponentide ning reguleerimis- ja juhtseadmete jaoks. Kuna madalenergia- ja liginullenergiahoonete puhul on oluline hinnata võimalikult täpselt päikese ja teiste vabasoojuste mõju ja kasutamist, ruumidevahelisi soojus- ja õhuliikumist, tuleb eelistada madalenergia- ja liginullenergiahoonete sisekliima ja energiatõhususe uurimiseks dünaamilisi arvutusmeetodeid. Oluline on, et arvutustarkvara oleks valideeritud, usaldusväärne ning seda kasutab pädev projekteerija. Energia- ja sisekliima arvutustulemuste eest vastutab projekteerija arvutuste tegijana, mitte arvutusprogramm.

Lihtsustatud arvutusmeetodites on ruumi- ja ventilatsiooni sissepuhkeõhu temperatuurid konstantsed, vabasoojuste utiliseerimist arvestatakse ligikaudse korrelatsiooni abil ja usaldusväärne jahutusenergia arvutus puudub. Seetõttu ei võimalda need meetodid kirjeldada keerukamate tehnosüsteemidega hooned. Kui väikeelamus on lihtsamad tehnosüsteemid ja hoonet kasutatakse püsivalt, siis võib energiaarvutuse teha ka lihtsustatud, kuude kaupa või kraadpäevade järgi arvutava tarkvaraga ilma väga suurt viga tegemata. Projekteerimise algfaasis võib hoone geomeetria ja tarindite soojusjuhtivuste suuruste üle otsustamisel lähtuda hoonepiirete summaarsest soojuserikaost ja kõnesolevas juhendis toodud graafikutest.

Suvine ruumitemperatuuri nõue loetakse elamutes täidetuks, kui ruumitemperatuur ei ületa piirsuurust (jahutuse temperatuuriseadet) rohkem kui 150 kraadtunni (°Ch) võrra. Nõuetele vastavuse tõendamisel võib väikeelamute puhul kasutada ka lihtsustatud meetodit, kus on ette antud piirsuurused mõistlike aknapindade, piisava päikesekaitse ning vajaliku suurusega avatavate akende olemasolu osas.

2.5 Energiatõhususarvu leidmise näited

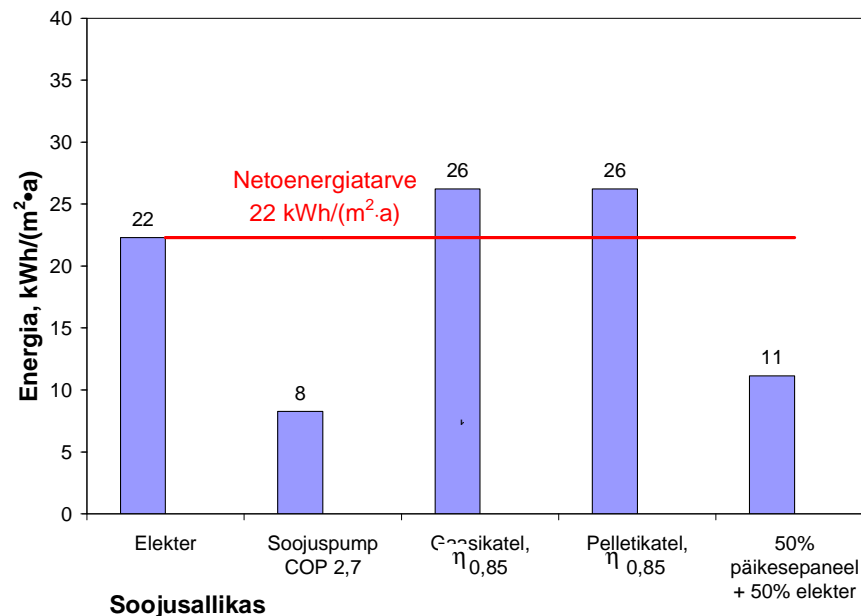
Näide 2.1

Hoone tarbevee soojendamise netoenergiatarve on 3811 kWh/a ja kätav pind on 171 m² (22,3 kWh/(m²·a)). Kui palju on energiat vaja tarbevee soojendamiseks hoone kätava pinna ruutmeetri kohta, kui sooja vett saadakse:

- elektrist;
- maasoojuspumbast (soojustegur (COP) = 2,7);
- gaasikatlast (katla kasutegur $\eta = 0,85$);
- pelletikatlast (katla kasutegur $\eta = 0,85$);
- 50% päikesepaneelidest ja 50% elektrist.

Tulemused (vt. Joonis 2.7):

- otsene elekterküte: kui kadusid ei ole, siis elektri hulk, mida tarniti hoonesse sooja vee valmistamiseks, võrdub netoenergiaga, st. $3811 \text{ kWh/a} / 171 \text{ m}^2 = 22,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- soojuspumba korral tarbitakse tarbevee soojendamiseks soojusteguri (COP) suuruse korda vähem elektrit e. $3811 \text{ kWh/a} / 171 \text{ m}^2 / 2,7 = 8,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- keskküttekatla korral tarbitakse tarbevee soojendamiseks katla kasuteguri korda rohkem energiat (gaasi või puidupelleteid) e. $3811 \text{ kWh/a} / 171 \text{ m}^2 / 0,85 = 26,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$;
- päikeseenergia saadi kätte peaaegu ilma täiendavate energiakuludeta (tegelikkuses lisandub ringluspumpade elektrikulu) ja elektri, mida tarniti soojavee valmistamiseks on 50 % netoenergiast e. $0,5 \times 3811 \text{ kWh/a} / 171 \text{ m}^2 / 0,85 = 11,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Joonis 2.7 Näide sooja tarbevee tarnitud energia (sinised tulbad) kujunemisest soojusallika liigi järgi.

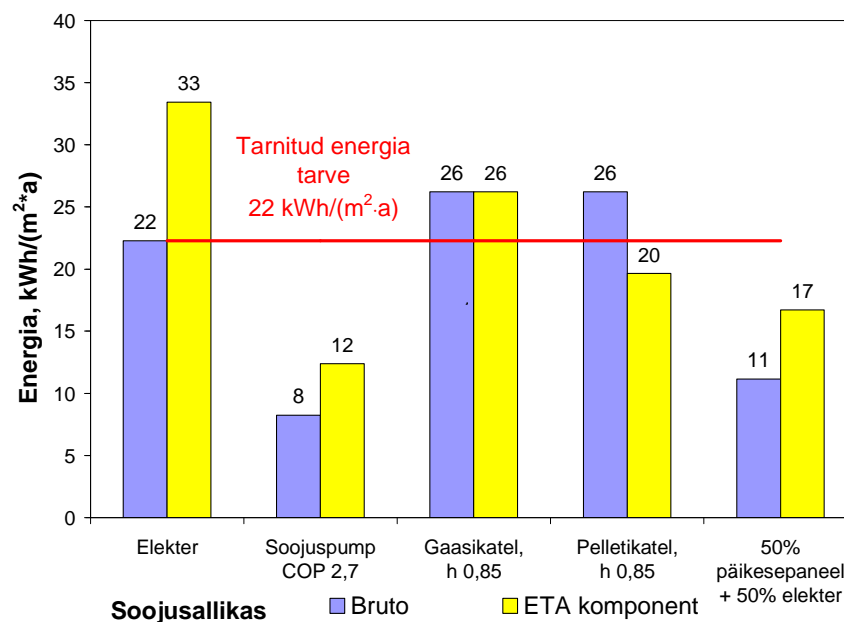
Energia saamisviisi järgi võib tarnitud energia oluliselt erineda netoenergiast, olla netoenergiast väiksem või suurem.

Energiatõhususarv arvutatakse tarnitud energiatega põhjal, võttes arvesse energiakandjate kaalumistegurid. Tarnitud energiad tuleb summeerida energiakandjate kaupa ja siis see summa läbi korrutada vastava energiakandja kaalumisteguriga. Kaalumisteguritega läbikorrutatud tarnitud energiad tuleb summeerida ning seejärel see summa jagada kätava pinnaga. Saadud jagatis ongi energiatõhususarv.

Näide 2.2

Milline on eelmise näite (Näide 2.1) korral tarbevee soojendamise komponent energiatõhususarv (vt. Joonis 2.8):

- elektri kaalumistegur on 1,5.
 $22,3 \times 1,5 = 33,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a});$
- soojuspump tarbib elektrit, mille kaalumistegur on 1,5.
 $8,3 \times 1,5 = 12,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a});$
- gaasi kaalumistegur on 1.
 $26,2 \times 1 = 26,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a});$
- pellet on taastuvtoormel põhinev kütus, mille kaalumistegur on 0,75.
 $26,2 \times 0,75 = 19,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a});$
- elektri kaalumistegur on 1,5.
 $11,2 \times 1,5 = 16,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}).$



Joonis 2.8 Näide energiatõhususarvu (kollased tulbad) kujunemisest olenevalt energiaallika liigist ja energiakandjast. Võrdluseks on toodud vastavad tarnitud energiad (sinised tulbad) ja netoenergia (punane joon).

Näide 2.3

Hoones on vedeliksoojuskandjaga pörandaküte. Hoone aastased netoenergiavajadused kütava pinna ruutmeetri kohta on järgmised:

- küte 37,3 kWh/(m²·a);
- ventilatsioon 5,5 kWh/(m²·a);
- jahutus 10,6 kWh/(m²·a);
- tarbevee soojendamine 22,3 kWh/(m²·a);
- tehnoseadmete elekter 10,6 kWh/(m²·a);
- valgustus 7 kWh/(m²·a);
- elektriseadmed 18 kWh/(m²·a).

Leida energiatõhususarv, kui kütte, ventilatsiooni ja tarbevee soojendamise energia saadakse maasoojuspumbast ning valgustuse ja seadmete energia elektrist. Arvutuskäik on toodud järgnevas tabelis.

Soojuspumba soojustegur sõltub sooja vee väljastustemperatuurist. Näites kasutatud soojuspumbal on see pörandakütte korral 3,5, tarbevee soojendamisel 2,7 ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks on soojustegur 2,8.

Põrandkütte korral sõltub küttesüsteemi kasutegur I korruse põrandakonstruktsioonist ja selle soojustakistusest (teemat on põhjalikumalt käsitletud peatükis 4.3.2) ning I korruse soojuskadude osakaalust ülejäänud korruste soojuskadudesse. Selle näite korral on küttesüsteemi kasutegur 0,95. Ruumide jahutussüsteemide jahutustegur on 3,0.

Tabel 2.2 Energiatõhususarvu leidmine näite 3 andmete korral

Tehnosüsteem	Neto, kWh/(m ² ·a)	Soojus/jahutustegur ja kasutegur	Tarnitud energia, kWh/(m ² ·a)	Kaalumistegur	Energiatõhususarv, kWh/(m ² ·a)
Küte	37,3	0,95 × 3,5 = 3,325	11,2	1,5	16,8
Ventilatsioon	5,5	2,8	2,0	1,5	2,9
Jahutus	10,6	3,0	3,5		5,3
Tehnosüsteemide elekter	8,4		8,4		12,6
Soe tarbevesi	22,3	2,7	8,3	1,5	12,4
Valgustus	7		7,0	1,5	10,5
Seadmed	18		18,0	1,5	27,0
			Kokku		87,6
			Energiatõhususarv		88

3 Piirdetarindite arvutus ja nende mõju hoone energiakulule

Madalenergiahoone kavandamisel on vaja tagada, et hoone soojuskaod oleks väikesed, tehnosüsteemid energiatõhusad ja vabasoojust kasutataks otstarbekalt.

Soojuskaod välispiirete kaudu sõltuvad peamiselt kolmest tegurist:

- soojusjuhtivuskaod välispiirdetarindite kaudu;
- välispiirdetarindite külmasillad;
- hoone välispiirete õhulekked.

Seega peavad hoonete välispiirdetarindid olema piisavalt soojustatud, minimaalsete külmasildadega ja õhuleketega. Neid kolme komponenti muutes saab muuta ka soojuskadusid piirdetarindite kaudu.

3.1 Soojusjuhtivuskaod piirdetarindite kaudu

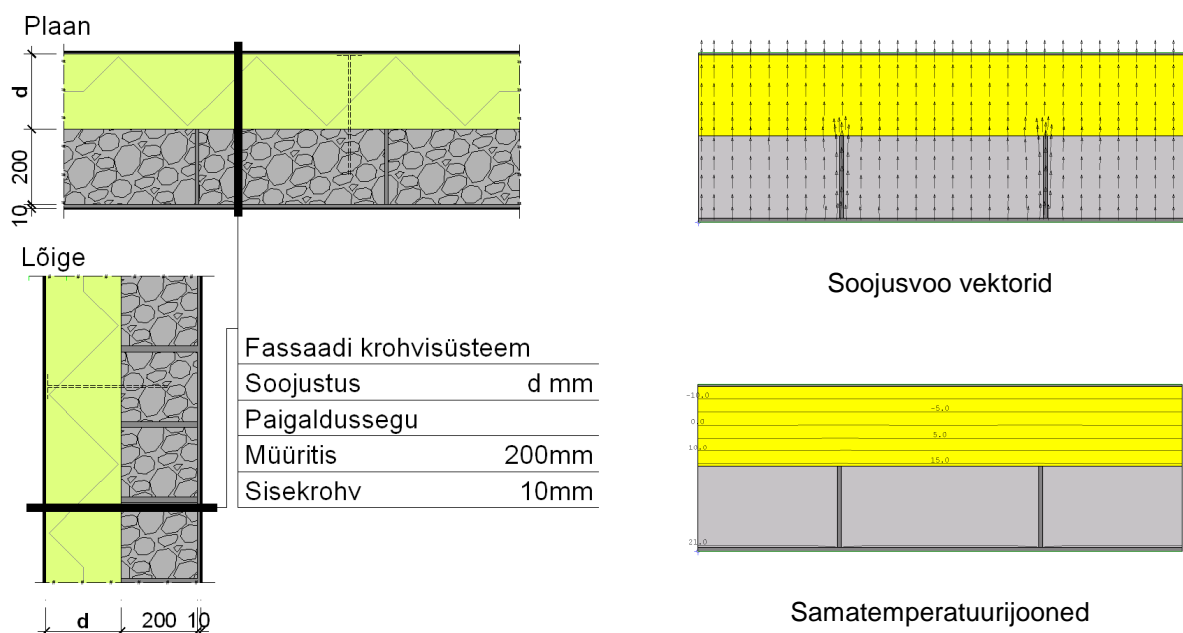
Soojusjuhtivuskaod piirdetarindite kaudu on üks kõige rohkem hoone energiakulu mõjutavaid tegureid. Seetõttu on oluline vähendada soojuskadusid piirdetarindite kaudu.

Otstarbeka soojustuse määramisel lähtutakse hoone energiatõhususe nõuetest, ruumide soojuslikust mugavusest ja hallituse ning kondensaadi vältimisest külmasildadel, väliste piirdetarindite sisepindadel ja välispiirete tarindites. Hoone projekteerimisel arvutatakse piirete soojusjuhtivus standardite EVS-EN ISO 6946 ja EVS 908-1 järgi.

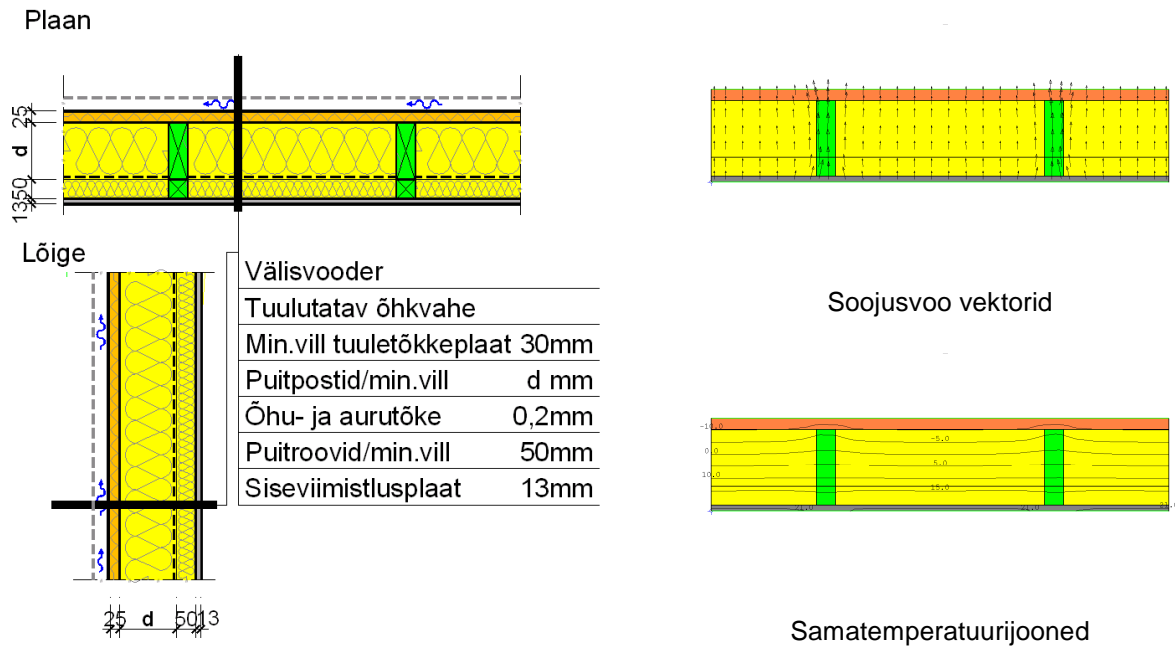
Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised:

- arvutatakse piirdetarindi iga soojuslikult homogeenne kihi soojustakistus;
- määratakse üksikute kihtide ja pindade soojustakistuste summeerimisel piirdetarindi kogu soojustakistus;
- arvutatakse piirde soojusjuhtivus, mida korrigeeritakse, arvestades mehaaniliste kinnitite mõju, sademete mõju pööratud katustele, soojustuse õhuerijuhtivuse ja külmasildade mõju.

Soojusjuhtivuse arvutamisel tuleb arvestada tarindi soojuslikku homogeenust. Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarindi (vt. Joonis 3.1) soojusjuhtivuse võib arvutada valemiga 3.1. Soojuslikult mittehomogeensetest kihtidest piirdetarindi (näiteks puitsõrestikseina soojustuse kihis olevad kandepostid jne.; vt. Joonis 3.2) soojusjuhtivuse arvutuse korral tuleb sõrestikpostidest tulenev külmasild täpsema arvutusega arvesse võtta.



Joonis 3.1 Soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarind.



Joonis 3.2 Soojuslikult mittehomogeensetest kihtidest piirdetarind.

Piirde soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$ arvutatakse valemiga 3.1:

$$U = \frac{1}{R_T}, W/(m^2 \cdot K) \quad 3.1$$

kus:

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

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus R_T , $(m^2 \cdot K)/W$ arvutatakse valemiga 3.2.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}, (m^2 \cdot K)/W \quad 3.2$$

kus:

R_1, R_2 piirdetarindi iga materjalikihi arvutuslik soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. valem 3.3;

R_{si} piirdetarindi sisepinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. Tabel 3.1;

R_{se} piirdetarindi välispinna soojustakistus, $(m^2 \cdot K)/W$, vt. Tabel 3.1.

Piirdetarindi iga soojuslikult homogeense materjalikihi arvutuslik soojustakistus arvutatakse:

$$R = \frac{d}{\lambda_d}, (m^2 \cdot K)/W \quad 3.3$$

kus:

d materjalikihi paksus, m;

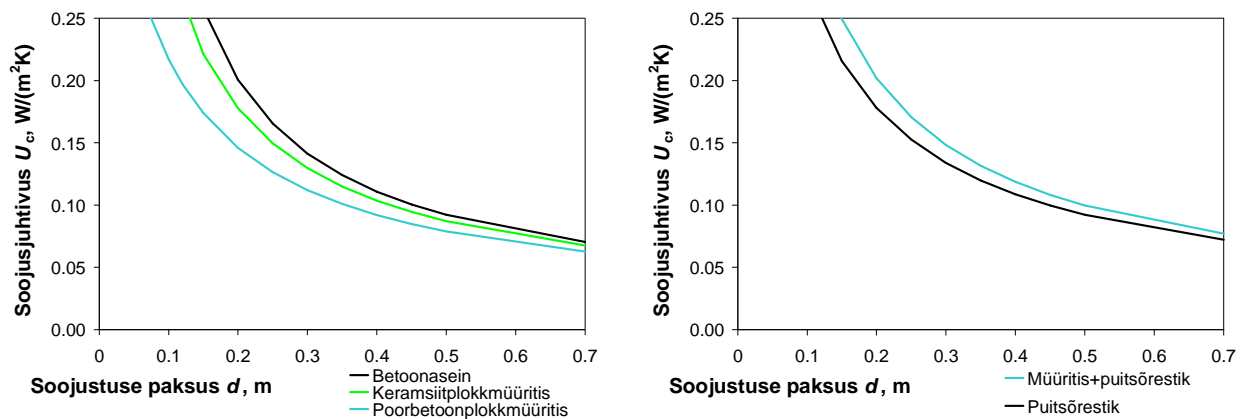
λ_d arvutuslik soojuserijuhtivus, $W/(m \cdot K)$ arvestab soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid ja selle võib esitada tootja või peab arvutama projekteerija standardi EVS-EN ISO 10456 järgi.

Tabel 3.1 Piirdepindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel.

	Soojusvoolu suund		
	Üles (lagi)	Horisontaalne (sein) *	Alla (põrand)
R_{si} , $(m^2 \cdot K)/W$	0,10	0,13	0,17
R_{se} , $(m^2 \cdot K)/W$	0,04	0,04	0,04

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus arvutatakse, kasutades kogusoojustakistuse ülemist ja alumist piirväärtust (vt. täpsemalt EVS 908-1 ja EVS-EN ISO 6946). Standard annab ka juhised, kuidas korrigeerida soojusjuhtivuse suurus, arvestades soojustuses olevaid tühimikke, soojustuskihti läbivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses. Kui on tegemist mittehomogeense tarindiga, siis ei tohi seda mingil juhul arvutada homogeenena. Jättes puitsõrestikseinas arvestamata puitpostidest tekkivad külmasillad ja võimalikke tühimikke soojustuses ning õhu liikumist soojustuses, võib saadav tulemus erineda standardkohasest tulemusest kuni 50%. Arvutusviga suureneb suurema soojustuse paksuse korral ehk madalenergiahoone ja liginullenergiahoone puhul tuleb arvutused teha täpselt ja põhjalikult.

Piirdetarindi vajaliku soojustuse paksus sõltub taotletavast soojusjuhtivusest ja tarindi teiste kihtide (kandekonstruktsioon, tuuletõke jne.) soojustakistusest. Joonis 3.3 on toodud soojusjuhtivuse sõltuvus soojustuse paksusest erinevate tarindilahenduste korral.



Joonis 3.3 Soojusjuhtivuse sõltuvus soojustuse paksusest erinevate tarindilahenduste korral.

Näide 3.1 Soojuslikult homogeensetest kihtidest välisseina soojusjuhtivus

200 mm paksune keramsiitplokkidest sein on soojustatud 200 mm paksuse vahtpolüstüreeniga ja krohvitud mõlemalt poolt (vt. Joonis 3.1). Arvutuses kasutatud materjalid ja nende paksused vt. Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Soojustatud keramsiitplokkidest seina materjalikihtide paksused ja soojuslikud omadused.

Materjal	Toote paksus, mm	Materjali soojuseriivjuhtivus, λ_d , W/(m·K)	Soojustakistus, R_d , $m^2 \cdot K/W$
Sisepind			0,13
Sisekrohv	10 mm	0,8	
Keramsiitplokk-müüritis	200 mm	0,29	
Vahtpolüstüreen	200 mm	0,04	
Väliskrohv	5 mm	0,8	
Välispind			0,04

Soojuslikult homogeensetest kihtidest tarindi kogusoojustakistus R_T , ($m^2 \cdot K/W$) arvutatakse valemiga 3.2.

$$R_T = 0,13 + \frac{0,01}{0,8} + \frac{0,20}{0,29} + \frac{0,20}{0,04} + \frac{0,005}{0,8} + 0,04 = 5,87 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

Piirde soojusjuhtivus U arvutatakse valemiga 3.1 ja ümardatakse kahe kohani pärast koma:

$$U = \frac{1}{5,87} = 0,17 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Piirde soojusjuhtivust on korrigeeritud järgmistel eeldustel:

- soojustus on hästi paigaldatud, aga esinevad mõned soojustuskihti läbivad õhupraod;
- ühekihilise soojustuse soojustakistus on üle poole tarindi kogusoojustakistusest;
- ei ole soojustust läbivaid metallkinniteid.

200 mm paksuse soojustuskihi õhupilude parandustegur:

$$\Delta U_{g \text{ 200mm soojustus}} = 0,01 \cdot \left(\frac{5,00}{5,87} \right)^2 = 0,0073 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Piirdetarindi korrigeeritud soojusjuhtivus: $U_c = 0,17 + 0,0073 = 0,18 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Soojustuse müüritisele kinnitamisel tuleb järgida, et soojustuse ning müüritise vahele ei jääks õhuvahesid. Nende vältimiseks tuleb eelistada täispinnalist soojustuse liimimist müüritisele. Kui sein ei ole laotud kvaliteetselt, sirgelt, võib aluspinna suurema ebatasasuse korral kasutada kinnitusmeetodit, kus liimivall kantakse plaadi tagakülje tervele äärele ning soojustuse keskele. Soojustust ei või kinnitada ilma ääreliimita ainult plaadi keskele paigaldatud segupätsidega. Soojustuse tüübelduse vajadus sõltub paigaldustehnoloogiast ja hoone kõrgusest.

3.2 Külmasillad

Külmasillad on kohad piirdetarindis, kus soojusjuhtivus on lokaalselt suurem ümbritseva tarindi soojusjuhtivusest. Külmasillad võivad olla geomeetrised (näiteks välisseina välisnurk, põranda ja välisseina liitumine, välisseina ja akna liitekoht jne.) või põhjustatud ehituskonstruktiiivest lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigid jne.).

Külmasildade kahjulikkus seisneb ühelt poolt soojusvoolu suurenemises (isolatsiooni vähenemise tõttu) ja teisalt tarindi sisepinna temperatuuri alanemises. Külmasilla juures on tarindi sisepinna temperatuur madalam ja välispinna temperatuur kõrgem. Lisaks külmasillale võivad sisetemperatuuri lokaalset jahenemist põhjustada ka soojustuse puudumine, veed soojustuse paigaldamisel, märgunud soojustus, alarõhu tingimustes õhutõkke lekkes ning kütte- ja ventilatsioonisüsteemide toimivus.

Külmas kliimas on külmasildadega arvestamine tähtis mitmel põhjusel:

- Külmasilla suuremast soojusjuhtivusest tingitud madalam sisepinna temperatuur ja sellest tulenev kõrgem suhteline niiskus võib põhjustada tarindis või tarindi sisepinnal mikroorganismide kasvu, seina määrdumist või viia veeauru kondenseerumiseni. Veeauru kondenseerub, kui temperatuur langeb alla küllastustemperatuuri, kui suhteline niiskus on 100%. Hallituse kasvuks sobiv suhteline niiskus on 75...80 % (temperatuuri langedes hallituse kasvuks vajalik suhteline niiskus tõuseb);
- Madalad pinnatemperatuurid suurtel aladel vähendavad soojuslikku mugavust tulenevalt eelkõige suuremast õhuliikumisest ja ebasümmeetrilisest kiirgusest;
- Külmasillad suurendavad hoonete energiakulu. Piirdetarindite soojusjuhtivuse üldise vähenemise juures hoone soojuskadudes külmasildade osakaal kasvab.

Kuna hoone välispiirete (välisseinad, põrandad, katused) soojuskadud arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvutatud pindalade järgi, tuleb külmasildadest tingitud lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse külmasildade joonsoojusjuhtivusega. Külmasilla soojusjuhtivus on soojuskadu vattides külmasilla kaudu, kui temperatuuride erinevus on üks kraad. Vajaduse korral teisendatakse välispiirde summaarne soojusjuhtivus keskmiseks välispiirde soojusjuhtivuseks, jagades välispiirde summaarse soojusjuhtivuse kasutatava arvutustarkvara reeglite kohaselt määratud välispiirde pindalaga. Külmasillast põhjustatud sisepinna madalama temperatuuri kriitilisuse taseme määrab sisepinna temperatuuri, välistemperatuuri ja sisetemperatuuride omavaheline suhe ehk temperatuurindeks f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad 3.4$$

kus:

f_{Rsi} temperatuurindeks, -;

- t_{si} sisepinnatemperatuur, °C;
 t_j siseõhu temperatuur, °C;
 t_e välisõhu temperatuur, °C;
 R_T piirdetarindi kogusoojustakistus, m²·K/W;
 R_{si} piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m²·K/W.

Eesti kliimatingimustes võib uute elamute projekteerimisel temperatuuriindeksi piirväärtuseks kasutada $f_{Rsi} \geq 0,8$. Termograafilise mõõdistamise ajal või temperatuurivälja arvutusega on võimalik kõik kolm temperatuuri mõõta või temperatuurivälja arvutusmeetodil välja arvutada ning seejärel saab temperatuuriindeksi abil hinnata külmasilla kriitilisust.

Külmasilla mõju hoone energiakulule võetakse arvesse külmasilla soojusjuhtivuste abil:

- külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ_j , W/(K·m), mis statsionaarsetes tingimustes on arvutatav:
 $\Phi = \Psi_j \cdot l_j \cdot (T_1 - T_2)$, W ;
- külmasilla punktsoojusjuhtivus χ_p , W/K, mis statsionaarsetes tingimustes on arvutatav valemist: $\Phi = \chi_p \cdot (T_1 - T_2)$, W .

Hoone soojuskadude arvutusmeetodi järgi võib külmasilla soojusjuhtivuse määramisel lähtuda:

- sisemõõtudest l_i ,
- välimõõtudest l_e ,
- summaarsest sisemõõdust l_{oi} .



Joonis 3.4 Tarindi geometria määramine välisseinanurga (vasakul) ja välisseina-vaheseina liitekohta (paremal) külmasilla soojuskao arvutamisel.

Eesti energiatõhususarvutuse meetodi kohaselt lähtutakse hoone sisemistest mõõtudest. Pikkus, mille ulatuses arvutus tehakse, peab olema suurem kui 1 m ja kolm korda pikem arvutatava tarindi paksusest. Teades summaarset soojuslevi läbi kogu arvutatava tarindi ja tarindi üksikute osade soojusjuhtivust, leitakse külmasilla joonsoojusjuhtivuse Ψ väärtused valemi 3.5 põhjal:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j, \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \quad 3.5$$

kus:

L_{2D} on külmasilla soojuserikadu ehk soojusvool sise- ja väliskeskonna temperatuurierinevuse kohta, mis läbib neid kahte keskkonda ühendavat tarindit ja mis on leitud kahte vaadeldavat keskkonda eraldava kahemõõtmelise temperatuurivälja arvutuste põhjal W/(m·K);

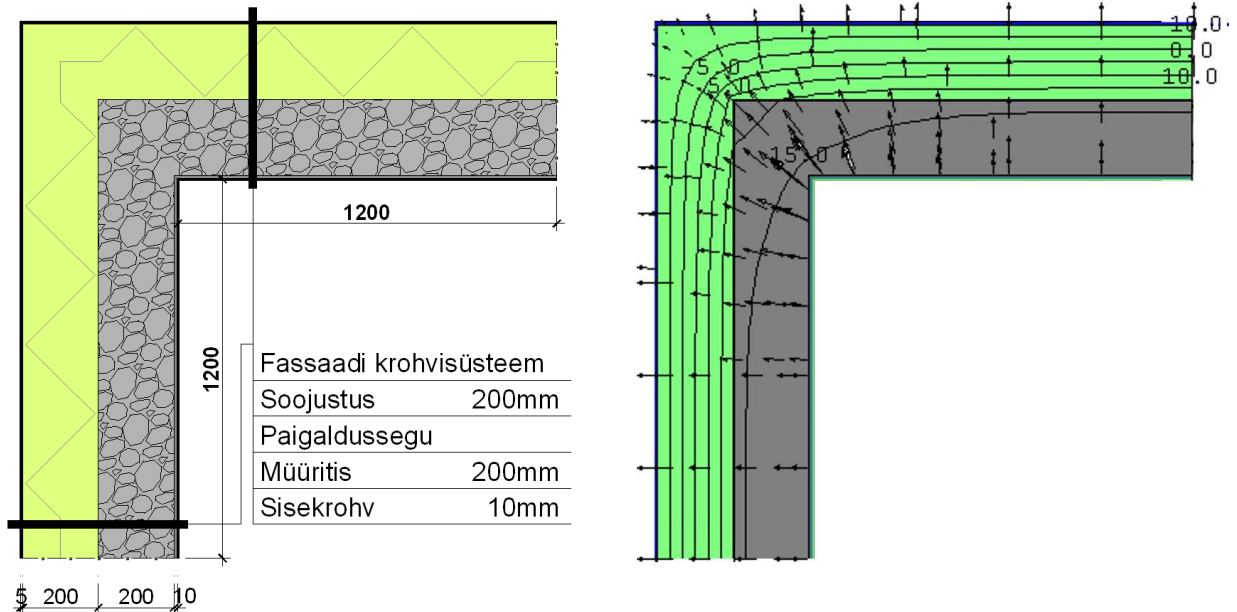
U_j on kahte vaadeldavat keskkonda eraldava tarindi soojusjuhtivus W/(m²·K);

l_j on pikkus, mille ulatuses kohaldatakse väärtust U_j , m.

Näide 3.2 välisseina välisnurga geomeetrilise külmasilla joonsoojusjuhtivuse arvutus

200 mm paksune keramsiitplokkidest sein on soojustatud 200 mm paksuse vahtpolüstüreeniga ja krohvitud mõlemalt poolt (vt. Joonis 3.5 vasakul). Arvutuses kasutatud materjalid ja nende paksused vt. Tabel 3.2. Külmasilla kogusoojustakistuse arvutamisel kasutatakse

temperatuurivälja arvutusmeetodit, kus tarindi liitekohta genereeritakse võrgustik, mille sõlmpunktide vahel arvutatakse soojusvool ja temperatuuride jaotus (vt. Joonis 3.5 paremal), arvestades tarindi geomeetriat ja materjalide soojuseriitvust. Temperatuurivälja arvutusprogramme on nii kahe- kui ka kolmemõõtmelise soojuslevi jaoks.



Joonis 3.5 Välisseina välisnurga lahendus (vasakul) ning samatemperatuurijooned ja soojusvoolu vektorid (paremal).

Joonis 3.5 kujutatud välisseina välisnurga joonsoojusjuhtivus on arvutatav valemi 3.5 põhjal:

$$\Psi = 0,1987 \cdot 2 \cdot 1,2 - (0,1701 \cdot 1,2 + 0,1701 \cdot 1,2) = 0,068 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Standardis EVS-EN ISO 14683 on toodud tarindite tüüpsõlmede külmasildade soojusjuhtivused. Tuleb märkida, et liginullenergia- ja madalenergiahoonete tarindite puhul need suurused ei pruugi kehtida, kuna nende hoonete puhul võivad külmasilla soojusjuhtivused olla:

- suuremad, sest tarindite soojusjuhtivuse vähenedes kasvab külmasilla suhteline osakaal kogusoojuslevis;
- väiksemad, kui külmasildade likvideerimisele on pööratud erilist tähelepanu.

Külmasilla joonsoojusjuhtivuse suurus võib olla ka negatiivne: näiteks välisseina sisenurga puhul, kui soojuslevi arvutatakse hoone sisetuumade alusel. Tarindite liitekohtades saavad olla nii geomeetrised kui ka konstruktiivsed külmasillad. Hoolika projekteerimisega on võimalik nende mõju oluliselt vähendada. Projekteerimise käigus tuleb pöörata erilist tähelepanu järgmistele kriitilisematele kohtadele:

- välisseina nurgad;
- katuse ja välisseina liitekohad;
- pörandi ja välisseina liitekoht (eriti maani ulatuva akna korral);
- akna seinakinnitus;
- rõdu ja varikatuse kinnitus välisseinale.

Akna asukoht seinaga liitumisel mõjutab hoone energiakulu kahest aspektist:

- akna ja välisseina liitekohas oleva külmasilla joonsoojusjuhtivuse suuruse kaudu;
- aknast siseruumidesse tuleva päikeseenergia kaudu (mõjutab nii kütte- kui ka jahutuse kulu).

Akna varjestustegur on väiksem, kui aken paikneb sein välispinna lähedal. Samas võib siis tekkida akna ja välisseina liitekohta suur külmasild. Tabel 3.3 on näidatud akna asukoha mõju akna ja välisseina liitekohas oleva külmasilla suurusele ja mõjule. On näha, et akna ja välisseina liitekohta külmasilla mõju on väiksem, kui aken paikneb tuuletõkke sisepinnas või sein keskteljel. Kui aken paikneb sein välispinna lähedal, on külmasillast põhjustatud soojuskadu suurim ja temperatuurindeks on väiksem.

Tabel 3.3 Akna asukohta mõju akna ja välisseina liitekohas oleva külmasillale.

Akna ja välisseina liitekohas oleva külmasilla joon- soojusjuhtivus Ψ_j , W/(m·K)	Akna ja välisseina liitekohas oleva külmasilla temperatuurindeks f_{Rsi} , -	Akna asukohta skeem (ülal) ja samatemperatuurijooned (all)	
Akna asukoht: tuuletõkke välispinnas	0,03	0,82	
Akna asukoht: tuuletõkke katab lengi	0,01	0,83	
Akna asukoht: välisvoodri sisepinnas	0,06	0,78	
Akna asukoht: sein kesktelejel	0,02	0,84	
Laia lengiga aken tuuletõkke välispinnas	0,003	0,88	

3.3 Hoonepiirete õhupidavus

Hoonepiirete ebapiisav õhupidavus väljendub planeerimatu ja kontrollimatu õhuvoolu näol läbi pragude ja ebatiheduste hoone piiretes. Õhu infiltratsioon ja selle mõju sõltub hoonepiirete õhupidavusest, lekkekohtade paiknemisest, õhurõhkude erinevusest kahel pool piiret, kasutatavate materjalide omadustest ja kliimatingimustest (tuul (kiirus, suund, vertikaalne muutus), õhutiheduste erinevus). Õhurõhkude erinevust kahel pool piiret põhjustavad tuul, temperatuuride erinevus (nn. korstna efekt) või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevus.

Hoonete energiatõhususe analüüsis on oluline roll hoonepiirete õhupidavusel, mis mõjutab otseselt hoone kütte- ja jahutuskulusid. Hoonepiirete soojusjuhtivuse vähenemisega kasvab suhteline kulutus õhuvahetusele (ventilatsioon ja infiltratsioon). Hoonel, mille välispiirete õhuleke on suur, võib piirete õhulekkekohtade kaudu toimuv õhuvahetus olla samas suurusjärgus või suuremgi kui ventilatsiooniseadmete poolt vahetatav õhuhulk. Tavapärase hoone energiakulu võib olla oluliselt suurem kui väga väikese õhulekkega hoonel.

Kasvamas on elanike nõudmised hoonete sisekliima suhtes. Mõeldes hea sisekliima juures ka küttekuludele, on otstarbekas kasutada soojustagastusega ventilatsiooniagregaati, kus sissepuhkeõhk eelsoojendatakse väljatõmbeõhu soojusega. Kui piirded ei ole õhupidavad, siis vahetub suur osa õhku soojustagastit läbimata. See põhjustab suuremat energiakulu ja vähendab soojustagasti positiivset mõju (kasutegur kogu õhuvooluhulga suhtes). Tuleb aga rõhutada, et õhupidavate piiretega peab kaasas käima toimiv, efektiivne ja tasakaalustatud ventilatsioonisüsteem. Kui õhupidavate piiretega hoonel ei ole toimivat ventilatsioonisüsteemi, ei vahetu õhk siseruumides ja sisekliima saab rikutud.

Siiski ei ole hoonepiirete õhupidavus pelgalt energiatõhususe probleem. Lisaks energiatõhususele on õhupidavusega seotud ka järgmised tegurid:

- niiskustehnilised probleemid, hallituse teke, niiskuse kondenseerumine;
- hallituse, õhusaaste ja radooni levik põrandaalusest ruumist siseruumidesse, õhusaaste liikumine garaazist eluruumidesse, ebasoovitavate lõhnade liikumine korterite vahel;
- piirdepindade alajahtumine;
- sisekliima kvaliteet, tuuletõmbus;
- ventilatsioonisüsteemide toimivus, sise- ja välisõhu rõhkude erinevus;
- müraprobleemid;
- tuleohutus.

Piirdetarindis, milles on palju ebatihedusi, võib niiskuse konvektsioon kanda edasi niiskuse tunduvalt suuremaid koguseid, kui niiskuse difusioon seda suudab. Kuigi hoonepiire võib olla projekteeritud niiskustehniliselt turvaliselt toimivaks veeauru difusiooni suhtes, võib niiskuse konvektsioon põhjustada lubamatult kõrgeid niiskustasemeid.

Uuringud on tõestanud, et õhulekete teel kandub siseruumidesse hallituseosid, radooni või õhusaastet garaazist. Eestis tehtud uuringud on näidanud, et suurema õhulekkega hoonepiirete korral kurtsid elanikud külmade põrandate ja rohkem kõikuva sisetemperatuuri üle, samuti pistikupesadest tuleva külma õhu üle.

Õhulekked hoonepiirete kaudu mõjutavad siseruumide õhuvahetust, kuid läbi piirde ebatiheduste toimuv õhu liikumine ei ole kontrollitav, juhitud ega õhk vajadusel filtreeritav. Kui näiteks niiskuskahjustuste tagajärjel on piirdesse tekkinud hallitust või mädanikku, kannab õhk hallituse eosid siseruumi.

Kogu hoone õhupidavust mõjutavad kokkuvõttes kõikide piirete, liitekohtade, akende ja uste jne. õhupidavused. Õhupidavuse tagamine nõuab lõpuni läbimõeldud ja kompleksseid lahendusi. Piirdedetailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõke peab olema korralikult paigaldatud ja liitekohad nõutavalt tehtud.

Hoonepiirete õhupidavust iseloomustab õhulekkearv q_{50} (ühik $m^3/(h \cdot m^2)$), mis näitab õhuvooluhulka (m^3/h), mis läbib $1 m^2$ suuruse pindalaga piiret, kui kahel pool piiret on teatud õhurõhkude erinevus (tavaliselt 50 Pa). Kuna valmis hoone erinevate piirete õhupidavust eraldi mõõta polnud võimalik, mõõdeti kogu hoone õhupidavus ja väljendati see kõikide piirete keskmise õhulekkena. Lisaks on hoone õhupidavust iseloomustatud ka n_{50} arvu abil. n_{50}

mõõtühikuks on 1/h ja see väljendab õhuvahetuskordsust hoones, kui õhurõhkude erinevus kahel pool piiret on 50 Pa. Õhupidavuse mõõtemetod (EVS-EN 13829) on mõlemal puhul sama.

Vabariigi Valitsuse määruse „Energiaõhususe miinimumnõuded“ järgi tuleb energiaõhususe arvutustes kasutada õhulekkearvu baasväärtust, mis on uue väikeelamu korral $6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Madalenergia- ja liginullenergiahoonete energiaõhususe saavutamine eeldab suurema tähelepanu pööramist hoonepiirete õhupidavuse tagamisele. Tavapärase hoone õhupidavusega on madalenergia- ja liginullenergiahoonete energiaõhususe taset raske saavutada.

Energiaarvutustes võib kasutada ka väiksemat hoonepiirete õhulekkearvu. Sellisel juhul tuleb selle tagamine hiljem tõendada mõõtmistega standardi EVS-EN 13829 järgi. Saab kasutada ka õhulekkearvu tõendamismeetodit, mis põhineb kindlal projektlahendusel ja ehitaja või hoone tarnija kvaliteedisüsteemil. Õhupidamise tagamise järelevalve ja kvaliteedikontroll peab sisaldama vähemalt:

- Piisavaid juhiseid kõikideks õhupidavust mõjutavateks projekteerimis-, ehitus- ja järelevalvetöödeks.
- Kontrollmõõtmised, kus selgitatakse uudistoodangu õhupidavuse tase (mõõdetakse vähemalt 3% vastava tüübi uut hoonet (min. 3, maks. 10 (soovi korral võib ka rohkem))). Kui hoonetüüp sisaldab õhupidavuse tagamise seisukohalt oluliselt erinevaid lahendusi, tuleb nende erinevate lahenduste arvelt valimit suurendada.
- Hoonete õhupidavuse järelevalve peab sisaldama ka selle hoonetüübi õhupidavuse kestvuse analüüsi. Hoonepiirete õhupidavuse kestvus tõendatakse, kui mõõdetakse vähemalt kolme hoone õhupidavus vahetult pärast hoone valmimist ja 3 aastat hiljem. Kui hoonetüüp sisaldab õhupidavuse tagamise seisukohalt oluliselt erinevaid lahendusi, tuleb teha vähemalt üks kontrollmõõtmine iga erineva lahenduse kohta.
- Kui hoone õhupidavus aja jooksul muutub, selgitatakse selle põhjused, parandatakse tarindilahendusi, vajadusel muudetakse kasutatavaid materjale, täpsustatakse projekteerimis-, ehitus- ja järelevalvetööde kirjeldusi, mis tagaksid, et õhupidavus aja jooksul oluliselt ei halveneks. Kui deklareeritud õhulekkearv muutub, tuleb õhulekkearvu suurenemine võtta arvesse deklareeritud õhupidavuse suuruse määramisel.
- Järelevalve ja kvaliteedikontrolli mõõtmised vähemalt kolmes uues ja kolmes varem mõõdetud hoones peab tegema sõltumatu ekspert. Ülejäänud hoonete mõõtmised võib oma pädevuse piires teha hoone tarnija ise.
- Järelevalve ja kvaliteedikontrolli käigus tehtud mõõtmiste alusel võib korrigeerida deklareeritud õhulekkearvu.
- Hoone omanikul on õigus nõuda energiaarvutustes kasutatud õhulekkearvu saavutamist hoone ehitajalt/tarnijalt.

3.3.1 Juhiseid hoonepiirete õhupidavuse kindlustamiseks

Hoonepiirete õhulekete uuringud näitavad, et enamiku hoonetüüpide ja tarindilahenduste puhul on võimalik saavutada head õhupidavust. Samas võib aga sama hoonetüübi ja konstruktsiooni juures õhupidavuse erinevus olla väga suur. Hoonepiirete õhupidavus sõltub kasutatavast ehitusmaterjalist, ehitustehnoloogiast ja tööde kvaliteedist (projekteerimine, ehitamine, järelevalve). Õhupidavuse tagamine nõuab tihti keerukaid, lõpuni läbimõeldud ja kompleksseid lahendusi. Piirdedetailid tuleb projekteerimise käigus hoolikalt läbi mõelda, õhutõke peab olema hoolikalt paigaldatud ja liitekohad nõutavalt tehtud. Tuleb teadvustada, et ka üksikud õhulekkekohad võivad põhjustada probleeme hoone kasutaja (tuuletõmbus, radoon, hallituse eosed ja -laguproduktid või ebasoovitavad lõhnad) või piirde enese jaoks (niiske siseõhu konvektsioon piirde sisse), kuigi hoone üldine õhulekkearv on väike. Seetõttu ei taga väike õhulekkearv alati hoone turvalist toimimist.

Projekteerimise mõju

Hoonete keerukuse tõttu tuleb energiatõhususele, piirdetarindite soojus- ja õhupidavusele pöörata tähelepanu juba projekteerimise algstaadiumis. Hoonepiirete õhupidavust mõjutavad nii strateegilised otsused (peamised tarinditüübid, õhutõkkesüsteemi valik, valitud süsteemi lihtsus ja töökindlus, riskantsete lahenduste vältimine) kui ka detailsed lahendused (õhutõkkekivi esitus ja jätkuvus tarindidetailide ja sõlmede joonistel, piisavalt suure mõõtkavaga detailide ja sõlmede joonised). Järgnevad meetodi aitavad parandada hoonepiirete õhupidavust projekteerimisjärgus:

- Vältida tuleb riskantseid ja keerukaid lahendusi, eelistades neid teostuselt ja toimivuselt selgetele ja töökindlatele.
- Tuleb määrata tarindikihid, mis tagavad piirete õhupidavuse, ja jälgida, et need oleksid jätkuvad üle kogu hoone. Kasutada tuleb nn. pideva joone meetodit, millega saab näidata õhutõkke asukohta ja jätkuvust tarindites.
- Õhutõkkekihit peab olema piisavalt õhupidav, ehitatav, pikaajaliselt vastupidav.
- Vältida sama hoone juures liiga paljude erinevate tarinditüüpide kasutamist. Tihti tekivad probleemid just tarindite liitekohtade juures, eriti erinevate lahenduste puhul.
- Ehitamise ja tarindikihtide paigaldamise järjekord tuleb läbi mõelda ja detailselt joonistel ja seletuskirjas kirjeldada.
- Minimeerida tuleb õhutõkkest ja soojustusest läbiviike, mis on potentsiaalselt lekkekohaks. Kui läbiviigud on vältimatud, tuleb esitada läbiviigu õhupidavuse tagamise lahendus.
- Hoone piirdetarindid, liitekohad ja õhutõkkest läbiviigud tuleb projekteerida nii, et nende õhupidavus ei halveneks aja jooksul. Varjatud liitekohtade õhupidavuse kestvus vajab erilist hoolt.

Ehitusprotsessi mõju

Piirete ja liitekohtade projekteerimisel ja ehitamisel tuleb arvestada ka nende soojus- ja niiskustehnilise toimivusega ning tuleohutusnõuetega.

Kõik vuugid ja liitekohad tuleb hoolikalt tihendada ja kindlustada nii, et lõpptulemust ei rikuta kaablite või torustike paigaldusega. Aknad ja ukсед tuleb paigaldada ja tihendada nii, et seina ja lengi ning lengi ja raami vahele ei jääks õhulekkekohti. Lisaks pragude täitmisele elastse montaaživahuga või tihendusvilla ribadega tuleb avatäidete lenki tihendada seinatarindiga ka teipimise teel.

Kuna enne ehituse valmimist ei või olla täiesti kindel hoone õhupidavuse saavutamise kohta, on ehitusloa taotlemisel põhjust kasutada nende hoonekonstruktsioonide puhul varem praktikas korduvalt saavutatud ja sellega garanteeritud õhulekkearvu. Kui energiaauditi tegemisel või energiamärgise koostamisel lähtutakse arvutuslikust energiakulust ja on võimalik mõõta hoonepiirete õhupidavust, on seda mõistlik teha, sest siis saab seda olulist muutujat võimalikult täpselt määrata.

Hoonete tarindite mõju

Eelistatuim asukoht hoonepiirete õhupidavust tagavale õhutõkkekivile on sisepinna lähedal 20–50 mm soojustuse sees või sisepinnas. Piirde seespoolsetes kihtides takistab õhutõke kõige paremini niiske siseõhu konvektsiooni piirdesse. Ka piisavalt väikese õhujuhtivusega tuuletõkkeplaat ja tema tihendus võib moodustada õhutõkkekivi. Õhutõkke soojustuse sisepinnas paiknemist toetab asjaolu, et õhutihedad materjalid on üldjuhul ka suurema aurutakistusega. Suure aurutakistusega materjali ei või paigaldada soojustusest väljapoole. Kui õhutõke paikneb soojustuse sisekihtides, on mõistlik kombineerida õhu- ja aurutõke üheks materjalikihtiks. Ka hoonepiirde kande- või soojustuskiht võib olla õhutõkkeks. Selliseks materjaliks võivad olla näiteks raudbetoonpaneel või liimpuitpaneel. Väikeplokkide juures tuleb tähelepanu pöörata sellele, et neid on suurema ja väiksema juhtivusega. Praktiliselt täiesti õhkuläbilaskvad on keramsiitplokid. Suurema õhuvoolutakistusega on poorbetoonplokk ja betoonplokk.

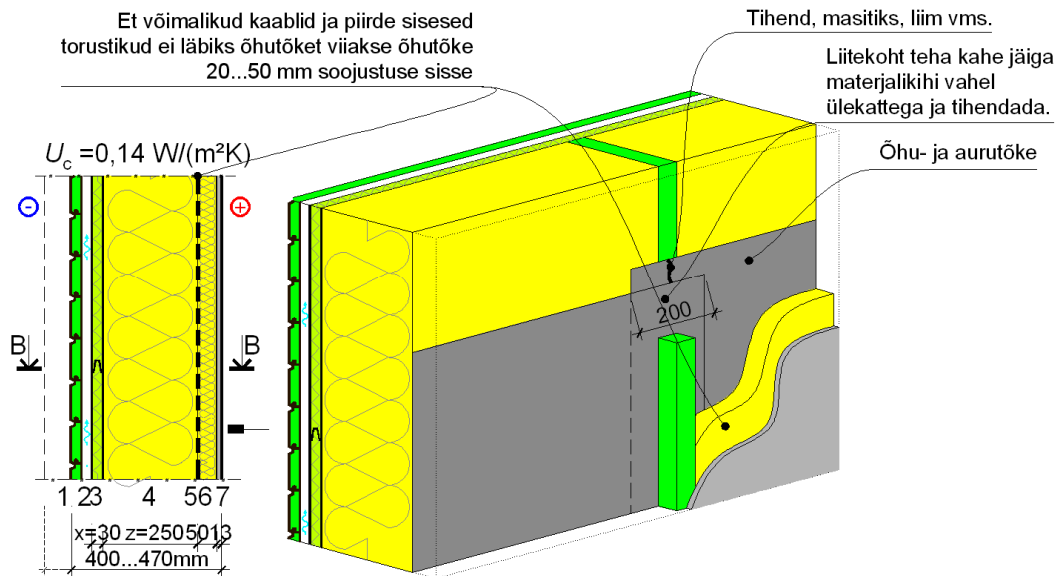
Järgnevalt on esitatud mõningaid soovituslikke lahendusi, mille abil saab hoone õhupidavust parandada. Hoone tarnija spetsiifika järgi võib järgnevaid lahendusi sobitada või korrigeerida.

- Betoonest seinaelementide liitekohad tihendatakse elastsete vuugitaidetega. Katuslaepaneelide täisvalatud pikivuukide õhupidavus tagatakse vuugi peale paigaldatava õhutõkkeribaga (näiteks kleebitav või liimitav bituumen või kummibituumenriba või muu analoogne materjali), kogu paneelile paigaldatava ühtlase auru- ja õhutõkke rullmaterjaliga (näiteks kleebitav või liimitav bituumen või kummibituumenrullmaterjal) või ühtlase tasandusvaluga. TT- ja HTT-tüüpi paneelide liitekohad, kus vuukides betoonvalu ei kasutata ja paneelidevahelised deformatsioonid võivad olla suuremad, peab vuugile paigaldatav õhutõkkeriba või rullmaterjal tagama paneelidevaheliste deformatsioonide erinevuse. Vahtpolüstüreeniga altpoolt soojustatud paneelide vuugid tihendatakse elastse polüuretaanmontaaživahuga. Üldiselt on polüuretaanmontaaživaht avatud pooridega ja kui seda noaga lõigata, kaotab vaht oma õhupidavuse. Seetõttu tuleb vahtu paigaldada nii palju, et seda ei peaks lõikama.
- Sõrestikseina ruumipoolsemas pinnas paiknevaks ühtseks õhu- ja aurutõkkeks sobivad plastkiled, lamineeritud paberid või bituumenpaberid, mis paigaldatakse tugevale alusplaadile. Pabertoodete kasutamisel tuleb erilise tähelepanuga jälgida, et need paigalduse käigus ei rebeneks ja moodustaksid soojustuse sisepinna tervikliku kihid. Õhu- ja aurutõkke liitekohad peavad asetsema kahe jäiga materjalikihi vahel, kinnitatud olema liistuga postile 20 cm ülekattega ja tihendatud mastiksiga või teibiga (Joonis 3.6). Teibi valikul peab arvestama, et selle liimimisomadused oleksid laitmatud ka aastakümnete pärast. Välispiirdes peab õhu- ja aurutõkke jätkuma vaheseinte ja -lagede juures. Ehitusplaatidest õhutõkete liitekohad võib tihendada elastse silikooniga, mastiksiga, polüuretaanvahuga või mõne muu toimiva tehnoloogiaga. Et saaks tihendada plaate omavahel ja plaatidest läbiviike, peab plaatidel olema piisav paksus ja vuugi laius (min. 20 x 10 mm, st. plaadi paksus vähemalt 10 mm). Paljusid kõrvutiasetsemaid läbiviike on raske tihendada.
- Õhutõkke paigaldatakse nii, et võimalikud kaablid ja piirdesisesed torustikud ei läbiks õhutõket. Puitsõrestikseinas viiakse selleks õhutõkke 20–50 mm soojustuse sisse. Kui õhutõkkest sissepoole plaanitakse paigaldada soojustust, peab enne soojustuse paigaldamist enamuse hoone ehitusniiskusest olema välja kuivanud.
- Soojustus peab täitma kogu temale määratud ruumi ja liibuma tihedalt vastu sisemist (siseviimistlusplaat, õhu- ja aurutõkke) ja välimist (tuuletõkke) materjalikihti. Soojustus peab olema maksimaalselt homogeenne. Kui soojustus on kokku lapitud paljudest väikestest tükkidest, tekivad sellesse vuugid ja tühimikud, kus õhk pääseb liikuma. Kihiti paigaldatud soojustuse põikivuugid ei tohi sattuda kohakuti – tuleb jälgida, et eri kihtide vahele ei jääks õhuvahesid. Tuuletõkkeplaadid tuleb jätkata postide ja sarikate kohal ja põikijätkud tihendada liimiga või elastse montaaživahuga. Põikivuukide õhupidavust saab parandada, kui paigaldada vuukide taha tuuletõkkepaber.
- Põranda, vahe- ja katuslae ning seinaga õhu- ja aurutõkked peavad olema omavahel ühendatud (vt. Joonis 3.7, Joonis 3.8). Katuse õhutõkke liidetakse seinaga õhutõkkekihiga elastse mastiksi abil ja fikseeritakse täiendava liistuga. Pinnasele toetuva põranda ja välisseina liitekoht tihendatakse kleebitava või liimitava kummibituumenribaga ja vuugi elastse kittimisega.
- Väga palju probleeme on olnud profiilplekist kandeosaga katuslagedega, mille juures on õhu- ja aurutõkkeks kasutatud plastkilet otse pleki peal. Profiilpleki kandevosa on ~35–40%, ülejäänud osas ei ole kilel tuge all. Õhu- ja aurutõkkele liitekoht ei ole kahe tiheda materjalikihi vahel ja kile teibitud liited tulevad lahti. Samuti mõjutavad õhu- ja aurutõkke liidete, kile parapeti ja seinaga liitumise kohtade ja läbiviikude auru- ja õhupidavuse kestvust profiilplekialuste suured läbipained. Kui katusekatte ja soojustusmaterjali kinnitamisel alusele kasutatakse teleskoopüübleid, mis kinnituvad profiilpleki harjadele löikepeaga varustatud kinnituskruvidega, võib neid alusele kinnitades olla väga raske tabada profiilpleki harjakohta ning seetõttu tekivad aurutõkkele tahmatult kruvi diameetri suurused augud. Seepärast tuleb profiilplekist kandeosaga katuslagede õhu- ja aurutõkke aluseks kasutada jäika alust: niiskuskindlat vineeri või jäika mineraalvilla paksusega 20 mm ja õhu- ja aurutõkkeks kasutada modifitseeritud bituumenrullmaterjale. Soojustuse kinnituskruvide asukohad tuleb eelnevalt ära märkida, et need satuksid õigesse kohta.

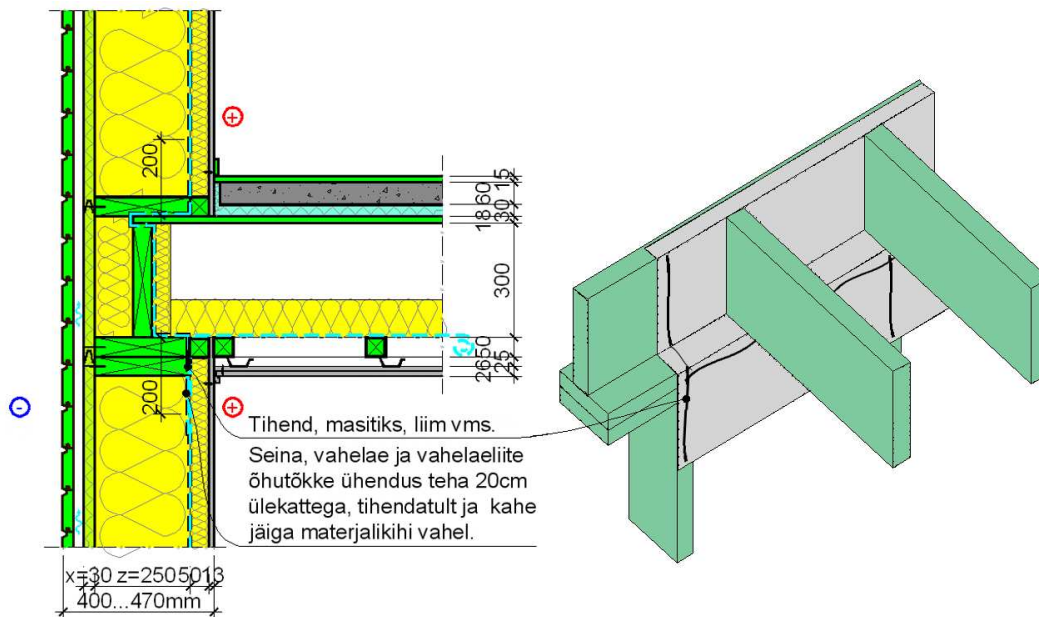
- Väga oluline on katusest tehtavate läbiviikude hoolikas õhu- ja aurukindlus. Soovitav on siinjuures kasutada spetsiaalset läbiviigu tihendit.
- Pööningu vahelagedel võib kerge soojustuse toetada õhutõkkele, kui see paikneb laudisel (vt. Joonis 3.8), profiilplekil või ühtsel ehitusplaadil.
- Väikeplokkidest seina õhupidavus võib põhineda plokkide krohvimisel + plokkide õhupidavusel + vuukide täisvalamisel (poorbetonplokkid), plokkide krohvimisel + täidetud vuukidel (keramsiitplokkid, silikaatplokkid ja betoonõõnesplokkid) või plokkidesiseste õõnte täisvalamisel (betoonist õõnesplokkid). Kuigi seina kandevõime tagamise pärast ei pruugi püstvuukide täitmine olla alati vajalik, on täitmata püstvuukidega lahendus ehitusfüüsikalistest põhjustest (välisseinte tuule- ja vihmakindlus, niiskustehniline toimivus, vaheseinte heliisolatsioon ja tulepüsivus jne.) tulenevalt halb lahendus. Plokkseintesse tehtud süvendeid kaablite ja harutooside ning teiste installatsioonijärgsete jaoks peab samuti töötleva õhupidavaks (krohvida). Õhupidavuse tagamiseks vajalik krohvi paksus peaks olema vähemalt 10 mm.
- Palkseinte õhupidavuse tagamisel tuleb arvestada palkhoone vajumisega 3–5%. Vajumise põhjustab palkide kokkutõmbumine (mahuline kahanemine) kuivamisel ja puidu kokkusurumine. Seetõttu tuleb mittekandvate vaheseinte, uste ja akende kohale jätta piisavalt vajumisruumi. Palkhoone palk kuivab ca 2–3 aastat, olenedes palgi läbimõõdust ja ka ilmastikust. Palkseina õhupidavuse tagamisel on oluline vara ja nurkade tihendus. Lisaks siseviimistluslikele ja tuleohutuslikele põhjustele on palksein krohvitud, et vähendada õhulekkeid selle seina kaudu.
- Läbiviigud kivi- või paneelseinast või ehitusplaadist tihendatakse polüuretaanvahuga või elastse mastiksiga. Kile- või paberõhutõkkest läbiviigud tihendatakse äärikuga varustatud läbiviigudetailidega või kasutatakse ehitusplaadist läbiviigueleменти. Õhutõkkeesse tekkinud augud täidetakse elastse montaaživahuga, elastse mastiksiga või piisavalt kestvate liimimisomadustega teibiga. Deformatsioonivuugid tihendatakse nii, et hoone või selle osade liikumine oluliselt ei halvendaks liite õhupidavust.
- Aknad ja ukсед liidetakse teiste piirdetarinditega piisavalt õhupidavalt (vt. Joonis 3.6). Lisaks pragude täitmisele elastse montaaživahuga või tihendusvilla ribadega tuleb avatäidete lengid tihendada seinatarindiga ka teipimise teel;
- Õhupidavusmeetmete rakendamisel tuleb pöörata tähelepanu nii välispiirdetarinditele kui ka sisetarinditele. Tuleb vältida olukorda, kus välispiirded lekivad sisepiirete või nende liitekohtade kaudu.

Koostöö ja järelevalve mõju

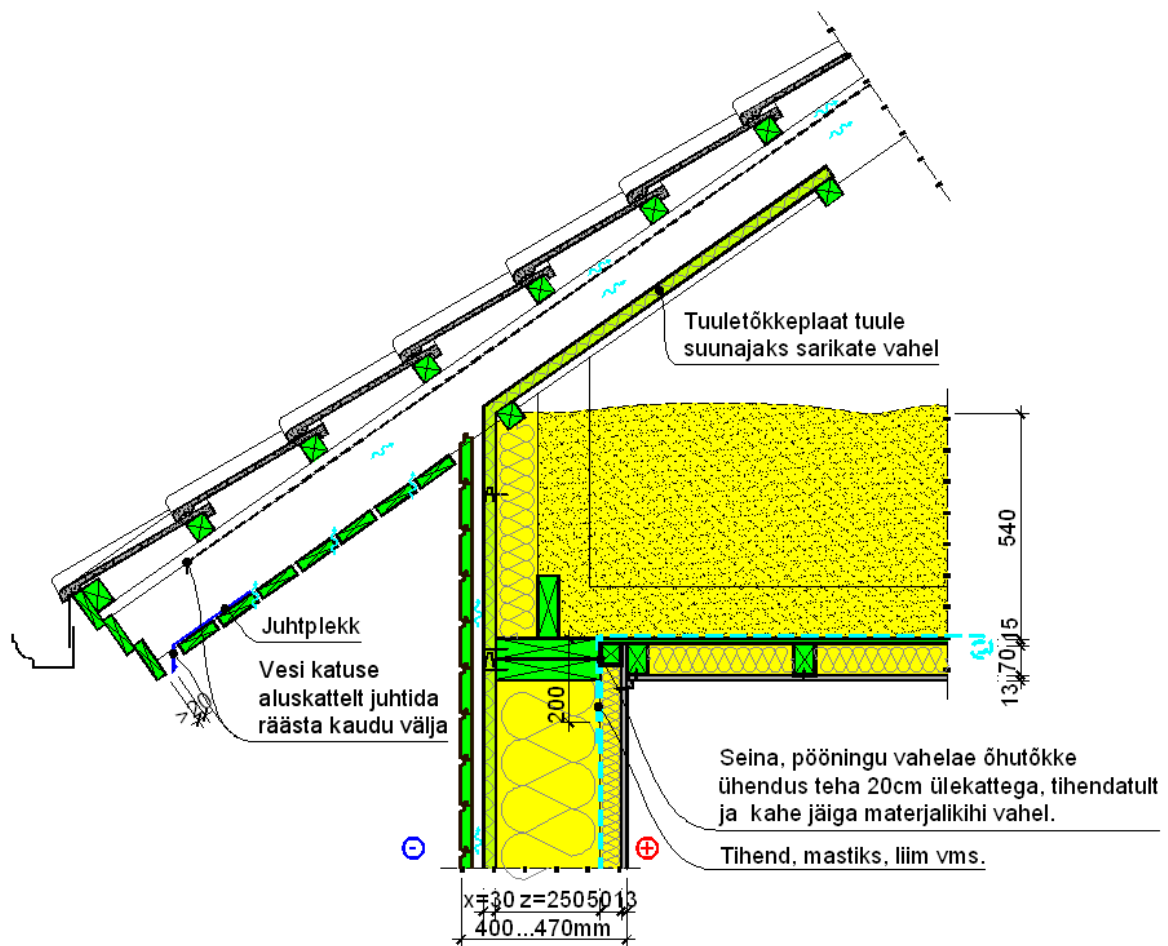
- Parim lõpptulemus saavutatakse, kui kõrvaldada vead viivitamatult ja tõhusalt.
- Oluline on ehitusprotsessi erinevate poolte koostöö, seda nii vertikaalsel kui ka horisontaalsel tasandil. See tähendab, et erinevate osade projekteerijad (arhitekt, ehitusinsener, tehnosüsteemide projekteerija) ja ehitajad peavad lahendused omavahel kooskõlastama; projekteerijad, ehitajad, järelevalve ja tellija kooskõlastavad lahendused, et need vastaksid soovitud ning neid saab ka tegelikult ellu viia.
- Töödejuhataja juhendab enne olulisi tööetappe tööde tegijaid ja selgitab ehitatavat lahendust, miks lahendus tehakse just nii, mitte „*nagu me seda kogu aeg oleme teinud*”.
- Projekteerija saab projekteeritud lahendusest tagasisidet (nii positiivset kui ka negatiivset).
- Hilisemate arusaamatuste vältimiseks tuleb soojustuse ning õhu- ja aurutõkke paigaldamise vastu võtta kaetud tööde aktiga. Enne kalleid siseviimistlustöid on nii ehitaja kui ka tellija seisukohast otstarbekas teha hoonepiirete õhupidavuse mõõtmine koos termokaameraga või märkesuitsuga õhulekkekohtade fikseerimisega.



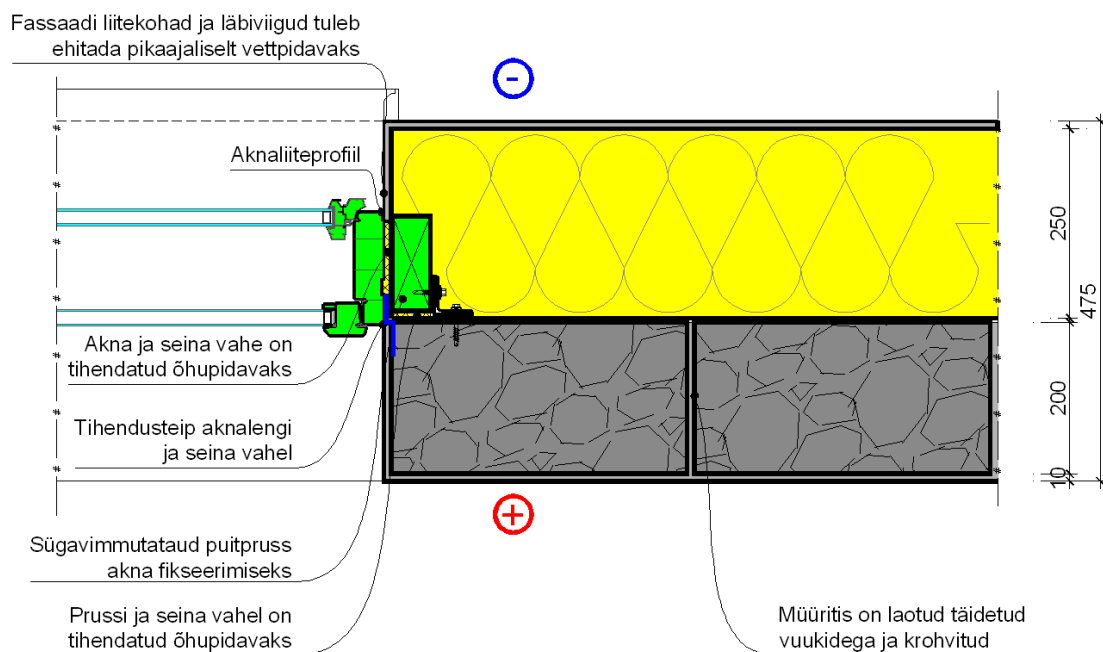
Joonis 3.6 Õhu- ja aurutõkke liitekohad peavad asetsema kahe jäiga materjalikihi vahel, kinnitatud liistuga postile, 20 cm ülekattega ja tihendatud mastiksiga või teibiga.



Joonis 3.7 Õhu- ja aurutõkke jätkamine puitsõrestikseina ja vahelae liitekohas.



Joonis 3.8 Õhu- ja aurutõkke jätkamine puitsõrestikseina ja pööningu vahelae liitekohas.



Joonis 3.9 Välise krohvitud komposiitsoojustusega kaetud müüritise ja akna liitekoht.

3.4 Välispiirete summaarne soojuserikadu

Väikeelamu välispiirete soojuspidavust iseloomustab kõige paremini soojuserikadu köetava pinna kohta. Hoone välispiirete summaarse soojuserikao köetava pinna ruutmeetri kohta H/A, W/K saab arvutada valemi 3.6 abil:

$$\Sigma H / A_{k\ddot{o}etav} = \frac{\Sigma U_i \cdot A_i + \Sigma \Psi_j \cdot l_j + \Sigma \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf}}{A_{k\ddot{o}etav}}, W/(K \cdot m^2) \quad 3.6$$

U_i tarindi soojusjuhtivus, W/(m²·K);

A_i tarindiosa pindala, m²;

Ψ_j külmasilla joonsoojusjuhtivus, W/(m·K)

l_j joonkülmasilla pikkus, m;

χ_p külmasilla punktsoojusjuhtivus, W/ K

l_j punktkülmasildade arv, m;

\dot{V}_{inf} infiltratsiooni õhuvooluhulk $\dot{V} = \frac{q_{50} \cdot A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}irded}}{3600 \cdot x}$, m³/s

q_{50} : õhulekkearv, m³/(h·m²), $A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}irded}$: siseruumi väliskeskkonnast eraldavate piirdetarindite (põrand, katus, seinad aknad ukсед jne.) pindala, m².

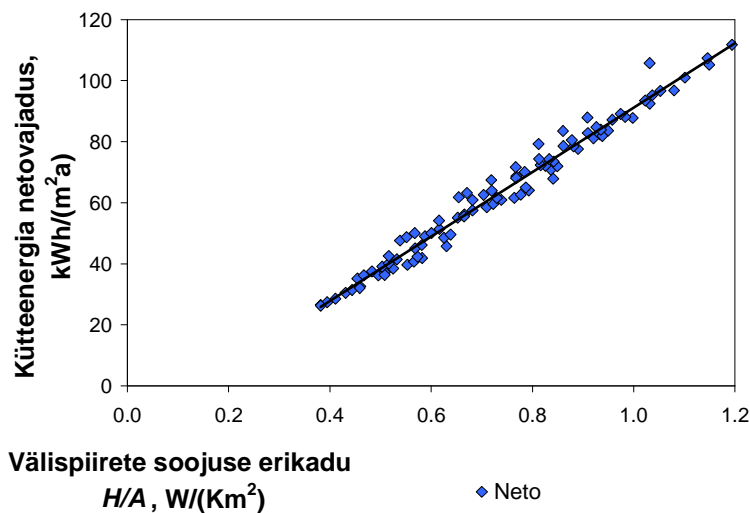
$x \Rightarrow$ 1-korruseline hoone $x = 35$; 2-korruseline hoone $x = 24$; 3–5-korruseline hoone $x = 20$; >5-korruseline hoone $x = 15$;

ρ_a õhutihedus 1,2 kg/m³;

c_a õhu erisoojus 1005 J/(kg·K);

$A_{k\ddot{o}etav}$ köetav pind, m².

Väikeelamu välispiirete soojuserikadu on praktiliselt lineaarses sõltuvuses soojuse netovajadusega ruumide kütteks, vt. Joonis 3.10. Seetõttu saab väikeelamu välispiirete soojuskao abil lihtsalt hinnata hoone kütmiseks vajaminevat soojust.



Joonis 3.10 Soojuse netovajaduse sõltuvus välispiirete soojuserikaost.

Hoone välispiirete summaarse soojuserikao arvutus näidisväikeelamule on esitatud Tabel 3.4 kujul.

Tabel 3.4 Välispiirete summaarse soojuserikao arvutustabel.

Piirdetarind	Soojusjuhtivuskad piirdetarindite kaudu			Soojusjuhtivuskad külmasildade kaudu				Õhulekete soojuskaod	
	$U_{i,j}$ W/(m ² ·K)	$A_{i,j}$ m ²	$H_{juhtivus}$ W/K	Külmasild	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{külmasild}$ W/K	Õhulekete Omadus	Suurus
Välissein	0,14	170,1	23,8	Välissein- välissein	0,08	40	3,2	Õhulekete- arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	3
Pööningu vahelagi*	0,09	94,1	8,5	Pööningu vahelagi- välissein	0,09	44	4,0	$A_{välispiirded}$, m ²	412
Põrand pinnasel*	0,09	94,1	13,2	Põrand- välissein	0,15	44	6,6	\dot{V}_{inf} , m ³ /s	0,0142
Aken	0,8	45,4	36,7	Akna seina- kinnitus	0,03	100	3,0		
Uks	0,7	8,5	6,0	Ukse seina- kinnitus	0,03	13	0,4		
Kokku:	$H_{juhtivus}$, W/K	88,1		$H_{külmasild}$, W/K		17,2	$H_{õhulekete}$, W/K	17,1	
Välispiirete summaarne soojuserikadu				ΣH , W/K				122,5	
Hoone köetav pind				$A_{köetav}$, m ²				171,1	
Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna kohta				$\Sigma H / A_{köetav}$, W/(m ² ·K)				0,72	

3.5 Piirdetarindite põhimõttelisi tüüplahendusi

Järgnevalt on esitatud tarindite tüüplahendusi, et aidata teha piirdetarindite esialgseid valikuid projekteerimise algstaadiumis. Piirdetarindite lahendused on suundaandvad. Projekteerija poolt tuleb projekteerida alati konkreetsele objektile sobivad tarindid. Tarindite lahendused on antud nendesamade nelja erineva soojustustasemete korral, millega tehti ka tüüppoone energiaarvutused, vt. Tabel 3.5. Soojusjuhtivuse suurused on arvatud levinuimate soojustuse paksuste juures. Soojuserijuhtivuste osas ei ole keskendunud kindlatele tootemarkidele, vaid on kasutatud soojuserijuhtivuste tüüpsuursi, millest konkreetsete toodete näitajad võivad olla väiksemad (esitatud näited on üldjuhul tagavara kasuks). Seetõttu võib esineda varieeruvust soojusjuhtivuse suuruse osas samade soojustuse kontseptsioonide erinevate tarindilahenduste juures.

Lisaks esitatud lahendustele on veel palju muid lahendusi, mida madalenergia- ja liginull-energiahoone juures saab kasutada. Lahendusi võib täiendada ja kombineerida erinevate viimistlus- ja soojustusmaterjalidega.

Tabel 3.5 Tüüplahenduste joonistel esitatud lahenduste soojusjuhtivused.

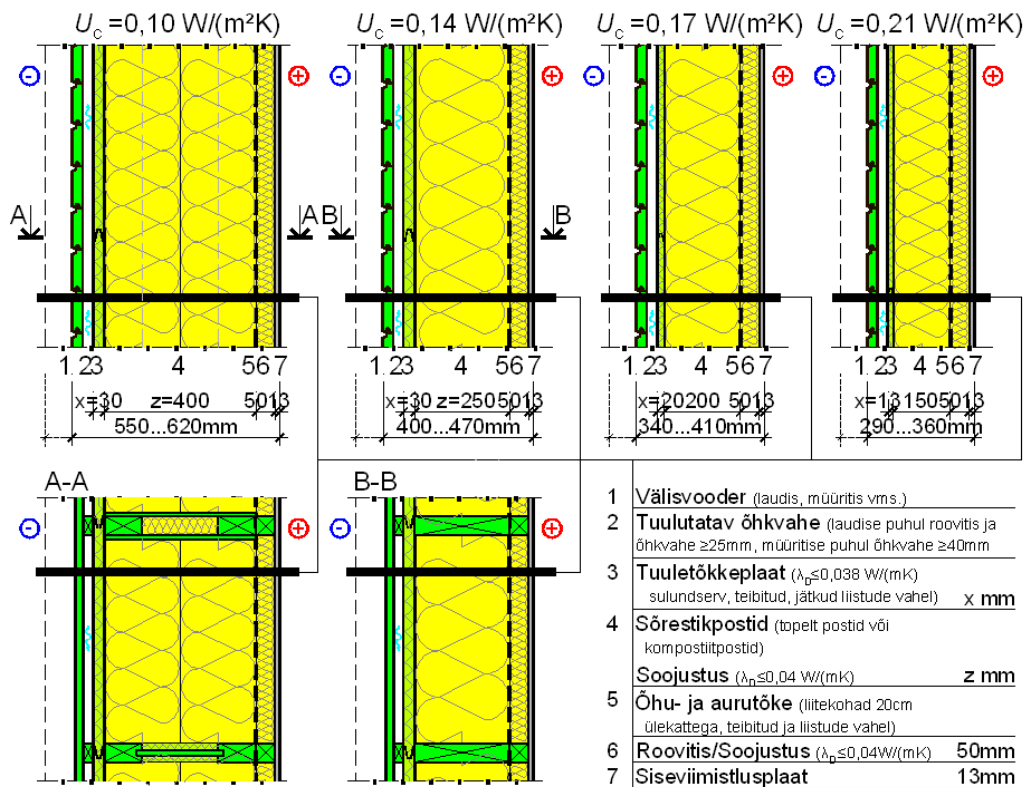
Tarind	Tüüppoone välispiirete soojuserikadu H/A, W/(m ² ·K)			
	0,42	0,58	0,76	0,96
	Tarindi soojusjuhtivus U_c , W/(m ² ·K)			
Välissein	0,10	0,14	0,17	0,23
Katuslagi, pööningu vahelagi	0,06	0,09	0,14	0,18
Põrand	0,06	0,09	0,14	0,18

3.5.1 Välisseinad

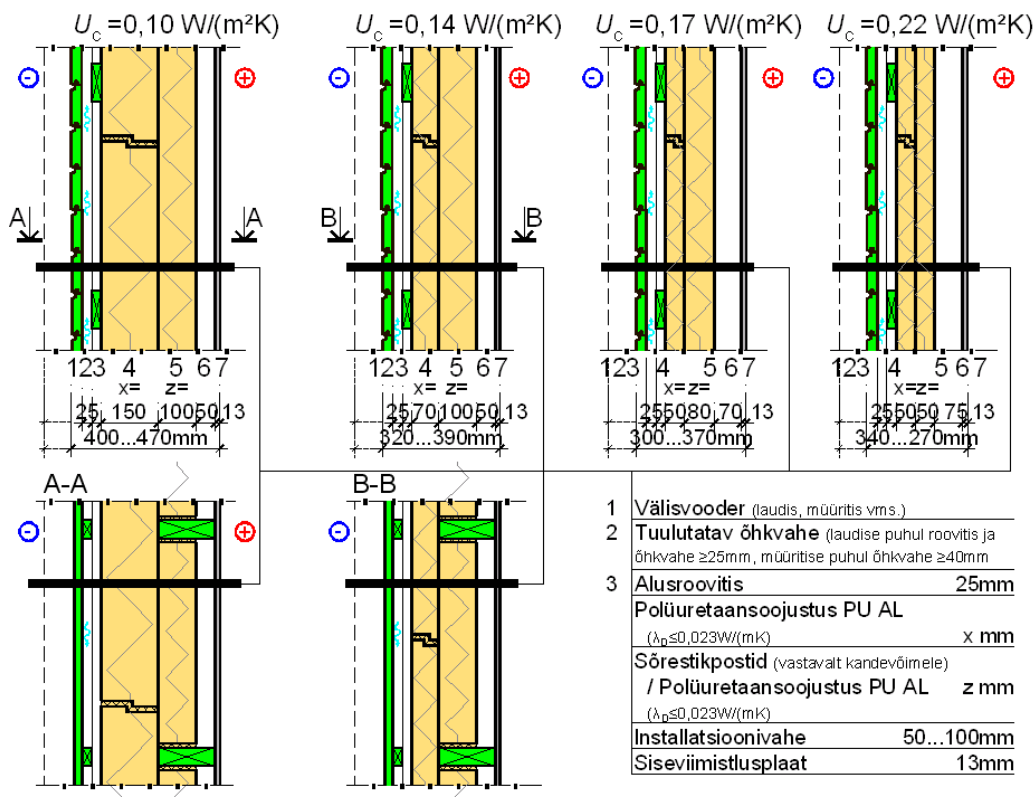
Välisseinte lahendused on esitatud väikeelamute juures kasutatavate levinuimatele välisseinatuüpididele:

- puitsõrestiksein (mineraalvillast soojustusega ja polüuretaansoojustusega);
- lisasoojustatud väikeplokk;
- soojustamata väikeplokk (kui on võimalik).

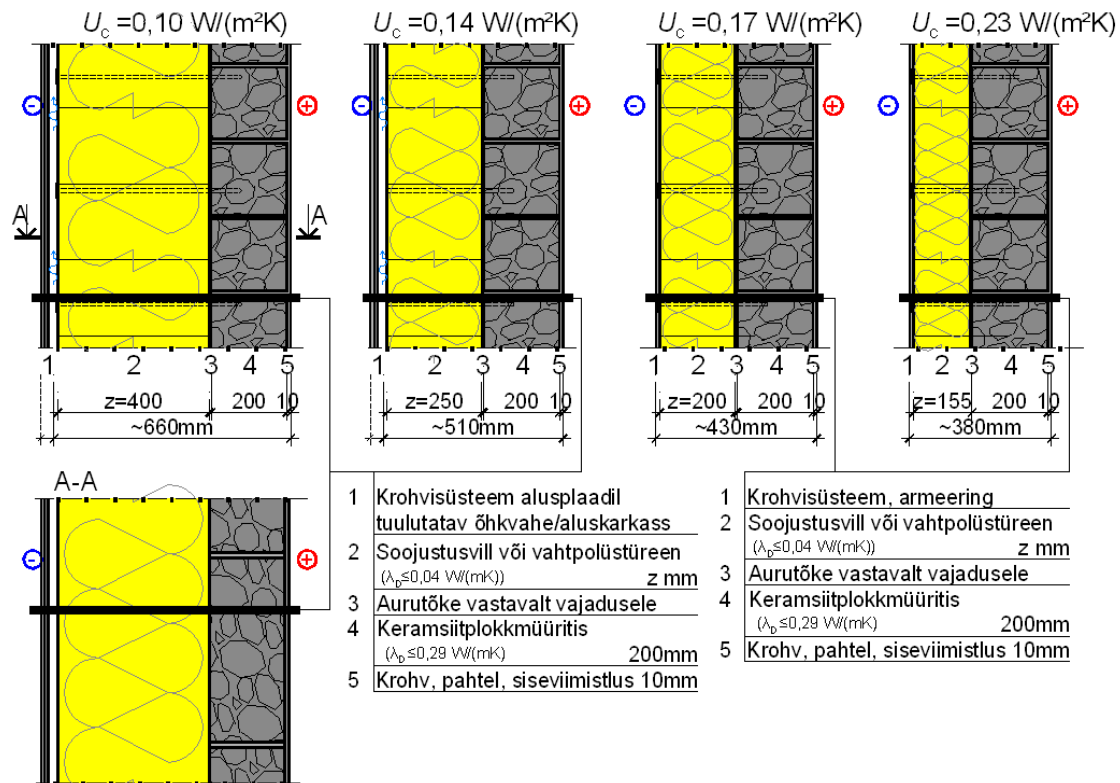
Puitsõrestiksein



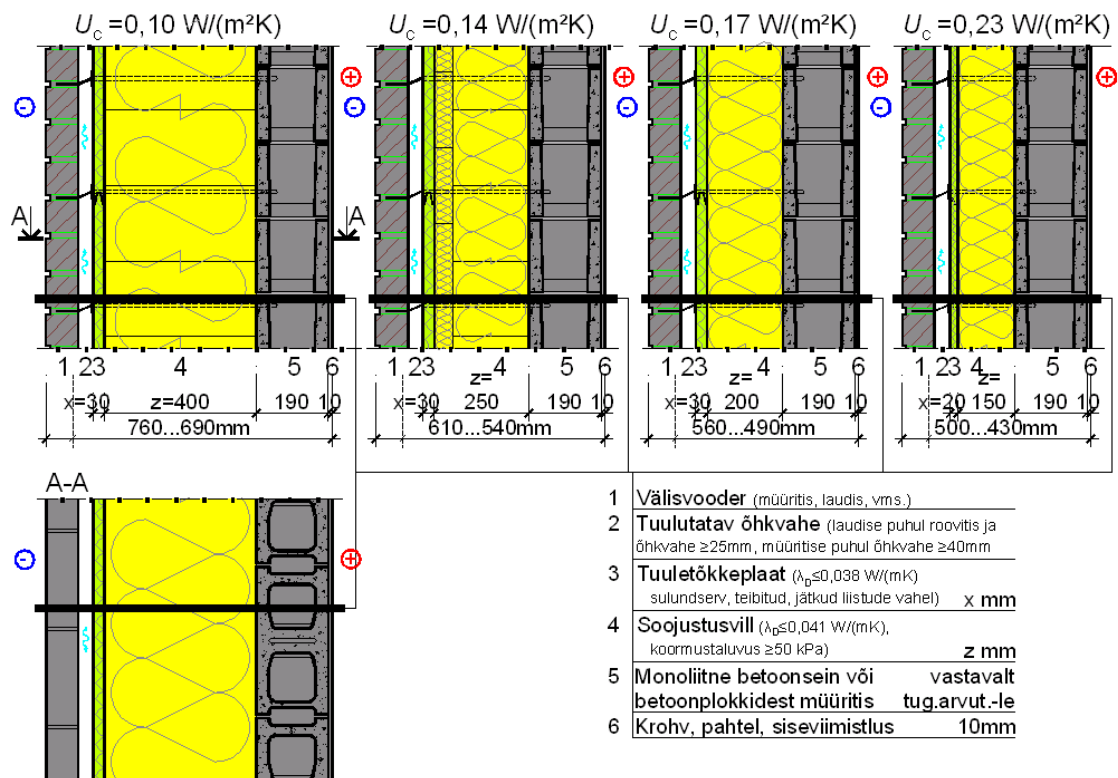
Joonis 3.11 Laudvoodriga kaetud ja mineraalvillaga soojustatud puitsõrestiksein.



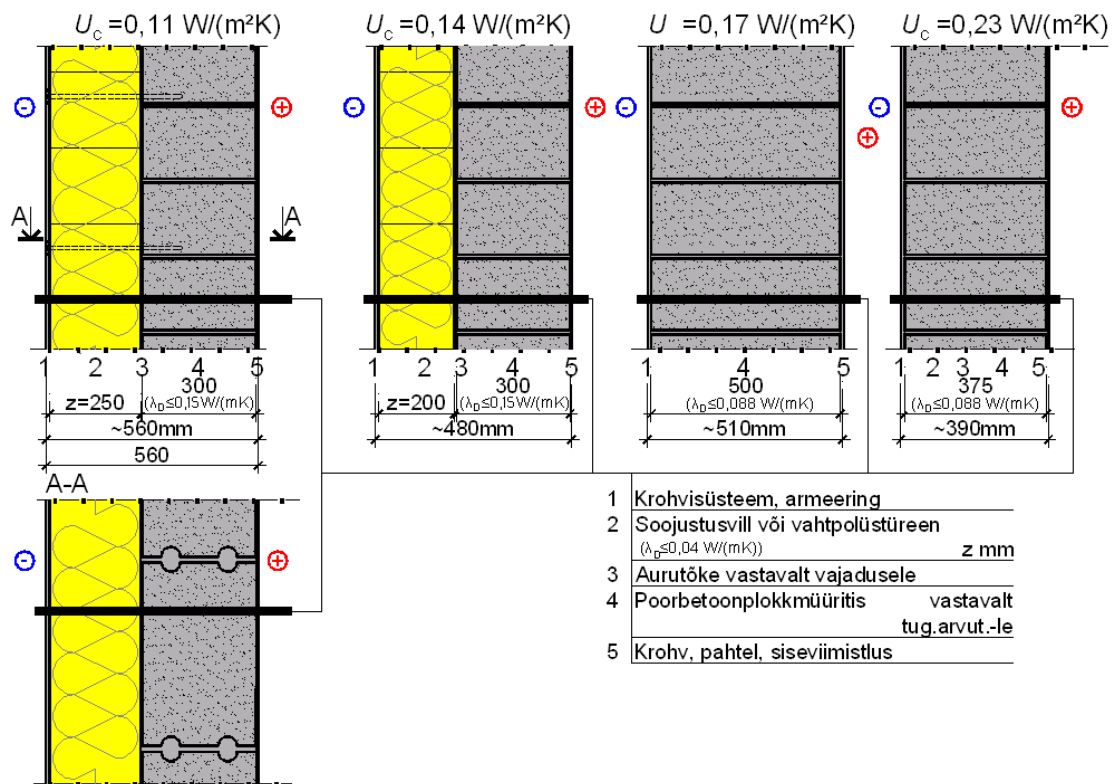
Joonis 3.12 Laudvoodriga kaetud ja vahtpolüüretaanplaadiga soojustatud puitsõrestiksein.



Joonis 3.13 Krohvitud, mineraalvillast või vahtpolüstüreenist, komposiitsoojustusega kaetud keramsiitplokkidest müüritis.



Joonis 3.14 Tellisfassaadiga kaetud betoonplokkidest laotud sein.

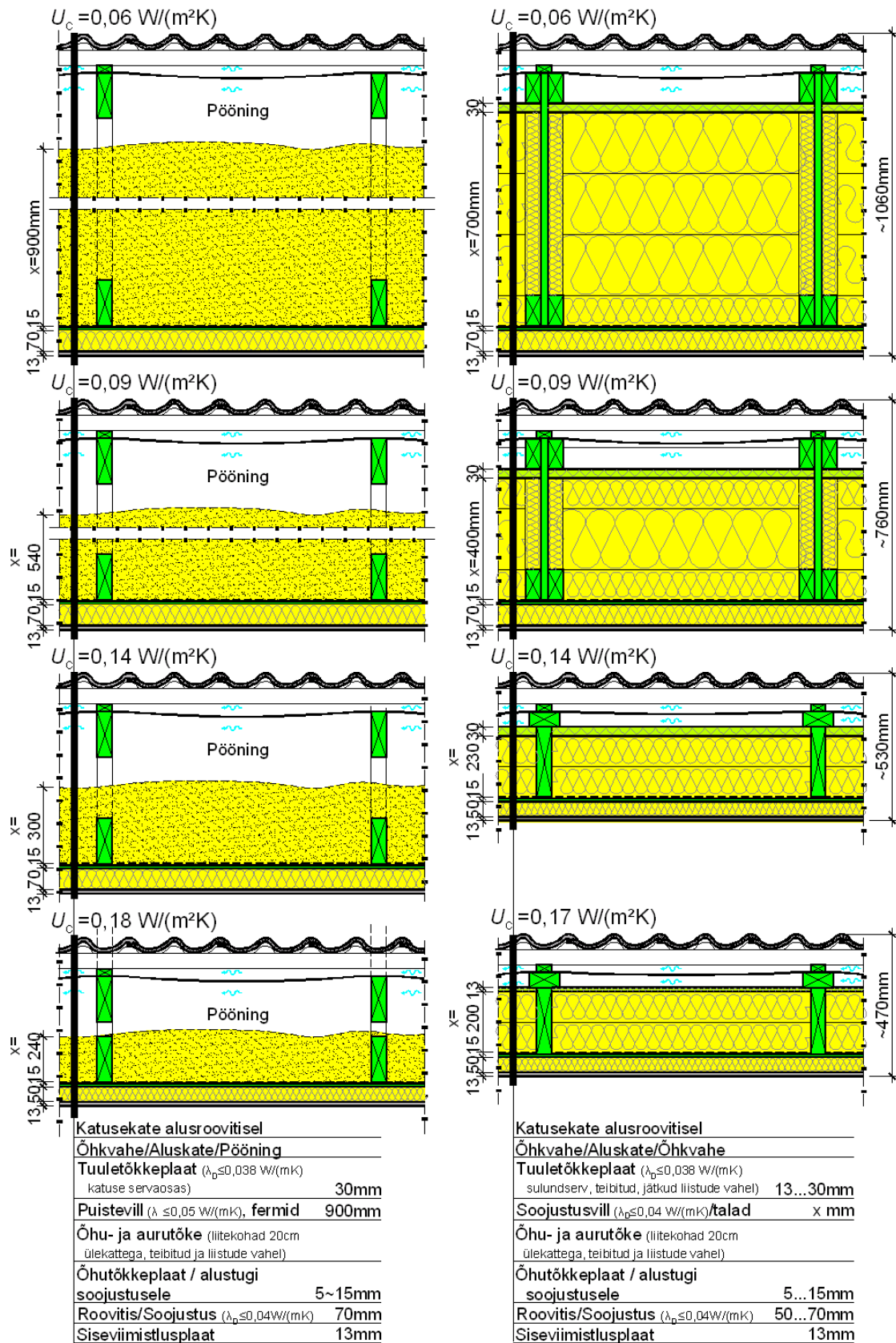


Joonis 3.15 Krohvitud, mineraalvillast või vahtpolüstüreenist, komposiitsoojustusega kaetud poorbetoonplokkidest müüritis.

Välisseinte kavandamisel tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et niiskustehniliselt turvalisemad on lahendused, kus vihmatorke (fassaad) ja tuuletõrke ei ole samas kihis. Seetõttu on sademevee seina sattumise suhtes välisest krohvitud komposiitsoojustusest turvalisem lahendus õhkvahega varustatud fassaadikiht. Väline krohvitud komposiitsoojustus ei sobi puitsõrestikseintele, kuna seina sattuv sajuvesi ei pääse sealt piisavalt kiiresti välja kuivama.

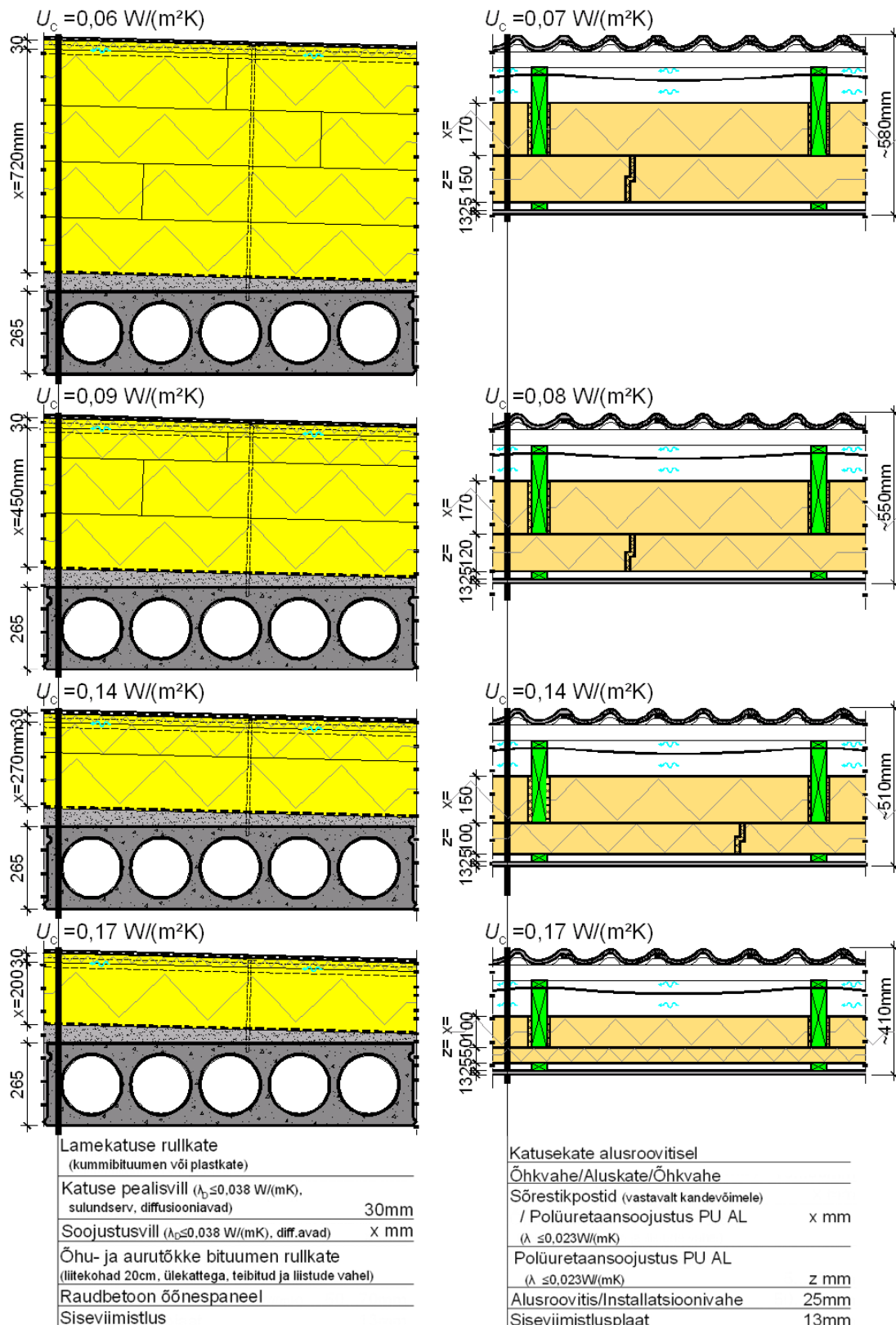
Katuslagi, pööningu vahelagi

Näitlikud lahendused on esitatud nii soojustatud katuslae kui ka pööningu vahelae kohta.



Joonis 3.16 Mineraalvillsoojustusega puittaladele toetatud pööningu vahelagi (vasakul) ja katuslagi (paremal).

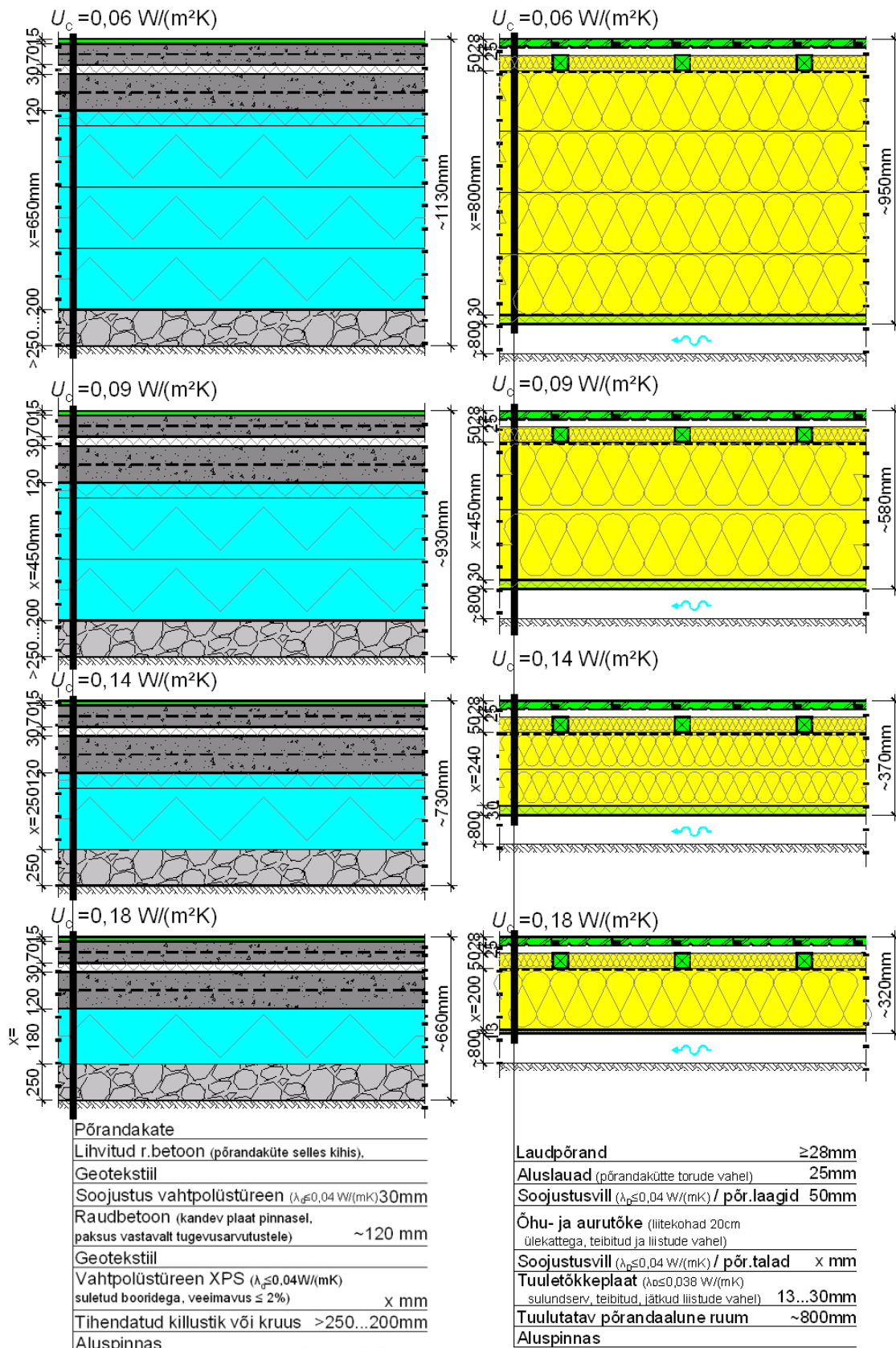
Puistevillaga soojustuse puhul tuleks pöörata tähelepanu asjaolule, et erinevalt kivi- ja klaasvillaga (kokkuvajumine maksimaalselt 10%) võrreldes, vajub tselluvill rohkem kokku (vähemalt 20%, teatud tingimustel isegi 30%). See tähendab, et neid materjale omavahel üksteisele paigalduskihi paksuses asendada ei tohi.



Joonis 3.17 Mineraalvill- või vahtpolüstüreensoojustusega raudbetoonpaneelile toetatud katuslagi (vasakul) ja vahtpolüuretaaniga soojustatud ja puittaladele toetatud katuslagi (paremal).

3.5.2 Põrandad

Levinuimad väikeelamute põrandalahendused on pinnasele toetatud põrand või alt tuulutatava põrandaga (niiskustehniliselt riskantsem) lahendus.



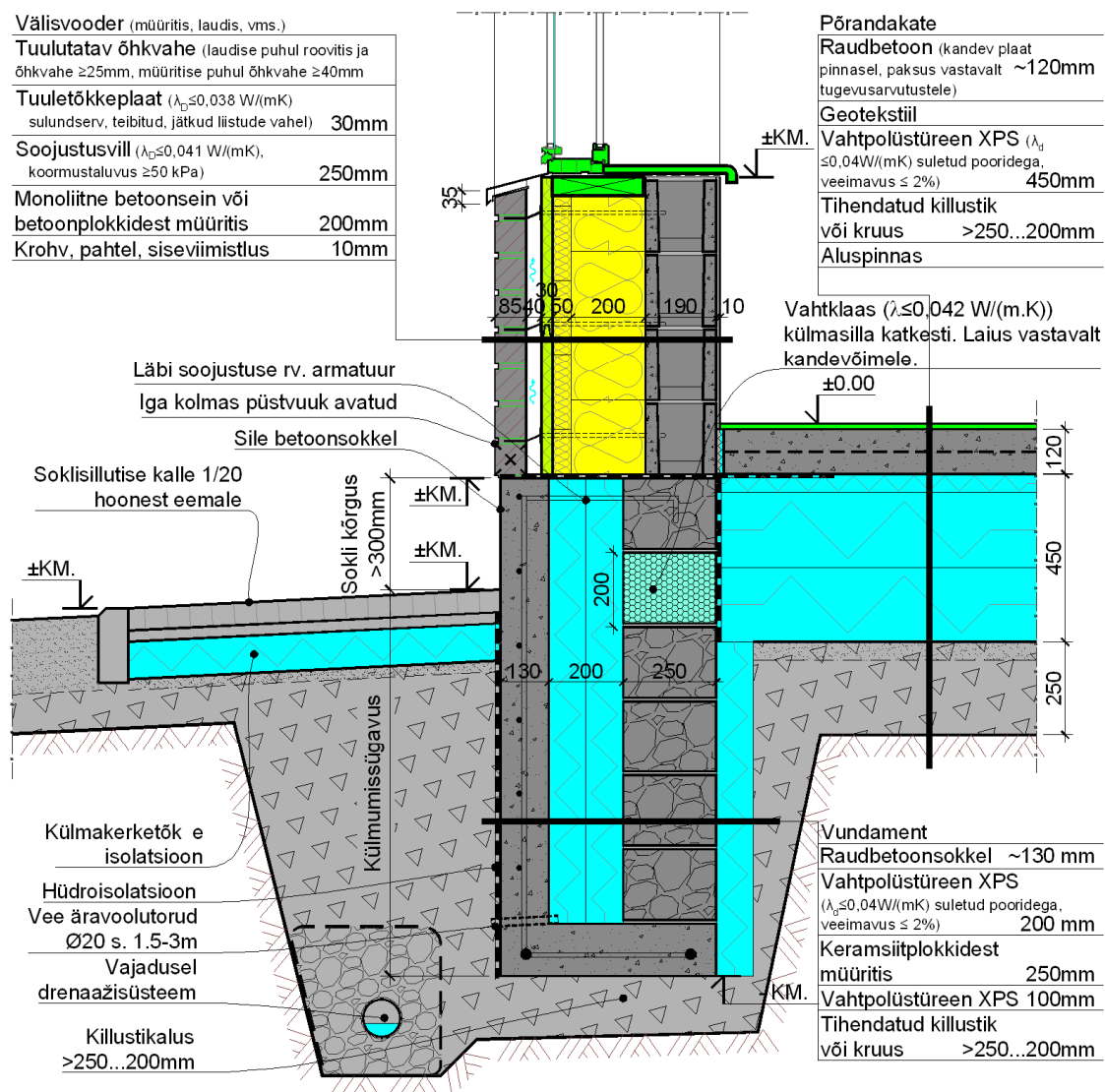
Joonis 3.18 Vahtpolüstüreeniga soojustatud pinnasele toetatud põrand (vasakul) ja puittaladele toetatud mineraalvillaga soojustatud põrand (paremal).

3.5.3 Piirdetarindite põhilised sõlmejoonised ja liitumised

Piirdetarindite valikule järgneb väga oluline projekteerimisetapp: erinevate tarindite liitekohtade detailide ja liitumiste projekteerimine. Tihti tekivad projekteerimis- ja ehitusvead just erinevate tarindite liitumiskohtadesse. Nende vigade vältimiseks tuleb sõlmed detailselt läbi mõelda ja välja joonestada. Siis on olemas projektlahendus, mille järgi ehitaja saab ehitada ning tellija tulemust hinnata.

Arhitekti ülesanne on ehitusprojekti määrata eelkõige nähtavad pinnad ja nende viimistlus. Piirdetarindite tehniline lahendus (tarindi sisekihid, mõõtmed ja tehnilised omadused) on aga peamiselt ehitusinseneri otsustada.

Joonis 3.19 on näide välisseina ja põranda liitumisest soklisõlmes. Lahendus on põhimõtteline ja seda täpsustatakse konkreetse lahenduse järgi ning lisatakse ka täiendavad mõõdud, kõrgusmärgid ja selgitused.



Joonis 3.19 Välisseina ja põranda liitumine soklisõlmes (ehitusprojekti ei ole sõlmede joonised toonitud või värvilised).

4 Tehnosüsteemid ja nende mõju hoone energiakasutusele ning energiatõhususele

4.1 Energiaallikad

Tänapäeva väikeelamute levinuimad soojusallikad:

- soojuspump,
- keskküttekatel,
- taastuvad energiaallikad.

4.1.1 Soojuspump

Soojuspumba abil on võimalik ümbritsevast keskkonnast ammutada madalamatemperatuurilist energiat ja saada sellest kõrgematemperatuurilist soojuskandjat. Piltlikult võetakse ümbritsevast keskkonnast külma vedelikku või õhku ja suunatakse see sinna veel külmemalt tagasi. Äravõetavat soojust saab kasutada hoone kütmiseks, sooja tarbevee valmistamiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks. Energiat võib ammutada maast, veekogust, välisõhust, ventilatsiooni heitõhust jm.

Näiteks võib temperatuuriga $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ välisõhust toota sooja vett temperatuuriga $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja kõrgemat. Soojuspumba näol ei ole tegemist igiliikuriga ja oma tööks vajab see elektrit. Soojuspumba töö efektiivsust iseloomustab soojustegur, mis näitab, kui palju saab ühest ühikust elektrist soojust. Näiteks kui soojuspumba soojustegur on 3, tähendab see, et 3 kWh soojuse saamiseks kulub 1 kWh elektrit ja 2 kWh energiat saadakse ammutatavast keskkonnast. Soojusteguri kohta kasutakse sageli ingliskeelseid lühendeid COP (*coefficient of performance*) ja SPF (*seasonal performance factor*).

Soojustegur sõltub põhiliselt ammutatava keskkonna ja saadava soojuskandja temperatuurist. Mida kõrgema temperatuuriga keskkonnast soojust ammutatakse ja mida madalama temperatuuriga soojuskandjat saadakse, seda suurem on soojustegur. Näiteks õhk-õhk-tüüpi soojuspumba soojustegur on seda parem, mida kõrgem on välisõhu temperatuur. Teisalt pole otstarbekas toota soojuspumbaga liiga kõrge temperatuuriga (üle $+45\text{...}+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) küttevett, kuna selleks kulub liiga palju elektrit.

Olenevalt ammutatavast keskkonnast võib soojuspumbad tinglikult jagada maasoojus- ja õhksoojuspumpadeks ning sõltuvalt hoone soojusvarustuseks kasutatavast soojuskandjast vesisoojus- ja õhksoojuspumpadeks. Sageli nimetatakse soojuspumba soojust ammutavat poolt primaarkontuuriks ja hoones soojust tarbivat poolt sekundaarpooleks. Tabelis (Tabel 4.1) on toodud levinuim soojuspumpade liigitus olenevalt primaar- ja sekundaarpooles kasutatavast soojuskandjast.

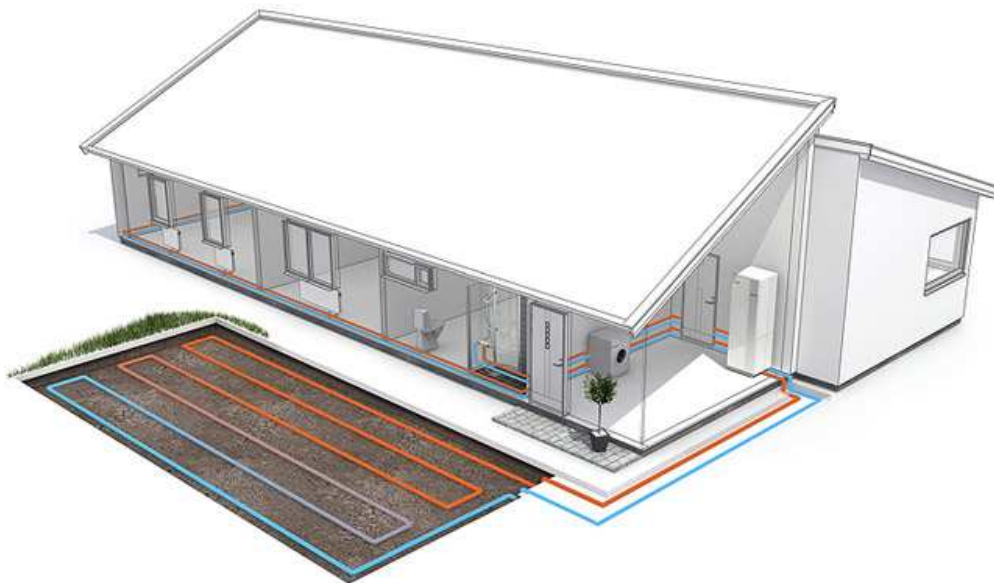
Tabel 4.1 Levinuim soojuspumpade liigitus.

Soojuspumba liik	Keskkond, millest soojust ammutatakse	Primaarpoole energiakandja	Sekundaarpoole energiakandja	Märkused
Vesi-vesi	Maapind	Vedelik	Vesi	Nimetatakse ka maasoojuspumbaks
Vesi-vesi	Veekogu	Vedelik	Vesi	Nimetatakse ka vesisoojuspumbaks
Vesi-vesi	Veekogu	Veekogu vesi	Vesi	
Vesi-vesi	Põhjavesi	Põhjavesi	Vesi	
Õhk-õhk	Ventilatsiooni heitõhk	Õhk	Vedelik	Nimetatakse ka heitõhu soojuspumbaks
Õhk-vesi	Välisõhk	Õhk	Vedelik	
Õhk-õhk	Välisõhk	Õhk	Õhk	

Näiteks kui väliskeskkonnaks, millest soojust saadakse, on välisõhk ja soojuspump toodab põrandaküttesüsteemi tarbeks soojuskandjat, vett, on tegemist õhk-vesi-tüüpi soojuspumbaga.

Maasoojuspumbad

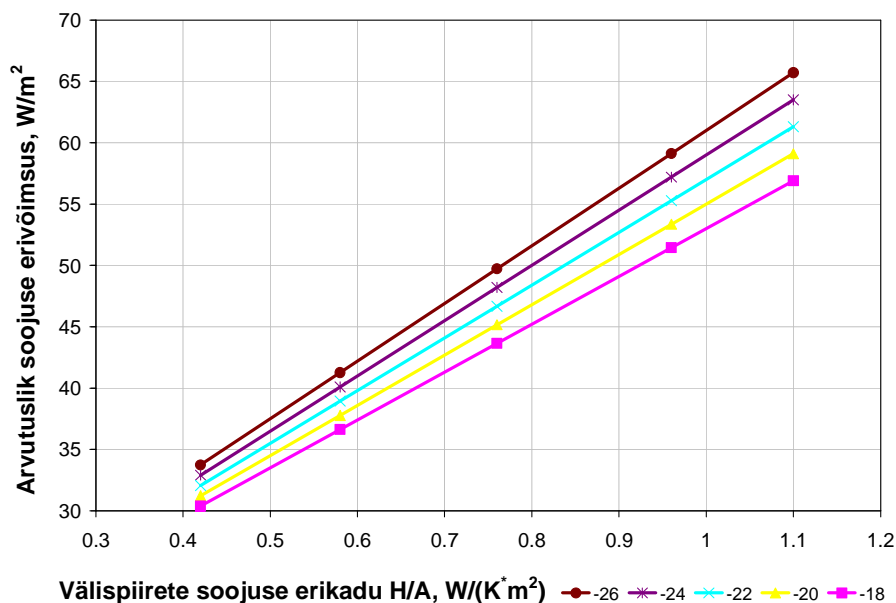
Maasoojuspumbad ammutavad soojust maast. Selleks on maasse üldjuhul paigaldatud spetsiaalne soojusvahetussüsteem (nn. kollektorid), milles voolab külmumatu vedelik. Torudes olev vedelik on maapinna temperatuurist madalama temperatuuriga ja seetõttu siirdub maas olev soojus soojusülekanne teel üle vedelikule. Eestis on valdavalt levinud horisontaalse paiknemisega kollektorid (vt. Joonis 4.1). Üldjuhul valmistatakse kollektorid plasttorudest läbimõõduga 40 mm ja paigaldatakse ca 1 m sügavusele. Torustike vahekaugus on 1...1,2 m. Maapinnast saadav soojushulk ja võimsus sõltub maapinna soojustehnilistest parameetritest. Ligikaudu võiks arvestada, et 1 kW installeeritud soojusvõimsuse tarbeks on vaja horisontaalse kollektori jaoks ca 60...90 m² maapinda.



Joonis 4.1 Horisontaalse paigaldusega maasoojuspump (www.nibe.ee).

Näiteks 5 kW võimsuse korral peab horisontaalse kollektori paigaldamiseks olema krundil vähemalt 300...450 m² vaba pinda. Kollektorit ei ole soovitatav paigaldada sademevett mitteläbilaskvate pindade (näiteks asfaltkattega pind) alla.

Järgneva graafiku (Joonis 4.2) abil saab ligikaudselt määrata väikeelamu erisoojusvõimsuse köetava pinna m² kohta. Erivõimsus sisaldab kütet, ventilatsiooni ja mahtsoojusvaheti lahendusega sooja tarbevett.



Joonis 4.2 Soojusvõimsuse sõltuvus välispiirete soojuserikaost ja kütte arvutuslikust temperatuurist.

Eesti erinevate piirkondade välisõhu arvutuslikud temperatuurid (VAT) küttesüsteemide võimsuse projekteerimiseks on järgnevas tabelis (Tabel 4.2).

Tabel 4.2 Välisõhu arvutuslikud temperatuurid küttesüsteemi võimsuse projekteerimiseks.

Asukoht	VAT, °C	Asukoht	VAT, °C
Tallinn	-21	Jõgeva	-25
Tartu	-25	Jõhvi	-24
Narva	-24	Türi	-24
Pärnu	-22	Kuressaare	-19
Rakvere	-24	Haapsalu	-20
Viljandi	-24	Rapla	-23
Võru	-25	Kärdla	-19
Valga	-24		

Näiteks kui väikeelamu köetav pind on 200 m², välispiirete soojuserikadu on 0,6 W/(m²·K) ja hoone paikneb Tallinnas, on ligikaudne soojusvõimsus ruumide kütteks on: 200 × 39=7 800 W = 7,8 kW.

Teoreetiliselt on võimalik soojust ammutada maapinnast ka vertikaalsete lahendustega, nagu nn. energiakaevudest (100...200 m sügavustes puuraukudes paikneb soojusvahetustorustik) ja põhjaveest, kuid Eesti tingimustes on see joogivee horisondi kõrge taseme tõttu sageli võimatu.

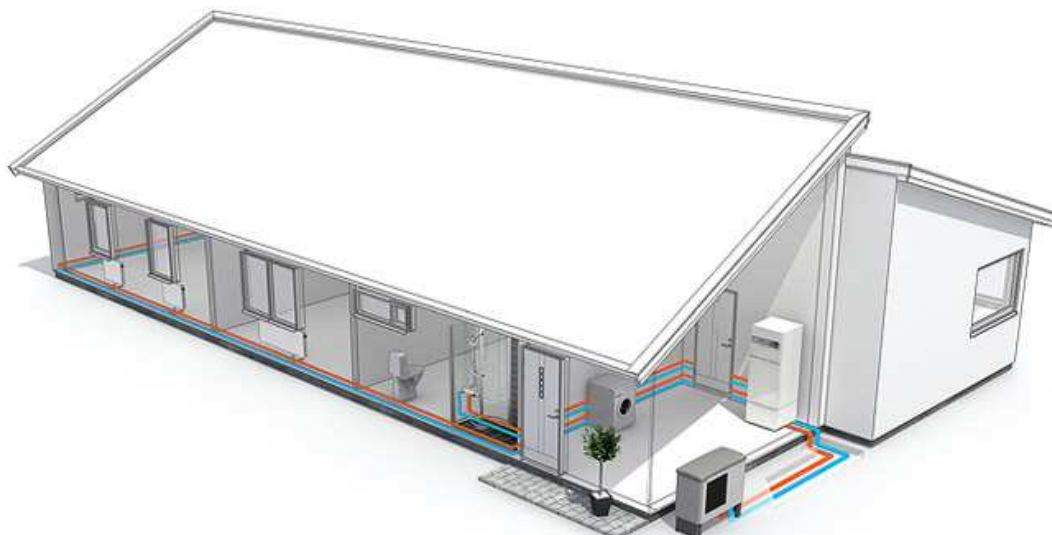
Horisontaalseid kollektoreid on võimalik paigaldada põhjani mittekülmuvatesse veekogudesse (näiteks järve). Sel juhul tuleb arvestada keskkonnakaitsetingimustega ja vältida kollektori vigastamise ohtusid (laevaankrud, sõukruvi poolt tekitatavad keerised jms). Merevee kasutamine väikeelamu soojuspumpade tarbeks on meie oludes üldjuhul ebareaalne.

Põrandakütte korral on maasoojuspumba aasta keskmine soojustegur suurusjärgus 3,5 ja sooja tarbevee valmistamiseks 2,7.

Õhksoojuspumbad

Õhksoojuspumbad ammutavad soojust õhust, kas välisõhust või ventilatsiooni heitõhust. Madalenergia- ja liginullenergiaväikeelamus on vaja väga tõhusat ventilatsiooni soojustagastust, mistõttu ventilatsiooni heitõhu temperatuur on suhteliselt madal ning heitõhust soojuse ammutamine soojuspumba tarbeks on üldjuhul ebaotstarbekas.

Välisõhu õhksoojuspumbad on kahte tüüpi (vt. Joonis 4.3). Esimese tüüpi korral peab välisõhus paiknema ventilaatoriga varustatud soojusvaheti, mis ammutab välisõhust soojuspumba tarbeks soojust. Välisseadme asukoha valikul peab arvestama seadme poolt tekitatava võimaliku müra ja vibratsiooniga, seade peab olema hoolduseks hõlpsasti juurdepääsetav ning asukoha valikul peab samuti arvestama talvel katuselt variseva lume ning jääpurikatega, et need seadet ei vigastaks.



Joonis 4.3 Välisõhu õhk-vesi-tüüpi soojuspump (www.nibe.ee).

Teise tüübi korral kasutatakse nn. passiivseid väliseid soojusvaheteid, kus puudub ventilaator. Nende mõõtmed on oluliselt suuremad. Probleemiks võib osutuda välise soojusvaheti liigne jäätumine ja sellest tingitud ebatõhus soojuspumba töö.

Kuna õhksoojuspumbaväline soojusvaheti ei vaja paigalduseks palju ruumi, saab neid kasutada olukordades, kus krundil pole piisavalt pinda maakollektorite paigaldamiseks.

Õhksoojuspumbad võivad olla nii õhk-õhk- kui õhk-vesi-tüüpi. Madala- ja liginullenergia-väikeelamutes eelistatakse õhk-vesi-tüüpi soojuspumpasid, mis valmistavad soojuskandjat, vett, mida saab kasutada sooja tarbevee valmistamiseks, kütteks ja ventilatsiooniohu järelsoojendamiseks.

Õhk-õhk-tüüpi soojuspumba korral on ruumis soojusvahetiga puhurid, mis puhuvad ruumi sooja õhku. Tänapäevaseid õhk-õhk-tüüpi soojuspumpasid saab kasutada suvel ruumide jahutamiseks.

Õhksoojuspumbast saadav küttevõimsus sõltub välisõhu temperatuurist, mida külmem on välisõhu temperatuur, seda väiksem on küttevõimsus ja soojustegur. Näiteks kui õhk-vesi-tüüpi soojuspump toodab soojust põrandaküttele, on keskmine soojustegur välisõhu temperatuuri $+2\text{ °C}$ juures suurusjärgus 2,7 ja temperatuuri -7 °C juures 2,1, sooja tarbevee tootmiseks suurusjärgus 2,3. Kui puuduvad täpsemad andmed soojuspumba soojustegurite kohta, võib kasutada määruse nr. 258 lisas 13 toodud andmeid.

Tuleb arvestada, et väga madalate välisõhutemperatuuride korral ei pruugi õhksoojuspump korrektselt töötada ja seadme tootjad ei anna selliste temperatuuride korral garantiid. Olenevalt tootjast võib madalaim välisõhutemperatuur olla $-15\text{...}-25\text{ °C}$. Seetõttu on vaja õhksoojuspumba korral 100%st muu kütteviisi (näiteks elekterküte) olemasolu. Majanduslikult ei ole otstarbekas õhksoojuspumba valikul lähtuda arvutuslikust küttevõimsusest (Joonis 4.2), vaid sellest väiksemast. Tavaliselt peaks õhksoojuspump tagama vajaliku soojusvõimsuse kuni välisõhu temperatuurini $-5\text{...}-15\text{ °C}$. Sellest temperatuurivahemikust külmemate ilmade korral on alati vajalik lisaküte. Kui õhksoojuspump ei tööta välisõhu arvutusliku temperatuuri juures (vt. Tabel 4.2), siis peab õhksoojuspumbale dubleeriv küttesüsteem olema dimensioonitud toimimiseks ja hoone küttevajaduse 100% katmiseks arvutuslikul välisõhutemperatuuril. Õhk-vesi-soojuspumpadel on tavaliselt juba pumbasüsteemis süsteemi võimsust dubleeriv elekterküte element, mis katab hoone soojusvajaduse ka olukorras, kus soojuspump ei tööta.

4.1.2 Keskküttekatalad

Üheks väikeelamu soojuse tootmisviisiks on keskküttekatel. Keskküttekatel peaks paiknema spetsiaalses katlaruumis (väikeste katelde puhul pole vajalik). Suitsugaaside eemaldamiseks katla põlemiskoldest peab olema ehitatud korsten. Levinuimad väikeelamukütusedväikeelamu on halupuit, puidupelletid, gaas ja kergkütteõli. Katla koldetüüp ja kasutegur sõltuvad kütusest. Halupuidu, pelletite ja kergkütteõli korral on vaja lisaruumi/pinda kütuste hoiustamiseks.

Halupuitu ja pelletteid loetakse taastuvateks kütusteks ning nende puhul rakendatakse energiatõhususarvu määramisel kaalumistegurit 0,75 (vt. peatükk 7), fossiilsetel kütustel (gaas, kergkütteõli) kaalumistegurit 1.

Katla töö tõhusust iseloomustab kasutegur. Kogu kütuses sisalduvat soojust ei saa ära kasutada kasuliku soojuse tootmiseks – osa soojusest läheb paratamatult kadude (soojuskaod läbi katla pindade, suitsugaasides sisalduv soojus jms) näol raisku. Katla kasutegur näitab, kui palju kütuses sisalduvast energiast muundatakse katlas kasulikuks soojuseks. Näiteks kui katla kasutegur on 0,85, siis põletatud kütuses sisalduvast energiast saadakse 85% soojust ja 15% läheb kadudeks. Mida suurem on katla kasutegur, seda tõhusam on katel. Tänapäevakatelde aasta keskmine kasutegur võib olla üle 0,9.

Üldjuhul sõltub katla kasutegur katla koormatusest. Kui tegelik tarbitav soojusvõimsus on oluliselt väiksem katla nimivõimsusest, siis katla kasutegur langeb. Seda on vaja eriti arvestada madalenergiahoonete korral. Madalenergiahoone arvutuslik soojusvõimsus on tavaliste hoonete omast oluliselt madalam ja sellele võimsusele vastava katla leidmisega võib tekkida raskusi.

Arvutuslikust soojusvõimsusest oluliselt suurema katla paigaldamisel võib tegelik keskmine kasutegur osutuda seadme passis toodust väiksemaks.

Et saavutada väiksemat energiatõhususarvu, tuleks eelistada taastuvaid kütuseid kasutavaid katlaid ja kondensaatkatlaid.

Kui puuduvad katla kasuteguri täpsemad andmed, siis võib lähtuda määruse nr. 258 lisas 11 toodud suurustest.

Tabel 4.3 Keskküttekatelde tüüpilised kasutegurid (VV. määrus nr. 258).

Soojusallikas	Kasutegur	
	Ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu soojendamine	Tarbevee soojendamine
Õli- või gaasikatel	0,85	0,85
Õli, kondensaatkatel	0,91	0,88
Gaas, kondensaatkatel	0,95	0,92
Puidupelletikatel	0,85	0,85
Muu tahkekütuse katel	0,75	0,75
Elektriküttega katel	1,0	1,0
Ahjud	0,6	0,6

4.1.3 Elekterküte

Soojuse saamiseks on võimalik kasutada otseelekterkütet või elektrikatlaid.

Otseelekterkütte korral köetakse hoonet vahetult ruumides paiknevate elekterküttekehadega (nn. elektriradiaatorid või -konvektorid). Teiseks võimaluseks on valmistada elektrikatlaga soojuskandjat (vett) ja kütta hoonet vesiküttesüsteemiga. Otseküttesüsteemi investering on oluliselt odavam elektrikatla lahendusest.

Kuna elektri kaalumistegur on 1,5 ja pole välistatud, et see võib tulevikus suureneada, siis elekterküttega ei ole võimalik saavutada Madalenergiahoone nõuetele vastavat energiatõhususust.

Elekterkütte eriliigiks saab lugeda soojuspumpa – oma tööks vajab soojuspump elektrit. Võrreldes eelnevalt kirjeldatud elekterkütte lahendustega tarbib aga soojuspump kordades vähem elektrit.

4.1.4 Päike

Päikese näol on tegemist kiirgusliku soojusallikaga, mille energiat saab väikeelamus kasutada kolmel põhimõttel:

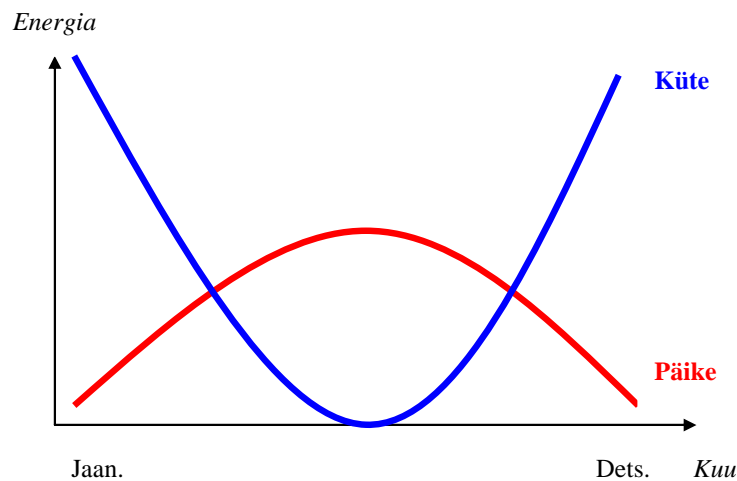
- läbi akende ruumi tulev päikeseenergia (vabasoojus) kütab kütteperioodil ruume;
- päikesekollektorid, mis toodavad soojust;
- päikesepaneelid, mis toodavad elektrit ehk nn. PV-paneelid.

Akende kaudu ruumi paistva päikese mõju hoone kütetarbele on käsitletud peatükis 5.

Päikesekollektorid

Soojust tootvad päikesekollektorid jagunevad lame- ja vaakumkollektoriteks. Väikeelamute soojusvarustuseks võib kasutada mõlemat tüüpi.

Võrreldes tavahooneega on madalenergiaelamutes kütteperiood oluliselt lühem, st. kütteperiood algab hiljem ja lõpeb varem. Väikeelamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirgus on aasta arvestuses vastasfaasis. Talvel on soojusvajadus suur, aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi (vt. Joonis 4.4).



Joonis 4.4 Päikeselt saadav energia ja väikeelamu küttevõimsus on aasta arvestuses vastasfaasis.

Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid väikeelamu põhilise kütteallikana. Päikesekollektorid sobivad igati väikeelamu sooja tarbevee valmistamiseks. Aastasest tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud süsteemiga (päikesepaneelid ja sooja vee salvestuspaak) katta ligikaudu 50...70%.

Päikesekollektorist saadav soojus ei ole pidevalt ühtlane, vaid ajas muutuv suurus ja sõltub põhiliselt atmosfääri pilvisusest, aastaajast ning kellaajast, kuid ei ole sõltuvuses hoone soojuse kasutusest. Sooja vett võib minna vaja ka näiteks pimedal ajal. Seetõttu on päikesekollektorite süsteemis vaja sooja vee salvestuspaaki, mis salvestab saadavat energiat. Süsteemi töhustamiseks kasutatakse tänapäeval nn. kihtide kaupa laaditavaid salvestuspaake. Kollektorite ja salvestuspaagi vahel tsirkuleeriv vedelik peab olema külmumiskindel.

Päikesekollektorid paigaldatakse üldjuhul hoone katusele. Asukoha valikul tuleks arvestada järgmiste asjaoludega:

- kollektorite pinnale ei tohi ka talvekuudel tekkida naaberhoonetest, puudest, väikeelamu konstruktsioonidest jms. varjusid;
- selleks et tagada meie oludes kollektorite efektiivsus, tuleb need suunata lõunasse (soovitav kõrvalekalle mitte üle $\pm 15^\circ$) ja maapinna suhtes nurgaga 40...45°.

Kui neid tingimusi eiratakse, väheneb päikesekollektori tõhusus ja päikeselt saadav soojushulk.

Päikesekollektorite kavandamisel väikeelamu sooja tarbevee saamiseks võib esialgses lähenduses lähtuda järgmistest ligikaudsetest näitajatest:

- ühe elaniku kohta on vaja 1,5...2 m² päikesekollektori pinda;
- ühe elaniku kohta on vaja ca 80...100 l akumulatsioonipaagi mahtu.

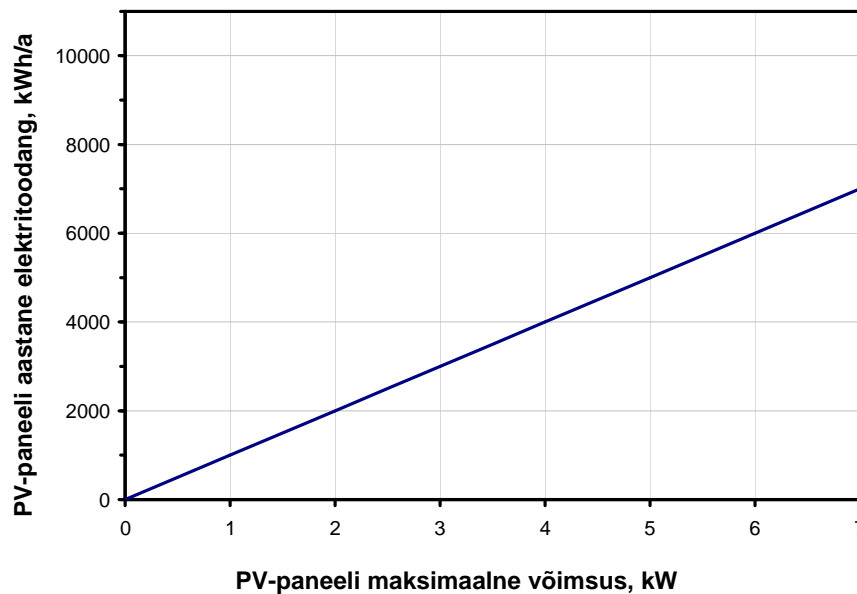
Näiteks 4 inimese väikeelamu soojavee tarbeks oleks vaja õigesti paigaldatud kollektorit ligikaudu 6...8 m² ja akumulatsioonipaagi maht peaks olema $\approx 320..400$ l.

Päikesekollektorite kavandamisel tuleb vältida olukorda, kus soojavee kasutuse puudumisel (näiteks elanikud ei viibi kodus) hakkab suvel vedelik kollektorites keema. Väikeelamutes, kus soojusallikateks on nii maasoojuspump kui ka päikesekollektorid, on otstarbekas päikesekollektorite toodetud suvine liigsoojus juhtida soojuspumba maakollektoritesse. Sellega soojendatakse täiendavalt maapinda, mis omakorda suurendab soojuspumba soojustegurit.

Päikesepaneelid

Elektrit saab toota eri päikesepaneelidega, mida sageli nimetatakse PV-paneelideks (lühend PV ingliskeelsest terminist *photovoltaic*). PV-paneelide kasutegur, mis näitab, mitu protsenti paneeli pinnale langenud päikesekiirgusest muundatakse elektriks, on suurusjärgus 11...17%. Ühest ruutmeetrist paneeli pinnast on ideaaltingimustel (selge ilm ja päikesekiired on risti paneeli pinnaga) võimalik saada elektrit suurusjärgus kuni 150 W. Õige orientatsiooniga paigaldatud

paneeli üheruutmeetrisest pinnast saab Eesti oludes elektrit suurusjärgus 100...150 kWh elektriaastas. Ligikaudsetes arvutustes võib lähtuda järgnevast graafikust (vt. Joonis 4.5).

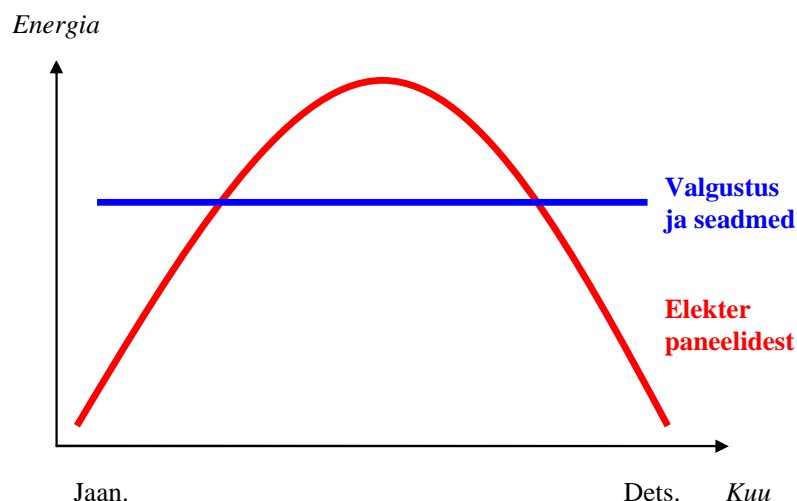


Joonis 4.5 PV-paneelide ligikaudne aastane elektritoodang paneelide maksimaalse võimsuse järgi.

Paneelide asukoha valikul ja paigaldamisel tuleb lähtuda samadest põhimõtetest nagu päikesekollektorite puhul, kusjuures soovituslik paigaldusnurk maapinna suhtes on 40°.

Näiteks kui hoone katusele paigalda 35 m² PV-paneele, on toodetav maksimaalne elektrivõimsus suurusjärgus 4 kW ja aastas saadav elektri ca 4 MWh. Võrdlushoone elektriseadmete (ei sisalda kütte ja ventilatsiooni elektrit) ja valgustuse aastane elektrikasutuse on 4,3 MWh. PV-paneelidega on võimalik summaarse aasta bilansi mõttes katta enamus elektriseadmete ja valgustuse aastasest elektrikasutusest.

Tuleb arvestada, et PV-paneelid toodavad suvel oluliselt rohkem elektrit kui talvel, mistõttu talvel ei piisa paneelide toodetud energiast ja suvel toodetakse elektrit oluliselt rohkem kui tarbitakse (vt. Joonis 4.6).

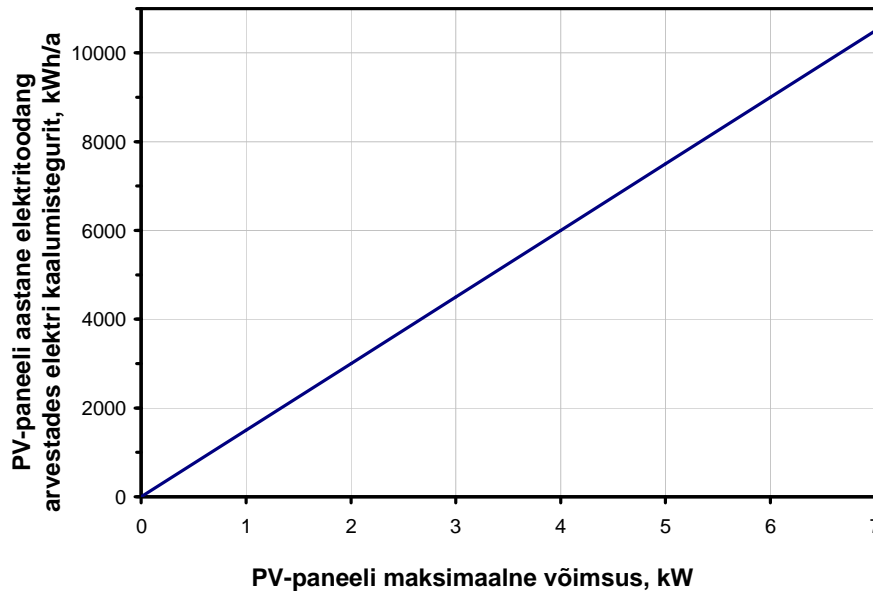


Joonis 4.6 Väikeelamu elektrikasutus standardtingimustel on kuude arvestuses praktiliselt muutumatu, paneelid toodavad suvel väikeelamu kasutusest rohkem, talvel vähem.

Ühtlustamiseks paneelide poolt toodetud elektrit ja väikeelamu tegelikku elektri kasutust, on vaja toodetud elektrit salvestada akudesse või muuta vahelduvvooluks ja müüa seda elektrivõrku. Enne PV-paneelide kavandamist tuleb küsida elektrivõrgu ettevõttelt liitumise tehnilisi tingimusi,

kust selguvad elektri võrku tagasiandmise ning müümise võimalused ja tehnilised lahendused. Mõningatel juhtudel võib võrku andmine osutada võimatuks.

Juhul kui PV-paneelidega toodetud elektrit saab tarnida elektrivõrku, tuleb hoone energiatõhususarvu leidmisel võrku antud energia läbi korrutada elektri kaalumisteguriga (1,5) ja energiatõhususarv väheneb selle korrutise võrra. Energiatõhususarvu esialgsel määramisel saab lähtuda järgnevast graafikust (vt. Joonis 4.7).



Joonis 4.7 PV-paneeli aastane elektritoodang, arvestades elektri kaalumistegurit 1,5.

PV-paneelide tehnoloogiad täiustuvad ja tootmismahud suurenevad pidevalt, mistõttu võib prognoosida paneelide maksumuse olulist alanemist ja majandusliku otstarbekuse parnemist. See loob head eeldused, et mõne aja pärast on nende paigaldamine majanduslikult tasuv.

Ilma PV-paneelideta ei ole võimalik tagada väikeelamu vastavust liginullenergiahoone nõuetele.

4.1.5 Tuul

Tuulegeneraatorite võimsus ja tootlikkus sõltub peamiselt kolmest parameetrist:

- tuule kiirus;
- tiiviku mõõtmed;
- tuulegeneraatori kasutegur.

Tuulegeneraatorid võivad olla horisontaal- ja vertikaalteljelise tiivikuga. Levinuimad on vertikaalpaigaldusega tiivikud.

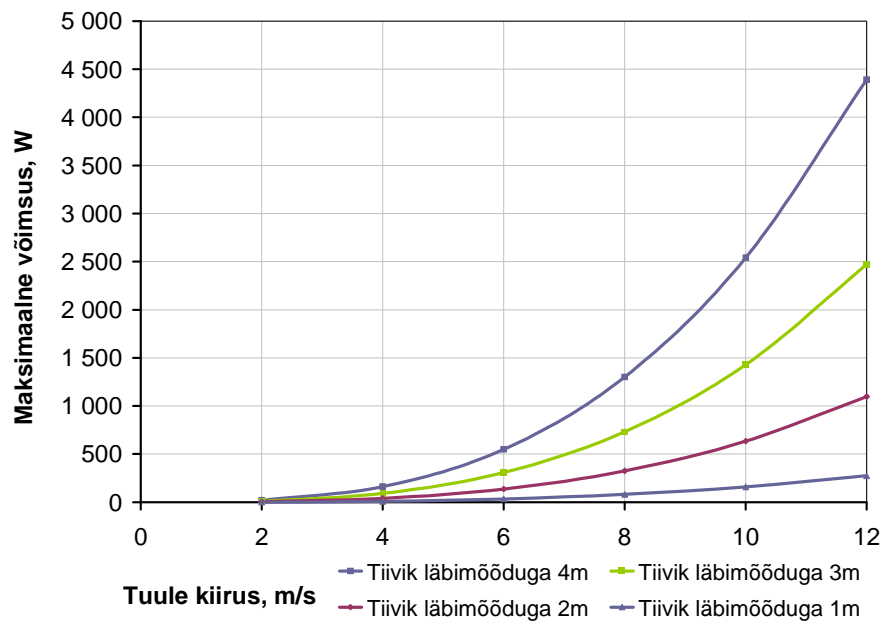
Tuulegeneraatorite võimsus ja tootlikkus on kuupsõltuvuses tuule kiirusest. Näiteks kui tuule kiirus kasvab kaks korda, siis genereeritav elektrivõimsus ja -energia suurenevad kaheksa korda. Väikeste tuulegeneraatorite kasutegurid jäävad suurusjärku 20...40 %.

Järgnevatel graafikutel (vt. Joonis 4.8, Joonis 4.9) on esitatud tuulegeneraatorite toodetav elektrivõimsus ja aastane elektritoodang olenevalt tuule kiirusest ja tiiviku läbimõõdust juhul, kui generaatori kasutegur on 33%. Graafikuid võib kasutada ka teiste kasutegurite korral, korrutades graafikutel esitatud väärtused järgneva parandusteguriga:

$$k_{par}^{tg} = \frac{\eta_{teg}^{tg}}{33} \tag{4.1}$$

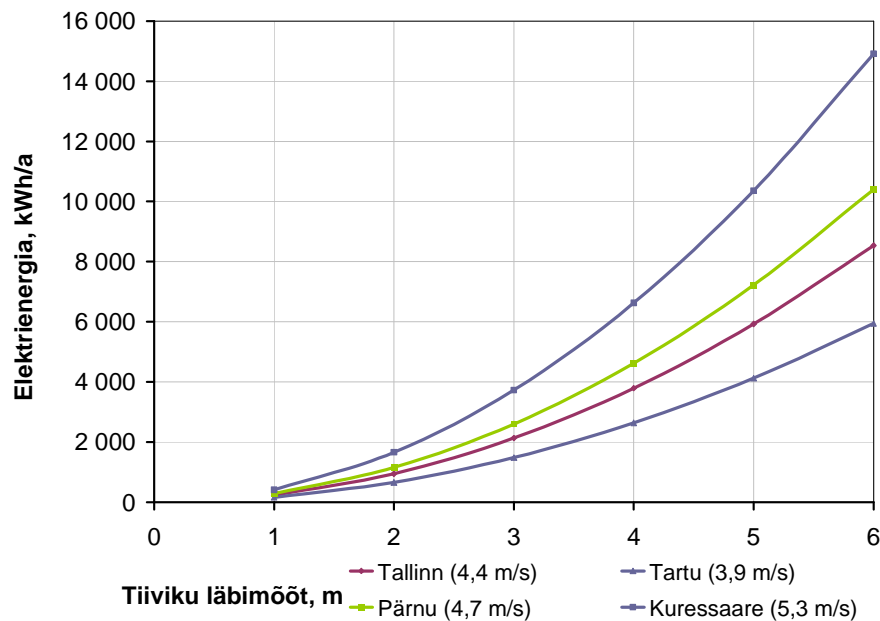
k_{par}^{tg} parandustegur, millega on vaja läbi korrutada tuulegeneraatori võimsus ja aastane toodetud energia, kui tegelik kasutegur erineb 33%;

η_{teg}^{tg} tuulegeneraatori tegelik kasutegur %.



Joonis 4.8 Tuulegeneraatori genereeritav maksimaalne elektrivõimsus, olenevalt tuule kiirusest ja tiiviku läbimõõdust eeldusel, et generaatori kasutegur on 33%.

Nagu näha, on väikese läbimõõduga tiivikute genereeritav elektrivõimsus suhteliselt kesine. Näiteks 4 m läbimõõduga tiivikuga generaator on võimeline tootma tuulekiiruse 10 m/s juures ligikaudu 2,5 kW ja 1 m läbimõõduga tiivikuga ainult 0,16 kW. Aasta keskmine tuulekiirus ei ole 10 m/s, vaid ligi poole väiksem.



Joonis 4.9 Tuulegeneraatori genereeritav aastane elektri olenevalt piirkonnast (sulgudes aasta keskmine tuulekiirus mõõdetuna EHMI vaatluspunktis) ja tiiviku läbimõõdust eeldusel, et kasutegur on 33%.

1 m läbimõõduga tiivik toodaks sõltuvalt piirkonnast aastas 160...400 kWh/a elektrit.

Aasta keskmisel tuulekiirusel on väga suur mõju saadavale elektrile. Näiteks võrreldes Tallinnaga saab sama tuulegeneraatori korral Tartus aastas keskmiselt 30% vähem elektrit, seevastu Pärnus ja Kuressaares vastavalt 22 ning 75% rohkem. Tartu ja Kuressaare erinevus on 2,5 korda. Selleks et eeldatud tingimuste korral katta võrdlushoone aastast valgustuse ja seadmete elektrikasutust (4,3 MWh), tuleks näiteks Tartus paigaldada väikeelamule ca 5 m tiiviku läbimõõduga generaator, Kuressaares piisaks aga läbimõõdust ca 3,2 m.

Tuleb rõhutada, et eespool kasutatud tuule andmed on saadud EHMI ilmavaatlusjaamadest ja konkreetse väikeelamu piirkonnas võib tuulekiirus oluliselt erineda ilmavaatlusjaama näitajast ning kahjuks just sageli tuulekiiruse vähenemise suunas. Puud, naaberhooned jms võivad tekitada tuulekeeriseid, mis vähendavad elektri tootmist.

Tuulegeneraator peab paiknema tuulele avatud kohas, kus oleks tagatud aasta arvestuses võimalikult suur tuulekiirus. Tuulegeneraatorid tekitavad inimest häirivat müra. Tiheasustusega piirkondades võib osutada suhteliselt keeruliseks väikeelamu tarbeks tuulegeneraatorile sobiliku asukoha leidmine.

4.2 Ventilatsioon

4.2.1 Õhuvooluhulgad

Ruumiõhu puhtuse tagamiseks ja niiskusprobleemide tekke vältimiseks peab hoones toimuma õhuvahetus. Selleks et vajalik õhuvahetus toimuks sõltumata välisõhu tingimustest ja liigselt soojust raiskamata, on hädavajalik heitõhu soojustagastusega mehaaniline ventilatsioon. Et saavutada rahuldavat sisekliimat, peab ventilatsioonisüsteemid projekteerima eluhoonetele ette nähtud ventilatsiooninõuete järgi. Uute väikeelamute projekteerimisel tuleb kasutada Tabel 4.4 toodud lähteandmetest (õhuvahetuskordsus, õhuvahetus ruumide pindala kohta ja õhuvahetus inimese kohta) suurima õhuvahetuse tagavat lähtesuurst.

Tabel 4.4 Elamute energiaarvutuse ventilatsiooni õhuvooluhulgad.

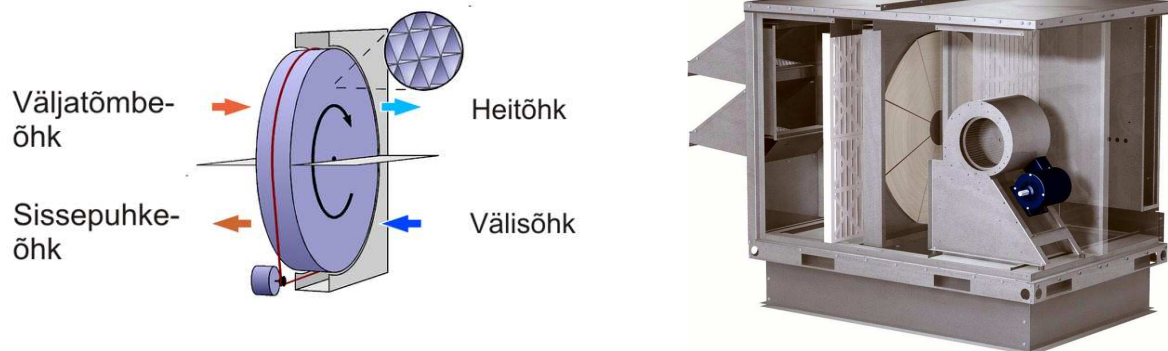
Üldõhuvahetus, l/s	Elu- ja magamistoad, l/(s·m ²)	Köögi väljatõmme, l/s	Pesuruumi väljatõmme, l/s	WC väljatõmme, l/s
0,42	1,0	20	15	10

Ventilatsioonisüsteem tuleb projekteerida vajaliku õhuvooluhulga järgi:

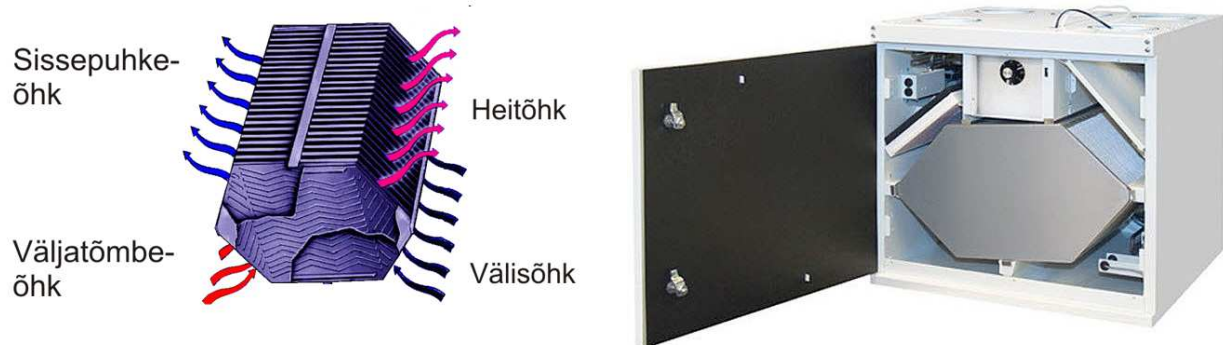
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk ventileeritavate ruumide suletud netopinna järgi (0,42 l/(s·m²));
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk elamispinna (elu- ja magamistubade põrandapinna) järgi 1 l/(s·m²), millele lisatakse mitteeluruumide õhuvooluhulk üldõhuvahetuse järgi arvatuna;
- valitakse kahest eelnevast suurem õhuvooluhulk summaarseks õhuvooluhulgaks, kusjuures summaarsest õhuvooluhulgast arvatud õhuvahetuskordus on maksimaalselt üks õhuvahetus tunnis;
- valitakse ja jaotatakse väljatõmbed nii, et nende summa võrdub summaarse õhuvooluhulgaga. Väljatõmme lahendatakse sanitaarruumide ja köögi väljatõmbekanalite abil.

4.2.2 Soojustagastus ja soojustarve

Madalenergia- ja liginullenergiahoonetes on kohustuslik ära kasutada ventilatsiooniga väljavisatavas õhus sisalduvat energiat. Külmal perioodil saab sissepuhkeõhku eelsoojendada ruumidest väljatõmmatava õhuga. Kuumal perioodil, kui väljatõmbeõhu temperatuur on madalam välisõhu temperatuurist, saab kasutada väljatõmbeõhku sissepuhkeõhu jahutamiseks. Selliseid energiat vahendavaid süsteeme nimetatakse soojustagastiteks. Soojustagasti on üheks sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooniseadme komponendiks. Väikeelamutes kasutatakse põhiliselt rootor- ja plaatsoojustagasteid (vt. Joonis 4.10 ja Joonis 4.11).



Joonis 4.10 Rotorsoojustagasti (vasakul) ja näide seadmest (paremal).



Joonis 4.11 Plaatsoojustagasti: töötamise põhimõte (vasakul) ja seadme näide (paremal).

Rotorsoojustagasti on spetsiaalne ventilatsiooniõhku läbilaskev silinder (rootor), mis on heade soojust salvestavate ja loovutavate omadustega. Rotor pöörleb ventilatsiooniseadmes sissepuhke ja väljatõmbe õhuvoolude keskkonnas. Kõrgematemperatuurilist väljatõmbeõhu keskkonda läbides soojeneb rootori soojustagastusmaterjal, jõudes madalamatemperatuurilisse välisõhu voolu keskkonda, hakkab rootori soojustagastusmaterjal jahtuma, andes samal ajal soojust üle sissepuhkeõhule.

Plaatsoojustagastis on sissepuhke- ja väljatõmbeõhuvoolud eraldatud vaheldumisi plaatidega nii, et ühes plaatide vahes on sissepuhkeõhk, järgmises väljatõmbeõhk, sellele järgnevas sissepuhkeõhk jne. Soojus kantakse külmal perioodil väljatõmbeõhult sissepuhkeõhule läbi plaatide. Sõltuvalt õhuvooluhulkade liikumise suunast eristatakse soojustagastis risti- ja vastuvoolseid tagasteid. Vastuvoolseid soojustagastid on tõhusamad.

Lisaks soojusele võivad soojustagastid siirata ka õhus leiduvat veeauru ehk niiskust. Selliseid seadmeid nimetatakse niiskustagastusega soojustagastiteks.

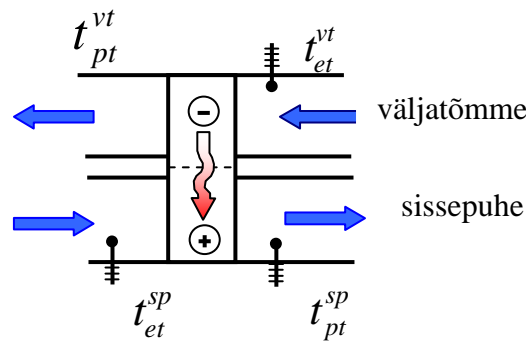
Ventilatsiooni soojustagastuse tõhusust iseloomustab kaks näitajat:

- temperatuuri suhtarv,
- aastane kasutegur.

Soojustagasti temperatuuri suhtarv võrdub jagatisega, mille lugejas on sissepuhkeõhu temperatuuri tõus soojustagastis ja nimetajas temperatuuride vahe väljatõmbeõhus enne tagastit ning sissepuhkeõhus enne tagastit.

$$\eta_t^{st} = \frac{t_{pt}^{sp} - t_{et}^{sp}}{t_{et}^{vt} - t_{et}^{sp}} \quad 4.2$$

- η_t^{st} soojustagasti temperatuuri suhtarv, -
- t_{pt}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur pärast tagastit, °C
- t_{et}^{sp} sissepuhkeõhu temperatuur enne tagastit, °C
- t_{et}^{vt} väljatõmbeõhu temperatuur enne tagastit, °C



Joonis 4.12 Soojustagasti temperatuure iseloomustav skeem

Soojustagasti aastane kasutegur avaldub järgmise valemiga:

$$\eta_a = 1 - \frac{Q_{tagastiga}}{Q_{tagastita}} \quad 4.3$$

$Q_{tagastiga}$ soojuskasutus soojustagastiga, kWh/a

$Q_{tagastita}$ soojuskasutus, kui tagastit poleks kasutatud, kWh/a

Energiatõhususarvu määramisel lähtutakse soojustagasti temperatuuri suhtarvust, sissepuhkeõhu temperatuurist ja soojustagasti jäätumise piiramisest.

Kui tootja andmed ei ole teada, võib kasutada järgnevaid suundaandvaid suhtarve:

- ristivoolu plaatsoojustagastitele 0,6;
- vastuvoolu plaatsoojustagastitele 0,8;
- rootorsoojustagastitele 0,8.

Soojustagasti jäätumise vältimiseks piiratakse heitõhu (Joonis 4.12 tähistatud t_{pt}^{vt} – väljatõmbeõhu temperatuur pärast tagastit) minimaalset temperatuuri temperatuurisuhtarvu vähendamise teel madalatel välisõhutemperatuuridel. Jäätumise vältimiseks piiratakse heitõhu miinimumtemperatuuri +5 °C-ni plaatsoojustagasti korral ja 0 °C-ni rootorsoojustagasti või niiskustagastusega plaatsoojustagasti korral.

Näiteks kui välisõhu temperatuur on -20 °C, väljatõmbeõhu temperatuur on 21 °C, sissepuhke ja väljatõmbe õhuvooluhulgad on võrdsed ning rootorsoojustagasti temperatuuri suhtarv on 0,8, siis jahtuks väljatõmbeõhk soojustagastis

$$(21 - (-20)) \cdot 0,8 = 32,8 \text{ °C}$$

ja väljatõmbeõhu temperatuur pärast tagastit oleks

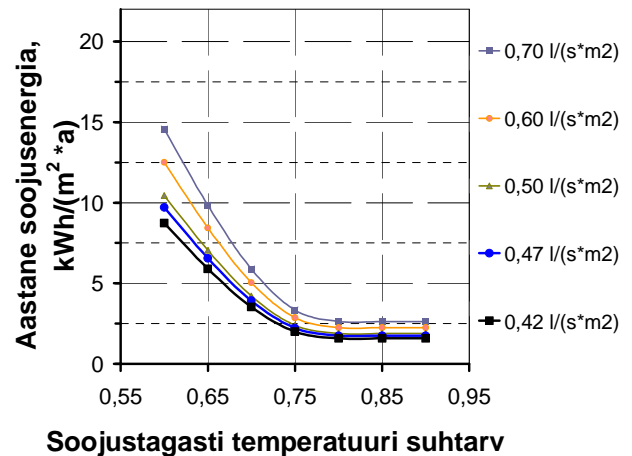
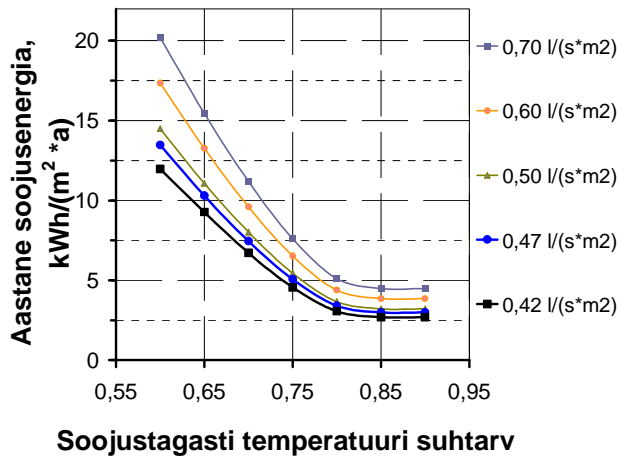
$$21 - 32,8 = -11,8 \text{ °C}$$

Jäätumisohu tõttu ei või temperatuur pärast tagastit olla nii madal (mitte alla 0 °C) ja soojustagastist saadav soojus on sellises olukorras oluliselt väiksem kui teoreetiliselt võimaldaks temperatuuri suhtarv 0,8.

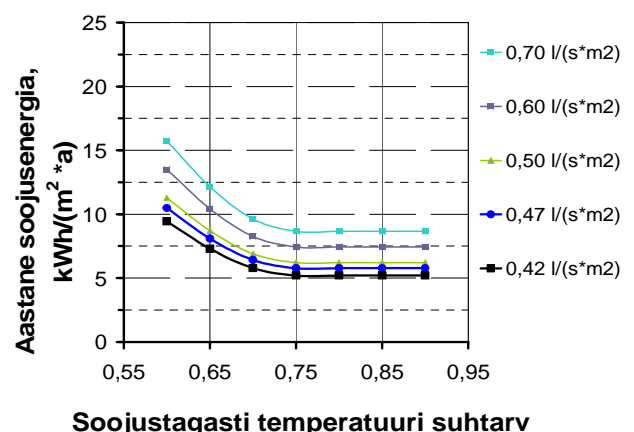
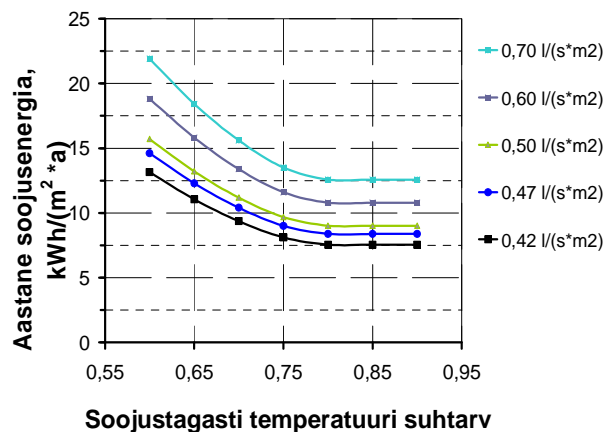
Väikeelamu ventilatsioonisüsteemi soojuse aastane netokasutus sõltub:

- ventilatsiooni õhuvooluhulgast (vt. peatükk 4.2.1);
- soojustagasti temperatuuri suhtarvust;
- sissepuhkeõhu temperatuurist;
- väljatõmbeõhu temperatuurist;
- heitõhu jäätmisvastasest temperatuurist.

Järgnevatel graafikutel (Joonis 4.13 ja Joonis 4.14) on väikeelamu ligikaudne aastane ventilatsiooni soojuse netotarve olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust, õhuvooluhulgast, heitõhu jäätmisvastasest temperatuurist ja väljatõmbeõhu temperatuurist. Sissepuhkeõhu temperatuur on kõigis variantides 18 °C ja on eeldatud, et järelsoojenduspatari soojendab sissepuhkeõhu temperatuurini 17 °C ja ventilaatoris soojeneb õhk lisaks 1 °C.



Joonis 4.13 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuste netokasutus olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja õhuvooluhulgast ning väljatõmbeõhu temperatuurist, kui jäätumisvastane **heitõhutemperatuur on 0 °C**. Sissepuhkeõhu temperatuur on +17 °C, väljatõmbeõhu temperatuur on vasakpoolsel graafikul +21 °C ja parempoolsel +23 °C.



Joonis 4.14 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuste netokasutus olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja õhuvooluhulgast ning väljatõmbeõhu temperatuurist, kui jäätumisvastane **heitõhutemperatuur on +5 °C**. Sissepuhkeõhu temperatuur on +17 °C, väljatõmbeõhu temperatuur on vasakpoolsel graafikul +21 °C ja parempoolsel +23 °C.

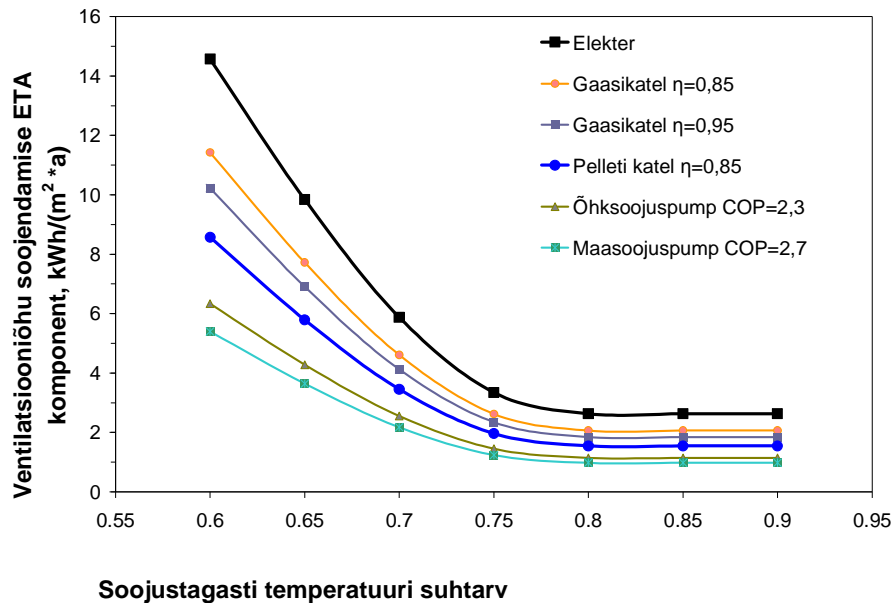
Olenevalt vabasoojustest ja kütte reguleerimise automaatikast võib ruumiõhu temperatuur tõusta üle 21 °C. Mida kõrgem on ruumiõhu temperatuur sama sissepuhkeõhu temperatuuri juures, seda suurem on soojustagasti aastane kasutegur ja väiksem soojuste kasutus. Kõrgem heitõhu jäätumisvastane temperatuur vähendab aastast kasutegurit ja suurendab soojuste kasutus.

On olemas lahendusi, kus sissepuhkeõhk imetakse enne ventilatsiooniseadmesse jõudmist maa-aluse õhk-maa-tüüpi soojustvaheti kaudu (näiteks spetsiaalne õhukanal või kollektorisüsteem). Külmal perioodil toimub pinnase kõrgema temperatuuri tõttu soojustvahetis välisõhu eelsoojenemine ja suvel välisõhu jahutamine, kui pinnase temperatuur on madalam välisõhu temperatuurist. Suve- ja sügisperioodil kondenseerub soojustvahetis välisõhust osa veeauru välja ja sinna tekib kondensaat. Hügieeni-, kondenseerumis- ja hallitusprobleemide tõttu on selline lahendus seotud suure riskiga.

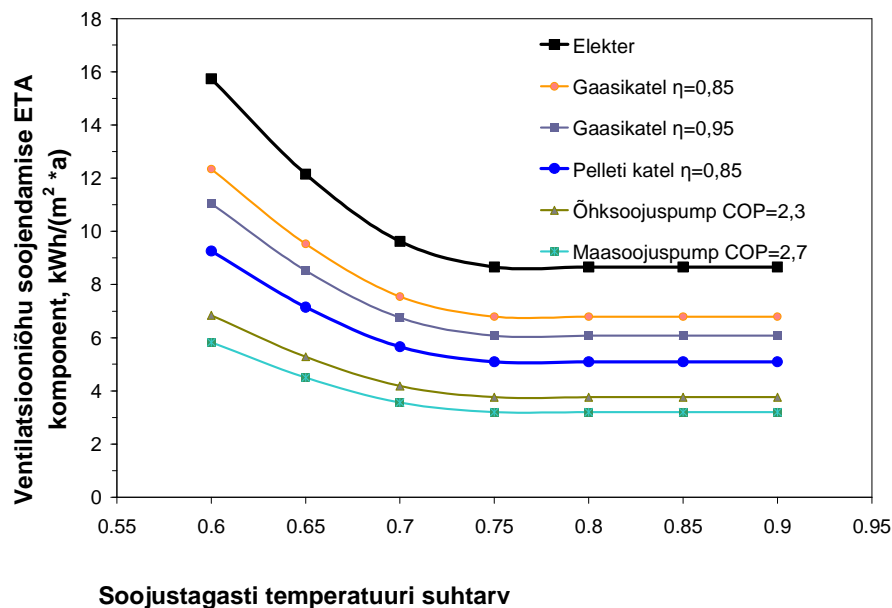
Juhul kui väikeelamus puudub soojustagastus, oleks ventilatsioonisoostu netoenergia tarve näiteks õhuvooluhulga 0,47 l/(s*m²) korral 57 kWh/(kWh/(m²*a)).

Madalenergiahoonetes tuleks eelistada niiskust tagastavaid rootor- ja ristivoolu soojustagasteid.

Esialguses ja ligikaudses lähenduses võib ventilatsiooni soojuse energiatõhusarvu komponendi määramisel lähtuda järgnevatest graafikutest (Joonis 4.15 ja Joonis 4.16). Graafikud on koostatud levinuimate soojusallikate kohta ja eeldustel, et sissepuhkeõhu temperatuur on 18 °C ja väljatõmbe temperatuur 21 °C ning õhuvooluhulk on 0,47 l/(s·m²).



Joonis 4.15 Ventilatsioonisüsteemi soojuse energiatõhusarvu komponent sõltuvalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja soojusallikast, kui heitõhu **jätumisvastane temperatuur on 0 °C**. Õhuvooluhulk 0,47 l/(s·m²), sissepuhke temperatuur 18 °C ja väljatõmbeõhu temperatuur 21 °C.



Joonis 4.16 Ventilatsioonisüsteemi soojuse energiatõhusarvu komponent olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja soojusallikast, kui heitõhu **jätumisvastane temperatuur on +5 °C**. Õhuvooluhulk 0,47 l/(s·m²), sissepuhke temperatuur 18 °C ja väljatõmbeõhu temperatuur 21 °C.

Näiteks kui väikeelamu õhuvooluhulk on 0,47 l/(s·m²), ventilatsiooniseadmes on niiskusvahetuse rootortagasti (temperatuuri suhtarv 0,75) ja soojusallikaks on maasoojuspump (heitõhu jätumisvastane temperatuur 0 °C), siis graafiku järgi (Joonis 4.15) on ventilatsiooni soojuse energiatõhusarvu komponent ligikaudu 1 kWh/(m²·a).

Kui õhuvooluhulk erineb 0,47 l/(s.m²), siis on vaja esitatud väärtusi korrigeerida teguriga:

$$k_{par}^{vent} = \frac{L_{teg}^{vent}}{0,47} \quad 4.4$$

k_{par}^{vent} parandustegur, millega on vaja läbi korrutada ventilatsiooni soojuse energiatõhususe komponent (Joonis 4.15 või Joonis 4.16), kui tegelik õhuvooluhulk erineb 0,47 l/(s.m²),

L_{teg}^{vent} väikeelamu tegelik õhuvooluhulk, l/(s.m²).

4.2.3 Elekritarve

Ventilaatorid tarbivad õhu transportimiseks elektrit. Tõhusa soojustagastusega hoonetes võib ventilatsioonisüsteemile vajalik aastane elektri kogus sageli osutuda suuremaks ventilatsioonisüsteemi poolt tarvitatavast soojusest.

Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse efektiivsust iseloomustab ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus, mida tähistatakse tähekombinatsiooniga SFP (ingl. k *specific fan power*). Mida väiksem on SFP, seda väiksem on ka elektri kasutus.

Väikeelamu sissepuhke-väljatõmbesüsteemi SFP arvutatakse järgmise valemiga:

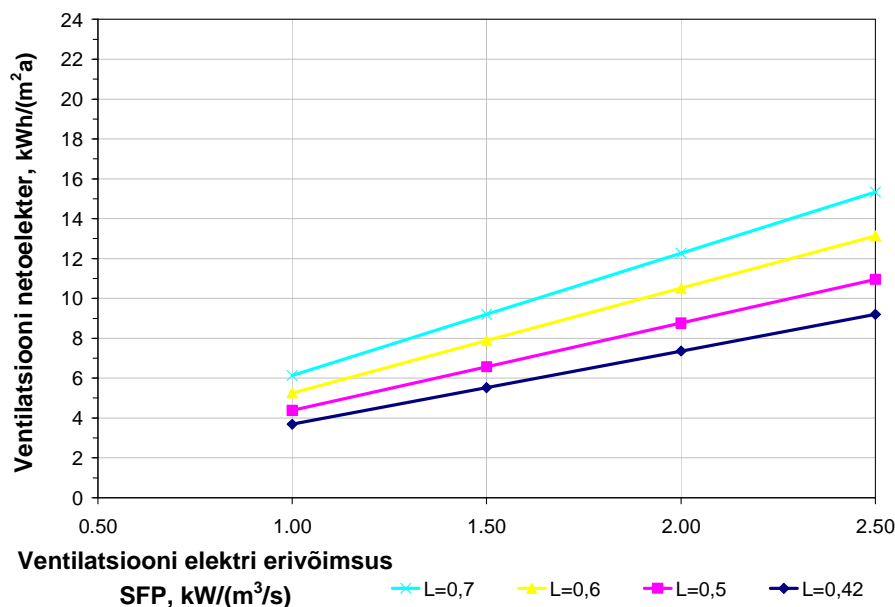
$$SFP = \frac{N_{sp} + N_{vt}}{L_{max}} \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s}) \quad 4.5$$

N_{sp} sissepuhkeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus, kW;

N_{vt} väljatõmbeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus, kW;

L_{max} ventilatsiooni õhuvooluhulk (vt. peatükk 4.2.1), m³/s.

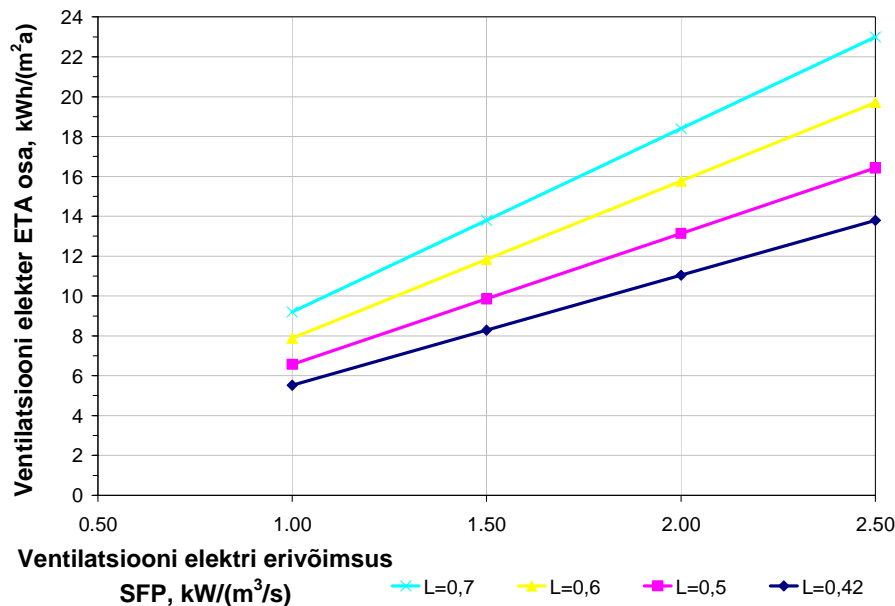
Järgneval joonisel on väikeelamu ventilatsioonisüsteemi aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta olenevalt ventilatsiooni õhuvooluhulgast köetava pinna kohta ja SFP-st.



Joonis 4.17 Väikeelamu ventilatsiooni aastane ventilatsiooni netoelektrikasutus köetava pinna kohta olenevalt õhuvooluhulgast L (l/(s.m²)) ja SFP-st.

Madalenergiahoonetes peab ventilatsioonisüsteem olema väikese elektritarbega ehk SFP olema ≤ 1,5...2 kW/(m³/s).

Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, saame netoenergia põhjal arvutada ventilatsiooni elektri energiatõhususarvu komponendi (vt. Joonis 4.18).



Joonis 4.18 Ventilatsioonisüsteemi elektri energiatõhususarvu komponendi sõltuvus SFP-st ja õhuvooluhulgast L (l/(s·m²)).

Näiteks kui väikeelamu ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulk on 0,47 l/(s·m²), siis graafiku järgi (Joonis 4.17) on ventilatsioonisüsteemi aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta 8,2 kWh/(m²·a) ja energiatõhususarvu komponent (Joonis 4.18) 12,4 kWh/(m²·a).

4.3 Küttesüsteem

Madalenergiahoones on oluline, et iga ruumi temperatuuri oleks võimalik reguleerida individuaalselt ja hoida soovitud temperatuuri automaatselt nn. termostaadi abil. Ainult selline lahendusviis võimaldab maksimaalselt ära kasutada vabasoojust ja vältida ruumide ülekütmist.

4.3.1 Radiaatorküte

Radiaatorkütteks saab tinglikult nimetada keskküttesüsteemi, kus soojuskandjaks on vesi ja ruumidesse loovutatakse soojust küttekehadega ehk nn. radiaatoritega. Kui soojusallikaks on soojuspump, siis ei tohiks soojuskandja arvutuslik pealevoolutemperatuur olla üle 40...45 °C. Kondensaatkatelde kasutegur on seda suurem, mida madalam on küttesüsteemist tagastuva soojuskandja temperatuur. Soovitavalt võiks see arvutuslikel tingimustel olla alla 50 °C.

Traditsioonilistes elamutes pidi radiaator hea sisekliima tagamiseks paiknema akna all. Madalenergiahoonetes, kus akna soojusläbivus (U) on väiksem kui 1 W/(m²·K), võib küttekeha paikneda ka mujal, näiteks siseseinal.

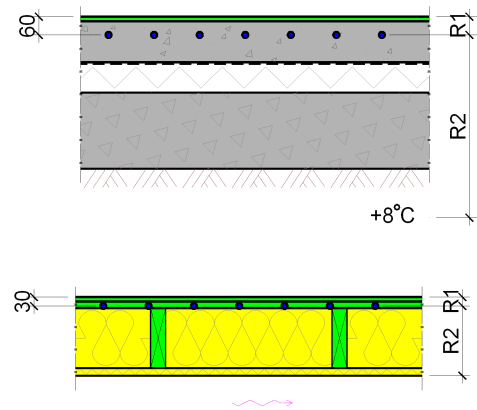
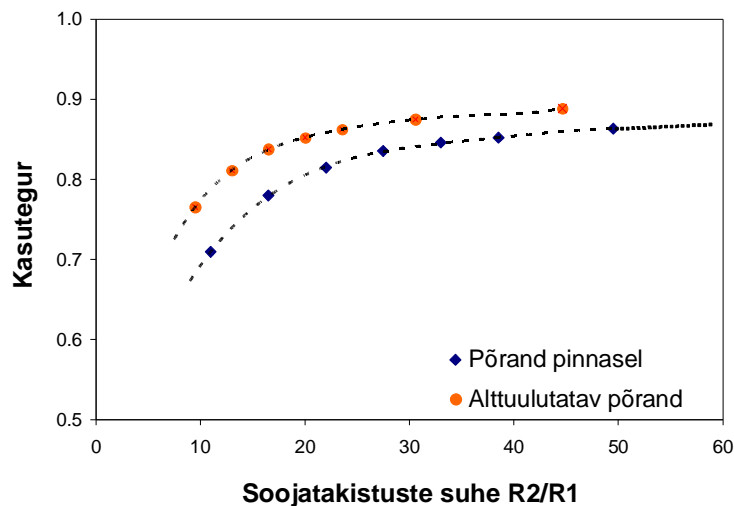
Energiatõhususarvu määramisel tuleb võtta radiaatorkütte süsteemi kasuteguriks 0,97.

4.3.2 Põrandküte

Põrandakütte korral on põrandapinna temperatuur kõrgem ruumiõhu temperatuurist ja tänu sellele toimub ruumide kütmine. Põrandakonstruktsioonis paiknevad torustikud, milles voolab soojuskandja, vesi. Soovituslikult võiks põrandapinna temperatuur elu ja magamistubades jääda alla 27 °C. Üldjuhul ei tohiks põrandakütte korral olla soojuskandja pealevoolu temperatuur üle 40...45 °C. Seetõttu sobib põrandakütte soojusallikaks väga hästi soojuspump.

On olemas ka elekterpõrandaküte, kus torustike asemel on põrandas elektrikaablid, kuid liginull- ja madalenergiahoonetes ei tohiks elekterkütet kasutada.

Väikeelamu esimese korruse põrandas paikneva põrandakütte kasutegur sõltub põrandakonstruktsioonist, täpsemalt sellest, kui suur on torustiku peale ja alla jäävate tarindite soojustakistus. Kasuteguri saab määrata järgneva graafiku abil (vt. Joonis 4.19).



Joonis 4.19 Põrandakütte kasuteguri sõltuvus põranda soojustatusest.

Kui puuduvad täpsemad andmed põrandakütte kasuteguri kohta, võib lähtuda määruse nr. 258 lisas 12 toodud väärtustest:

- plaat pinnasel või alttuulutav põrand 0,85;
- vahelaes 1,0.

4.3.3 Õhkküte

Põhimõtteliselt on võimalik ruume kütta, kui sinna puhuda ruumiõhust kõrgema temperatuuriga õhku. Sel juhul on tegemist õhkküttega. Õhkküte on seotud väikeelamu ventilatsiooniga ja ruumidesse puhutakse ventilatsiooniõhku, mida on täiendavalt soojendatud. Soovituslikult ei tohiks sissepuhkeõhu temperatuur olla kõrgem kui 40...50 °C.

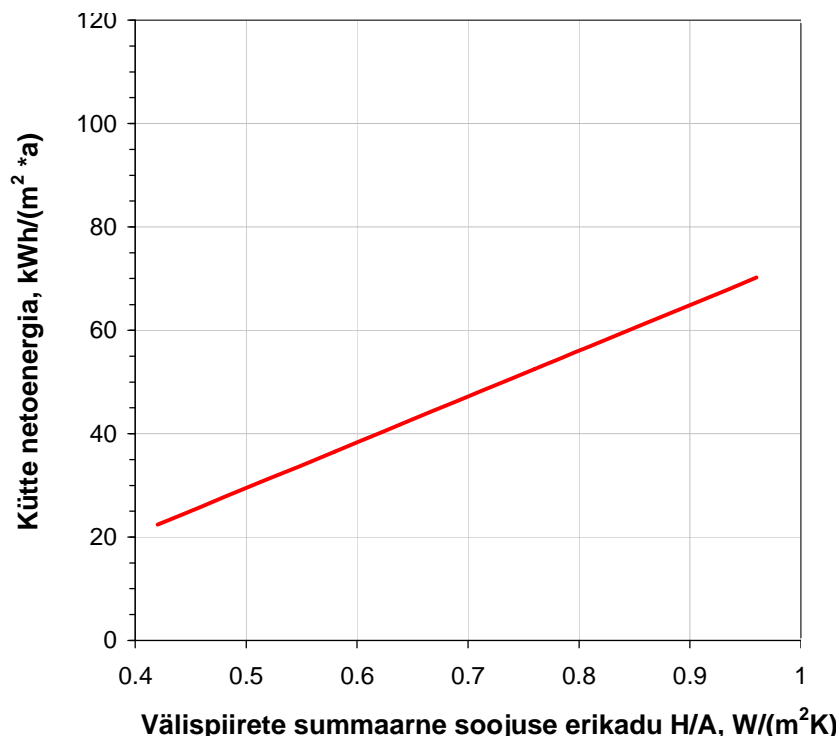
Madalenergiahoonetes on soojuskaod sageli väikesed ja nõutavast ventilatsiooni õhuvooluhulgast (vt. peatükk 4.2.1) võib piisata hoone kütteks. Kuid tihti ei pruugi see nii olla. Näiteks võrdlushoone nõutav ventilatsiooni õhuvooluhulk on 0,47 l/(s·m²). Sissepuhkeõhu temperatuuri 50 °C juures saab selle õhuvooluhulgaga korvata soojuskadusid 16,9 W/m². Võrdlushoone, mille välispiirete soojuserikadu on 0,58 W/(K·m²), arvutuslik soojuskadu välisõhutemperatuuri – 21 °C juures on 24,4 W/m². Seega ei piisa hoone kütmiseks eespool toodud õhuvooluhulgast. Selleks et õhuvooluhulgaga 0,47 l/(s·m²) korvata soojuskaod, peaks välispiirete soojuserikadu olema väiksem kui 0,41 W/(K·m²). Lisaks hoone energiabilansile on vaja õhkkütte korral tagada energiabilanss ruumide osas, st sooja sissepuhkeõhu vooluhulk peab olema vastavuses ruumi arvutuslike soojuskadudega.

Õhkkütte korral on oluline jälgida, et sõltumata sissepuhkeõhu temperatuurist oleks tagatud ruumide õhuvahetuse tõhusus, st värske õhk jõuaks inimeste viibimise tsooni. Õhkküttesüsteem peaks võimaldama reguleerida ruumiõhu temperatuuri ruumide kaupa. See eeldab, et sissepuhkesüsteemil on iga ruumi tarbeks järelsoojenduspatari ja seda juhtiv automaatika. Õhkkütte kasuteguriks võetakse 1,0.

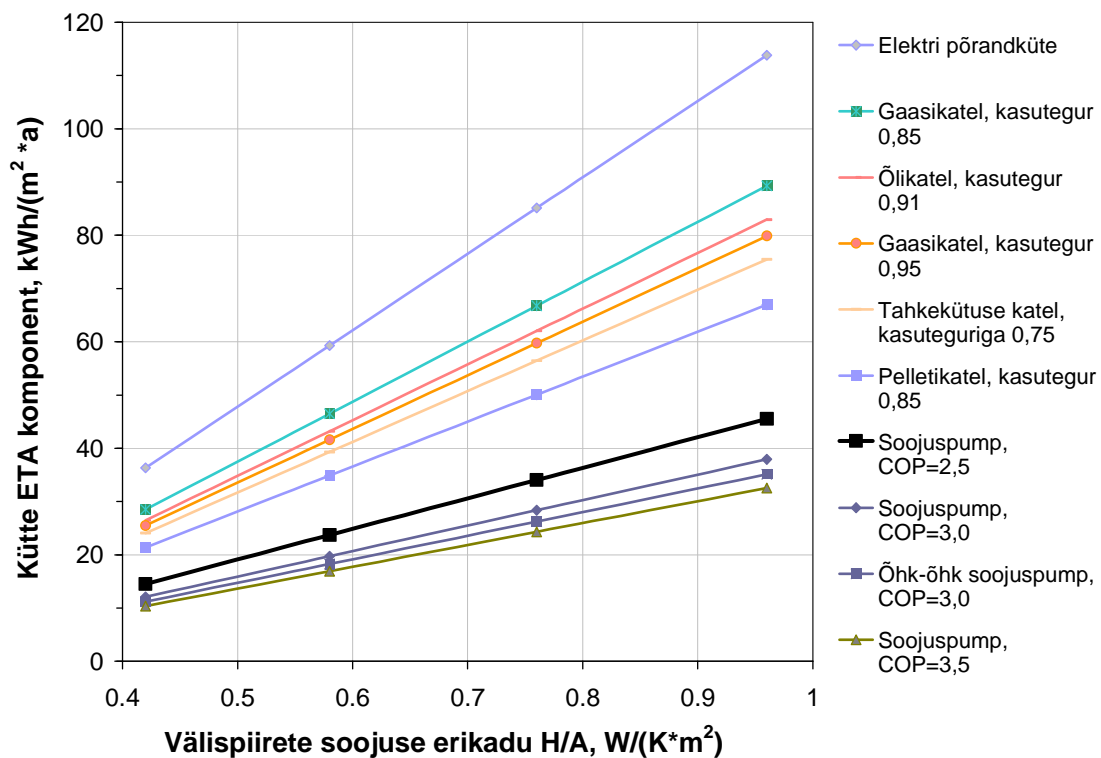
4.3.4 Kütteenergiakasutus ja energiatõhususarvu komponent

Väikeelamu kütteenergia vajadus sõltub põhiliselt välispiirete soojuserikaost ja vabasoojusest (vt. peatükki 5). Kuna vabasoojus on ajas muutuv suurus, siis adekvaatse kütte netoenergia määramiseks tuleks kasutada soojuslevi dünaamilist modelleerimistarkvara. Järgnevatel kütteenergia graafikutel on võrdlushoone dünaamilise modelleerimise tulemused. Neid graafikuid võib teatud mõõndustega kasutada väikeelamu kavandamise algetapis väga ligikaudsete ja esialgsete väärtuste saamiseks.

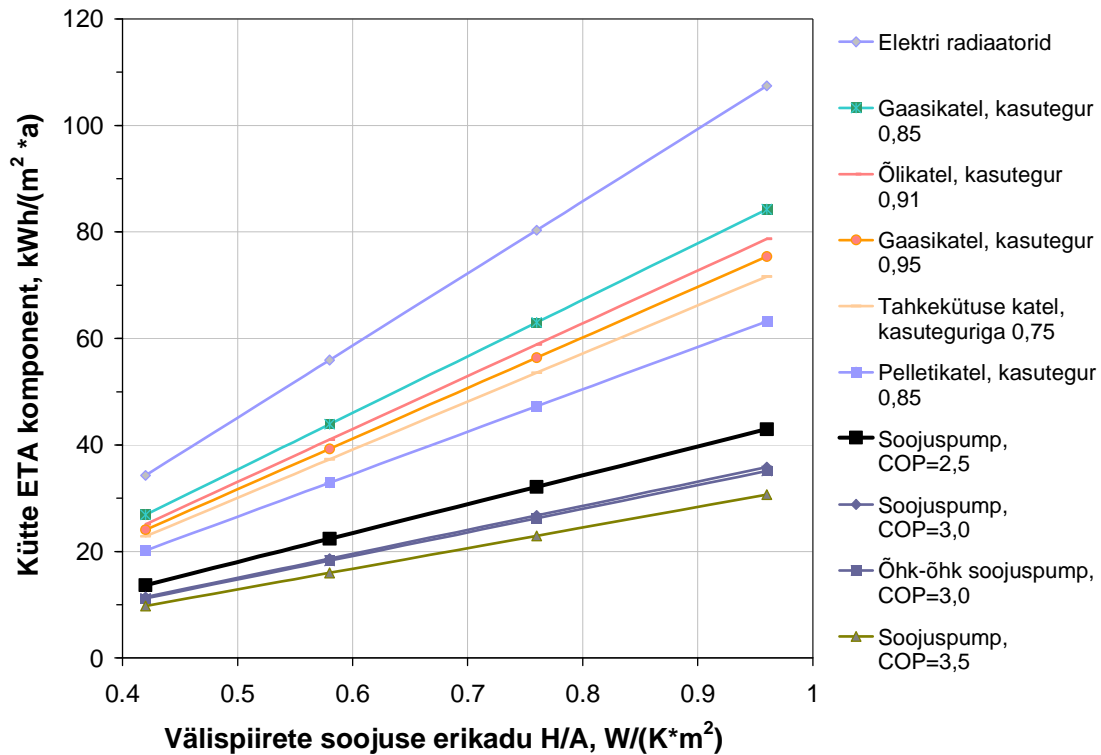
Võrdlushoone kütte netoenergia ja energiatõhususarvu komponent sõltuvalt soojusallikast ja küttesüsteemist ning välispiirete soojuserikaost on toodud järgnevatel graafikutel (Joonis 4.20, Joonis 4.21 ja Joonis 4.22).



Joonis 4.20 Võrdlushoone kütte netoenergia sõltuvus välispiirete soojuserikaost (suurim klaasfassaad on suunatud lõunasse)



Joonis 4.21 Võrdlushoone kütte energiatõhususarvu komponent sõltuvalt välispiirete soojuserikaost ja soojusallikast ning küttesüsteemiks on radiaatorküttesüsteem (kasutegur 0,93).



Joonis 4.22 Võrdlushoone kütte energiatõhususarvu komponent sõltuvalt välispiirete soojuserikadest ja soojusallikast ning küttesüsteemiks on pörandaküttesüsteem (kasutegur 0,97).

Näiteks kui väikeelamu välispiirete soojuserikadu on 0,7, fassaadide klaaspinnad on võrdlushoonega enam-vähem sama proportsiooniga ja suurima klaaspinnaga fassaad on suunatud lõunasse ning radiaatorküttesüsteemi soojusallikaks on puidupelletikatel kasuteguriga 0,85, siis väikeelamu ligikaudne kütte energiatõhususarvu komponent on (vt. Joonis 4.21) 42 kWh/(m²a).

4.4 Jahutus

Mida väiksem on välispiirete soojuserikadu, seda enam vabasoojust jääb hoonesse ja võib põhjustada ruumiõhu temperatuuri liigse tõusu. Täpsem ruumiõhu temperatuuri ja jahutuse energiatarve arvutus eeldaks dünaamilist simulatsiooni.

Väikeelamute korral tuleks maksimaalselt vältida mehaanilist jahutust ja maksimaalselt kasutada nn. passiivseid lahendusi, nagu välised päikesekaitsed akendel, päikesearjude oskuslik kasutamine, tuulutamine akende avamise teel jms.

Oskusliku päikesest tuleneva vabasoojuse tõrjumisega on võimalik väikeelamus tagada väikeelamusisotemperatuuri 150 kraadtunni nõude täitmine ka ilma mehaanilise jahutusega.

Soojuspumbaga küttelahenduse korral on põhimõtteliselt võimalik panna soojuspump suvisel perioodil tööle reverseeritavalt ja toota jahutusenergiat. Maasoojuspumbast saab osa suvisest jahutusenergiast kätte passiivselt, soojuspumba kompressorit käivitamata.

Kui hoone kavandamisel on kasutatud väliseid meetmeid päikesest tuleneva vabasoojuse vähendamiseks suvel ja pole liialdatud lääne- ja lõunafassaadil klaaspindadega, siis peaks jääma jahutuse netoenergia tarve alla 10 kWh/(m²a). Jahutusseadme jahutusteguri 3,5 ja elektrikaalumisteguri 1,5 juures kujuneks sellisel juhul jahutuse energiatõhususarvu komponendiks ≈4 kWh/(m²a).

4.5 Valgustuse ja elektriseadmete elektritarve

Väikeelamute elektriseadmete ja valgustuse energiakasutuse määramisel tuleb lähtuda määruse nr. 258 lisas 5 toodud standardtingimustest, mille kohaselt

- valgustuse kasutusaste on 0,1 ja elektrivõimsus 8 W/m^2 ,
- elektriseadmete kasutusaste on 0,6 ja elektrivõimsus $3,43 \text{ W/m}^2$.

Lähtudes nendest näitajatest on väikeelamu aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta:

- valgustuseks $7 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$,
- elektriseadmetele $18 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$.

ja energiatõhususarvu komponent köetava pinna kohta:

- valgustuseks $10,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$,
- elektriseadmetele $27 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$.

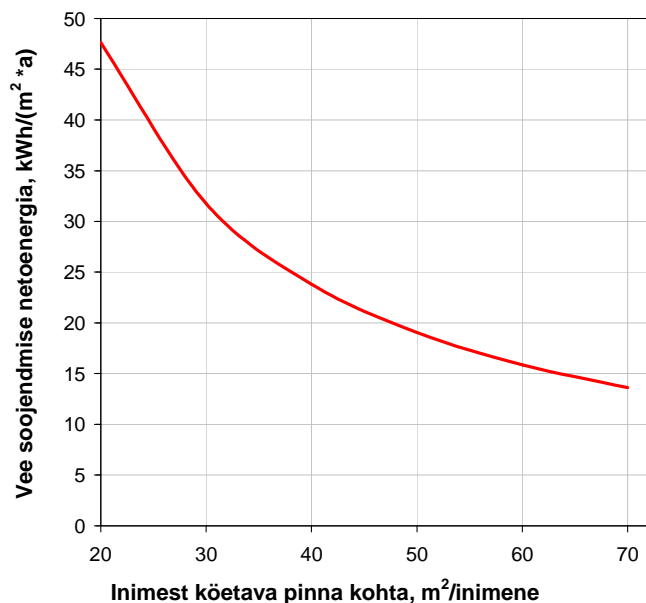
Standardkasutusel on väikeelamu valgustuse ja elektriseadmete summaarne energiatõhususarvu komponent $37,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$.

4.6 Soe tarbevesi

Sooja tarbevee soojuse vajadus tuleb määrata määruse nr. 258 järgi, mille kohaselt:

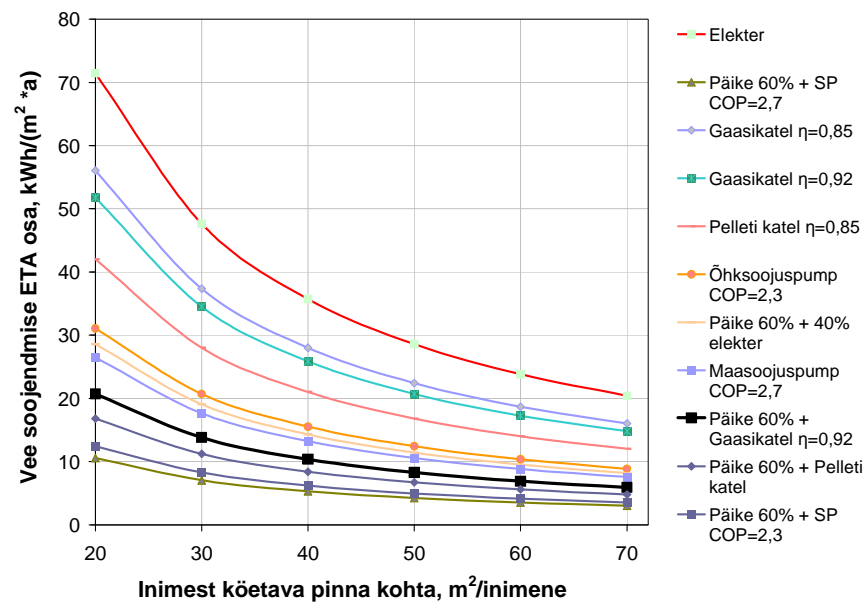
- ööpäevane soojavee kasutus ühe elaniku kohta on 45 l;
- elanike arv on ühe võrra suurem väikeelamu magamistubade arvust;
- tarbevett on vaja soojendada $50 \text{ }^\circ\text{C}$ võrra ($+5 \text{ }^\circ\text{C}$ kuni $+55 \text{ }^\circ\text{C}$).

Järgneval joonisel on toodud sooja tarbevee aastane netoenergiakasutus olenevalt sellest, mitu ruutmeetrit on arvutuslikult inimese (magamistubade arv + 1) kohta köetavat pinda.



Joonis 4.23 Sooja tarbevee aastane netoenergiakasutus.

Sooja tarbevee energiatõhususe komponent energiatõhususarvus sõltub lisaks netoenergiale soojuse saamise viisist. Joonisel (Joonis 4.24) on energiatõhususarvu komponent sõltuvalt soojuse saamise viisist.



Joonis 4.24 Sooja tarbevee energiatõhususarvu (ETA) komponent sõltuvalt soojuste saamise viisist: (η – katla kasutegur, COP – soojuspumba keskmine soojustegur, SP – soojuspump, Päike 60% – päikesekollektor tagab aastas 60% sooja tarbevee energiast).

Näiteks võrdlushoones on 3 magamistuba. Seega on inimeste arv $3 + 1 = 4$. Inimesi on köetava pinna kohta: $71 \text{ m}^2/4 = 42,8 \text{ m}^2/\text{inimene}$.

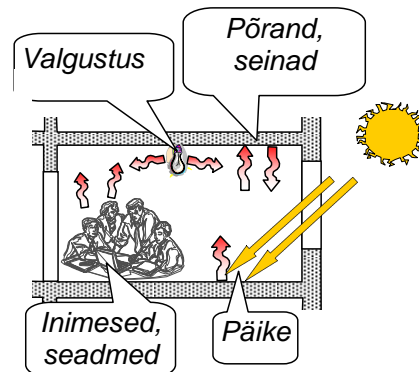
Graafiku (Joonis 4.24) järgi saame netokasutuseks $22 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ja energiatõhususarvu komponendiks ligikaudu $19 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$, juhul kui energiaallikaks on näiteks puidupelleti katel.

4.7 Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve

Madalenergiahoonetes tuleb kasutada suure kasuteguriga sagedusmuunduriga pumпасid, mida juhitakse hoone soojuskasutuse järgi. Ringluspumba elektrikasutus on suhteliselt väike ning esialgsetes ja ligikaudsetes arvutustes võib võtta tsirkulatsioonipumba elektrikasutuse energiatõhususarvu komponendiks $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

5 Vabasoojused, päikesekaitse ja ülekütmise kontroll

Kui inimesed on kodus, siis eraldavad nad ruumi soojust. Lisaks eraldavad ruumi soojust elektriseadmed (arvutid, koduelektronika, pliit jms), valgustus ja aknast sissepaistev päike. Sellist soojust nimetatakse vabasoojuseks (vt. Joonis 5.1).



Joonis 5.1 Ruumi eralduv vabasoojus.

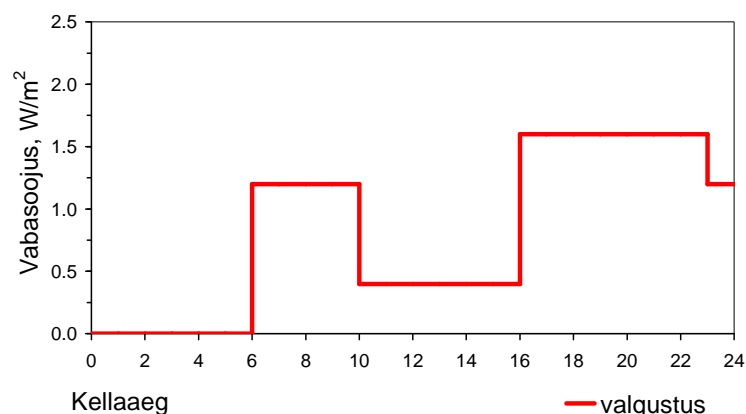
Vabasoojuse võrra peab ruumi vähem kütma, st osa soojust tuleb „vabalt“ kätte. Mida soojapidavam on hoone (väiksem soojuserikadu), seda suurema osa aastasest soojuskaost kompenseerib vabasoojus ja seda vähem kulub kütteenergiat hoone kütmiseks. Näiteks võrdlushoone välispiirete soojuserikao $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ korral on vabasoojuse osakaal soojuskadude kompenseerimisel 62% ja erikao $0,76 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ korral 48%. Teisalt aga tõstab vabasoojus küttevabal perioodil liigselt ruumiõhu temperatuuri ja suurendab jahutusvajadust.

5.1 Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojus

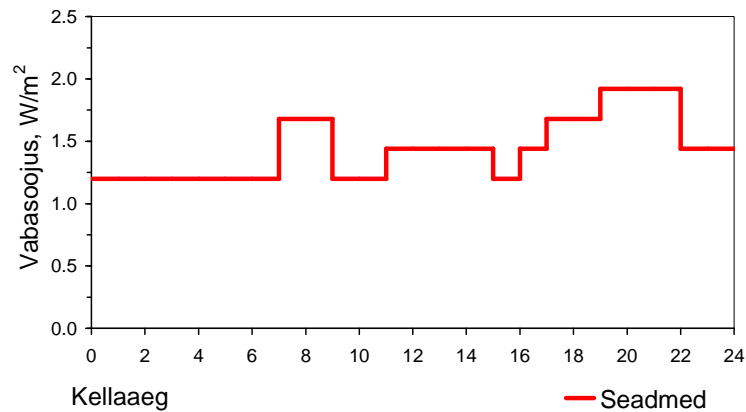
Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojused tuleb võtta määruse nr. 258 lisadest 5 ja 6, mille kohaselt on ööpäeva keskmised soojuseraldused:

- vabasoojused kokku $3,4 \text{ W}/\text{m}^2$;
 - valgustus $0,8 \text{ W}/\text{m}^2$,
 - seadmed $1,44 \text{ W}/\text{m}^2$,
 - inimesed $1,2 \text{ W}/\text{m}^2$.

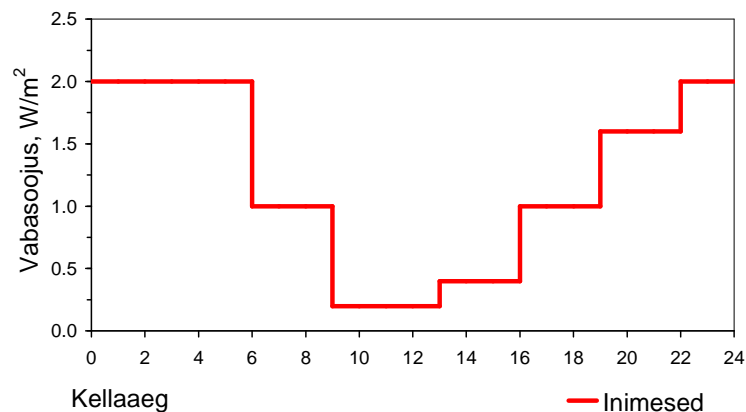
Energia- ja sisekliima dünaamilisel modelleerimisel on vaja kasutada detailsemaid kohaloleku profiile, mis on järgnevatel graafikutel.



Joonis 5.2 Valgustuse vabasoojuse kasutusprofiil.



Joonis 5.3 Elektriseadmete vabasoojuse kasutusprofiil.



Joonis 5.4 Inimeste vabasoojuse kasutusprofiil.

5.2 Klaasi omadused ja vabasoojus päikesest

Akna saab tinglikult jagada raamiks ja klaasiks.

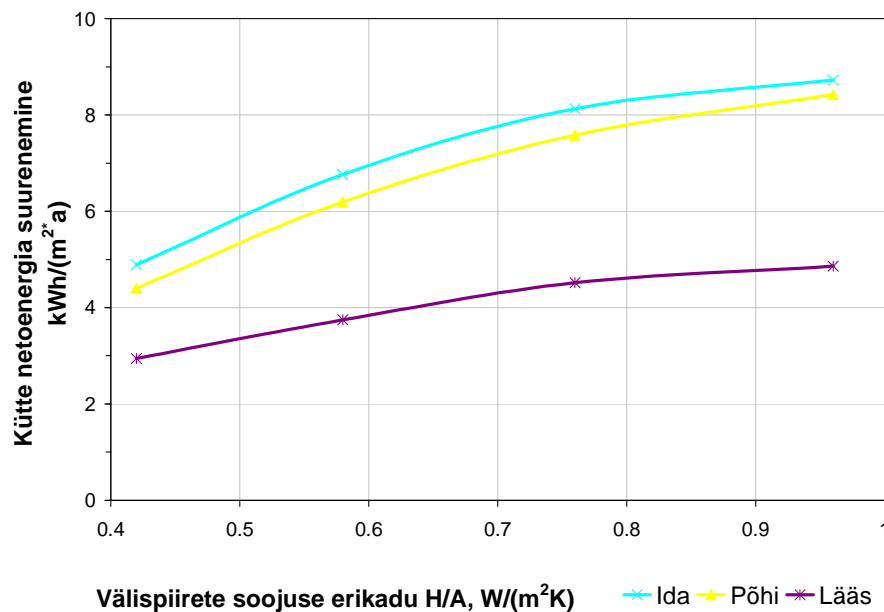
Soojuskadu läbi akna sõltub nii raami kui ka klaasi omadustest, st. kui tehakse soojuskadude arvutusi ja leitakse hoone välispiirete soojuserikadu, siis tuleb lähtuda akna kui terviktarindi soojusläbivusest (U , $W/(m^2 \cdot K)$), kus on arvesse võetud akna raami/lengi, klaasiosa ja klaasiserva külmasilla parameetrid. Akna soojusläbivuse arvutamisel võib lähtuda määruse nr. 258 §19 kirjeldatud meetodikast.

Päikeseenergia läbilaskvust iseloomustab klaasiosa päikeseläbivustegur, mis näitab, kui suur osa akna pinnale tulevast päikeseenergiast jõuab ruumi. Sageli tähistatakse päikeseläbivustegurit tähistega SF (ingl. k *solar factor*) ja g . Mida väiksem on päikeseläbivustegur, seda vähem päikeseenergiat ruumi sisse tuleb, st. seda vähem on ruumis vabasoojust päikesest. Näiteks tavalisel kirka klaasiga klaaspaketil on päikeseläbivustegur suurusjärgus 0,7...0,75 ja spetsiaalsel päikesekaitse klaasil isegi alla 0,2. Üldjuhul klaasiosa soojusläbivuse (U , $W/(m^2 \cdot K)$) vähenedes väheneb ka päikeseläbivustegur.

Päikesest tingitud vabasoojus sõltub lisaks päikeseläbivustegurile akende (täpsemalt klaasiosa) pindalast ja akende orientatsioonist, aga ka päikesevarjest.

Kütteenergia vähendamise seisukohast peaksid suuremad klaaspinnad paiknema lõunasse orienteeritud fassaadil ja väiksemad klaaspinnad põhja suunal. Jahutuse seisukohast lõunasse suunatud ja ilma aktiivsete päikesekaitsete klaaspinnad suurendavad jahutusenergia vajadust.

Järgmisel graafikul on võrdlushoone kütte netoenergia suurenemine, kui võrreldes põhivariandiga (suurema klaaspinnaga fassaad on suunatud lõunasse) on varasem lõunafassaad suunatud itta, põhja või läände.



Joonis 5.5 Võrdlushoone kütte netoenergia suurenemine võrreldes põhivariandiga, kui suurima klaaspinnaga fassaad on lõuna asemel suunatud ida, põhja või lääne ilmakaarde.

Sõltuvalt hoone välispiirete soojuserikaost suureneb ida ja põhja orientatsiooniga võrdlushoone kütte netoenergia 4,6...8,8 kWh/(m²·a) võrra ning lääne orientatsiooni korral 3,1...4,8 kWh/(m²·a). Siit on näha, et klaaspindade orientatsioonil on oluline osa kütte netoenergiast, mõjutades võrdlushoone korral kütte netoenergiat kuni 20% ulatuses.

Päikest võivad varjutada näiteks naaberhooned, puud, väikeelamu arhitektuursest lahendusest tingitud elemendid (varikatused, hoone eenduvad osad jms) ja spetsiaalsed päikesekaitse lahendused (horisontaalsed varikatted, välised päikeserulood jms). Kütteperioodil paistab päike suhteliselt madalalt, mistõttu läheduses paiknevate naaberhoonete ja puude varjud võivad oluliselt vähendada alumiste korruste akendele paistvat päikesekiirgust ja päikesest tingitud vabasoojust.

Madalenergiahoonete kavandamisel ei tohi unustada, et akende põhiülesandeks on ikkagi tagada hoonetes hea loomulik valgustus ja ruumi piisav päiksepaiste (insolatsioon).

Täpsema päikesekiirguse mõju hindamiseks hoone kütte- ja jahutusenergiaks ning sisekliimale tuleb kasutada spetsiaalseid dünaamilise soojuslevi tarkvarasid.

5.3 Tarindite soojuslik massiivsus

Hoone ja ruumide piirdetarindite soojuslik massiivsus avaldab mõningal määral mõju hoone jahutus- ja kütteenergiatarbele – osa vabasoojusest salvestub hoone konstruktsioonidesse ja ei mõjuta kohet kütte- või jahutustarvet.

Võrdlushoone põhjal tehtud arvutused näitasid, et soojusliku massiivsuse mõju väikeelamu kütteenergiatarbele jäi alla 2%. Esialgsetes ja ligikaudsetes arvutustes võib jätta väikeelamu soojusliku massiivsuse arvesse võtmata.

Massiivsus avaldab oluliselt suuremat mõju jahutusele ja ruumiõhu suvisele temperatuurile. Soojuslikult massiivsema hoone jahutusenergiatarve on väiksem ja vabasoojusest tingitud siseõhu temperatuuri tõus väiksem.

6 Näited

Esialguses lähenduses võib liginullenergiaväikeelamu ligikaudse energiatõhususarvu määramisel lähtuda eelnevates peatükkides toodud graafikutest ja valemitest. Selle illustreerimiseks on erinevad näited.

Hoone energiatõhususe tõendamiseks kasutatakse energia- ja sisekliima arvutusi.

6.1 Näide 1: leida hoone ligikaudne energiatõhususarv

Väikeelamu on kavandatud järgmiste näitajatega:

- välispiirete summaarne soojuserikadu on $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
- ventilatsiooni õhuvooluhulk $0,55 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, SFP $2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$, rootortagasti temperatuuri suhtarvuga $0,8$;
- 4 magamistuba;
- köetav pind 200 m^2 ;
- kütte soojusallikaks on õlikatel kasuteguriga $0,91$ ja radiaatorküte;
- ventilatsiooni soojusallikaks on elekter;
- sooja tarbevett valmistatakse elektermahatboileriga;
- hoone klaaspinnad on enam-vähem samas proportsioonis võrdlushoonega, suurima klaaspinnaga fassaad on suunatud lõunasse;
- suviste ruumiõhu temperatuuride nõue $< 150 \text{ }^\circ\text{Ch}$ on täidetud ilma mehaanilise jahutuseta.

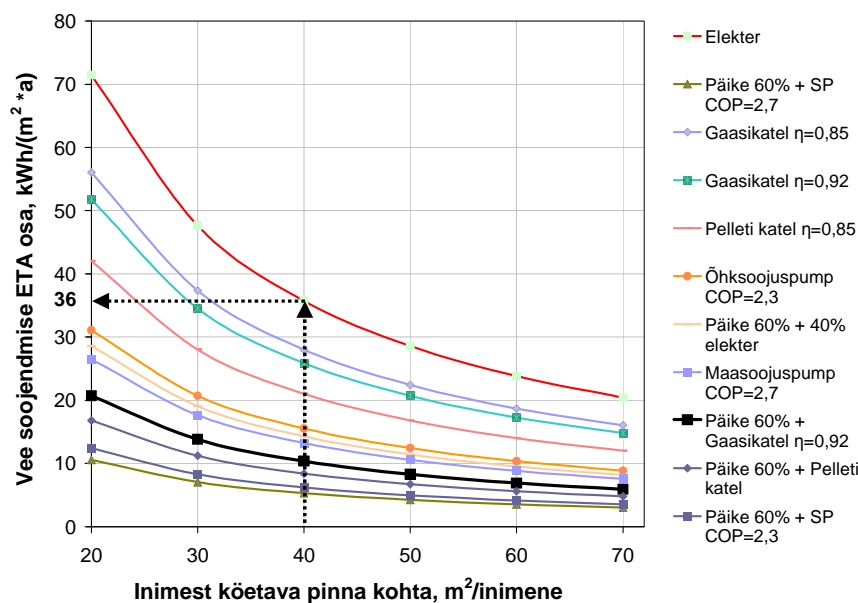
Leiame energiatõhususarvu (ETA) üksikute komponentide kaupa.

6.1.1 Valgustus ja elektriseadmed

Peatüki 4.5 järgi on valgustuse ja elektri summaarne ETA komponent $37,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

6.1.2 Tarbevee soojendamine

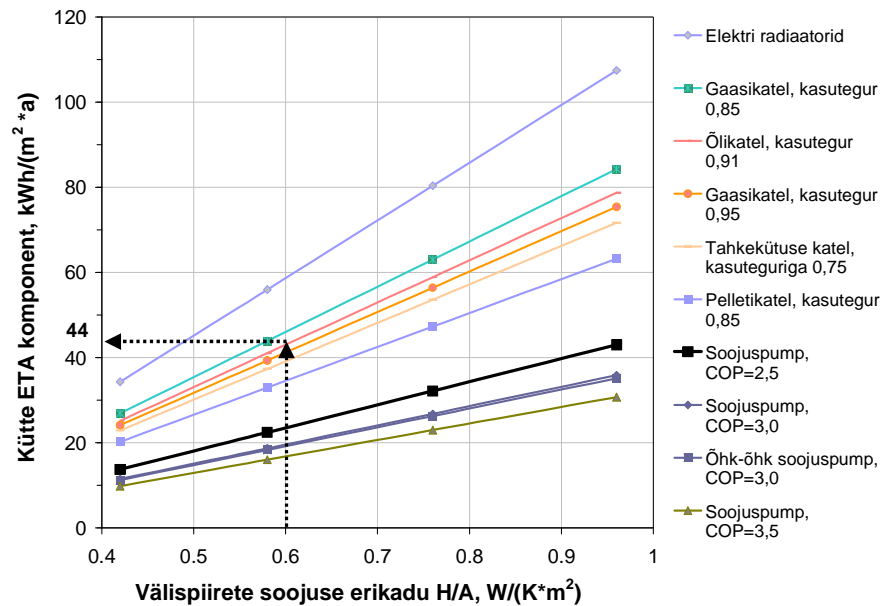
Väikeelamus on elanikke magamistubade arvust ühe võrra rohkem, st. $4 + 1 = 5$ inimest. Ühe inimese kohta on köetavat pinda $200 / 5 = 40 \text{ m}^2$. Kasutades graafikuid Joonis 4.24 ja Joonis 6.1 on juhul, kui soojusallikaks on elekter, sooja tarbevee ETA komponent $\approx 36 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Joonis 6.1 Näide 1 tarbevee soojendamise ETA komponendi leidmine.

6.1.3 Ruumide küte

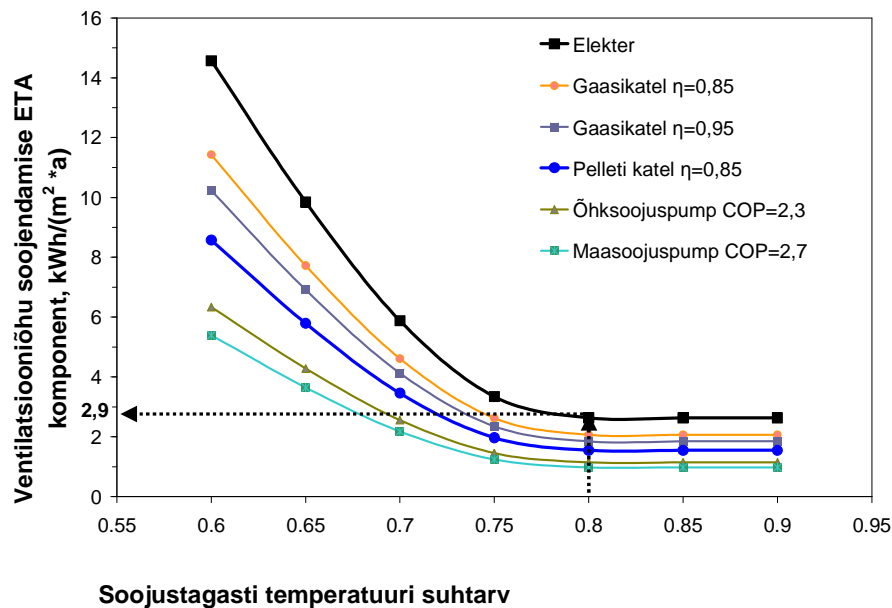
Kasutades graafikuid Joonis 4.22 ja Joonis 6.2, on kütte energiatõhususe ETA komponent $\approx 44 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Joonis 6.2 Näite 1 ruumide kütte ETA komponendi leidmine.

6.1.4 Ventilatsiooniõhu soojendamine

Kasutades graafikut Joonis 6.3, on ETA komponent $\approx 2,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



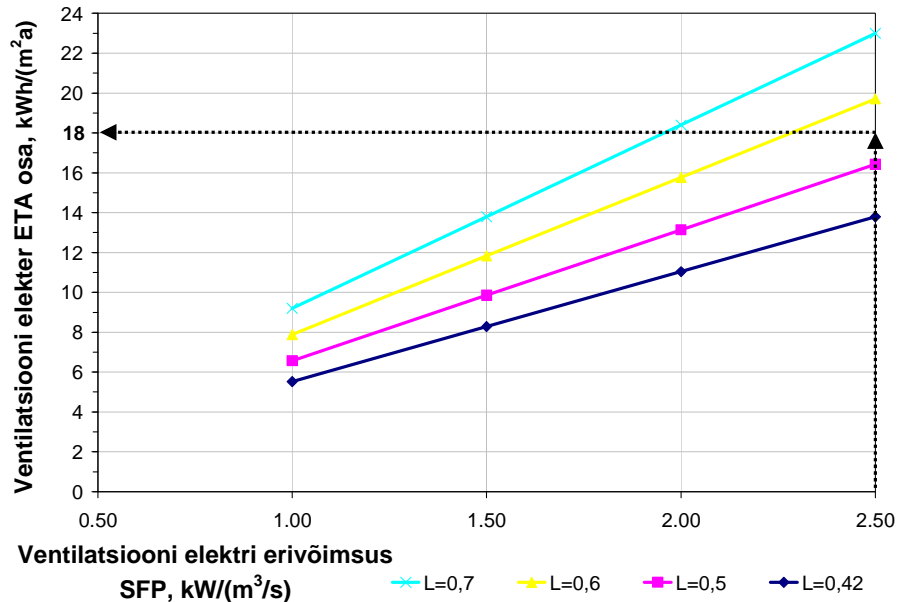
Joonis 6.3 Näite 1 ventilatsiooniõhu soojendamise ETA komponendi leidmine.

Arvestades, et tegelik õhuvooluhulk ei ole 0,47, vaid $0,55 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$, on selle väikeelamu ETA tegelik komponent $2,9 \times 0,55/0,47 = 3,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

6.1.5 Tehnoseadmete elektri tarve

Ventilatsioonielekter

Kasutades graafikuid Joonis 4.18 ja Joonis 6.4, on ventilatsiooni elektri ETA komponent 18 kWh/(m²a).



Joonis 6.4 Näite 1 ventilatsioonisüsteemi elektritarve ETA komponendi leidmine.

Ringluspumba elekter

Küttesüsteemi ringluspumba elektritarve on 1 kWh/(m²a) (vt. peatükk 4.7).

6.1.6 Energiatõhususarv

Energiatõhususarv on eelnevalt leitud komponentide summa (vt. Tabel 6.1)

Tabel 6.1 Näite 1 energiatõhususarvu komponendid.

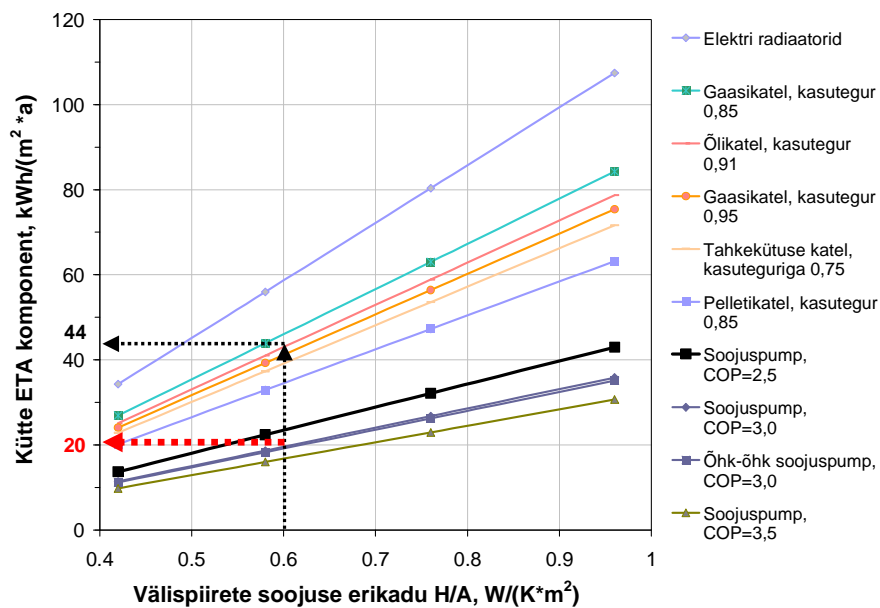
Komponent	ETA, kWh/(m ² a)	Osakaal, %
Ruumide küte	44	31
Vent. soojus	3,4	2
Vent. elekter	18	13
Kütte tsirkulatsioon	1	1
Tarbevee soojendamine	36	26
Valgustus + seadmed	37,2	27
Kokku	140	

Näites toodud väikeelamu vastab energiatõhususe miinimumnõudele (180 kWh/(m²a)), kuid ei vasta madalenergiahoone nõudele, sest energiatõhususarv 140 kWh/(m²a) on suurem.

6.2 Näide 2: mida teha, et näite 1 väikeelamu energiatõhususarv $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

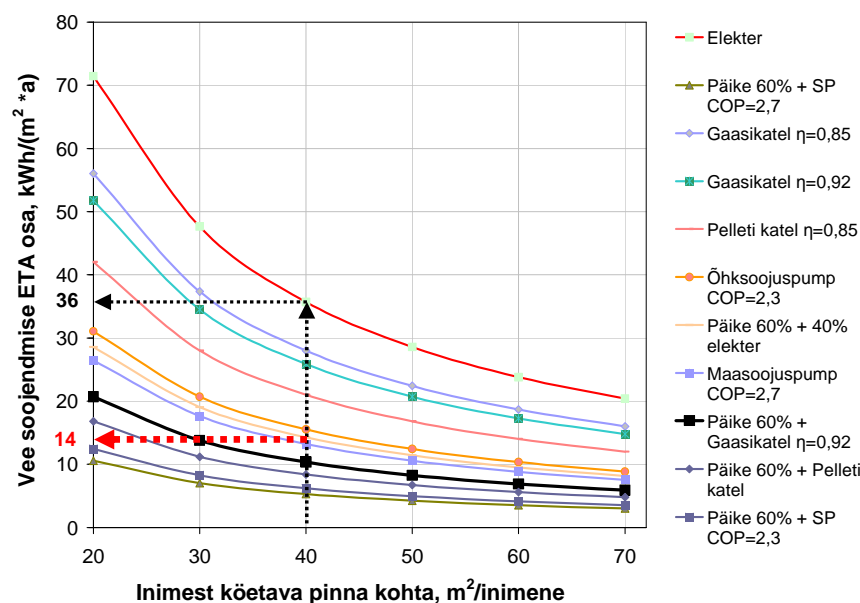
Kui analüüsida näite 1 energiatõhususarvu komponente (vt. Tabel 6.1), siis kõige suurema osakaaluga on tarbevee soojendamine, ruumide kütte ja valgustus ning seadmed. Valgustus ja seadmete energiatõhususe komponent sõltub standardtingimustest ning seda ei ole võimalik vähendada. Küttekomponeent sõltub välispiirete soojuskaost (soojujuhtivus, külmasillad, õhupidavus) ja soojusallikast. Välispiirete soojuserikadu on suhteliselt väike ($0,6 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$) ja esimeses lähenduses võiks jätta hoone välispiirded endiseks ning analüüsida, kui palju võimaldaks soojusallika vahetus vähendada energiatõhususarvu.

Eeldusel, et krundil on maasoojuspumba jaoks piisavalt pinda, võiks kasutada hoone kütte ja sooja tarbevee valmistamiseks maasoojuspumpa.



Joonis 6.5 Näite 2 kütte ETA komponendi vähendamine, asendades õlikatla maasoojuspumbaga (COP = 3,5).

Kütte ETA komponent väheneks võrreldes näitega 1 (vt. Joonis 6.5) $44 - 20 = 24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.



Joonis 6.6 Näite 2 sooja tarbevee ETA komponendi vähendamine, asendades õlikatla maasoojuspumba vastu (COP = 2,7).

Sooja tarbevee ETA komponent väheneks võrreldes näitega 1 (vt. Joonis 6.6):
 $36 - 14 = 22 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$.

Kokku väheneks ETA:

$$24 + 22 = 46 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a}) \text{ võrra}$$

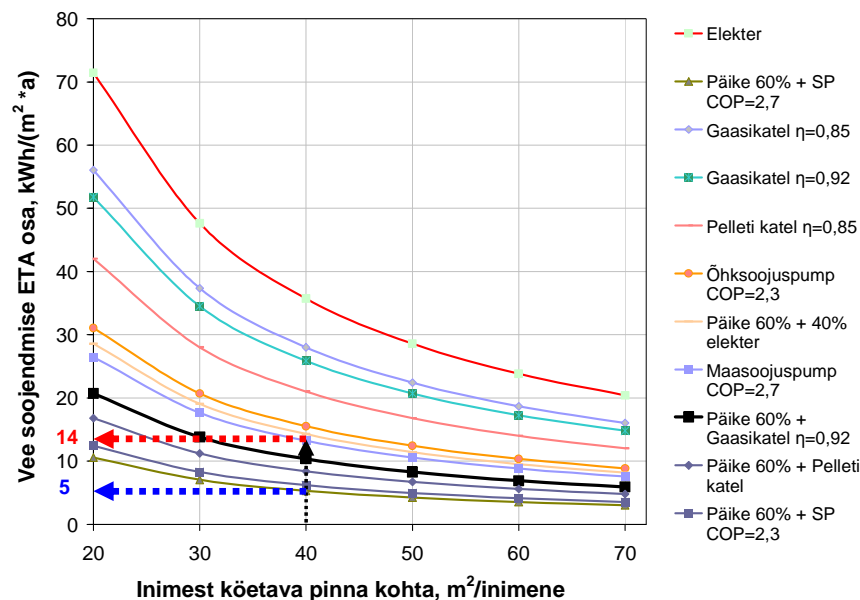
ja näite 2 korral oleks hoone ETA

$$140 - 46 = 94 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$$

Kuna $94 < 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, siis on selliste hoonepiirete ja maasoojuspumba korral on eesmärk täidetud. Lõplike valikutega tehakse energiatõhusus- ja sisekliimaarvutus.

6.3 Näide 3: näites 2 toodud väikeelamu PV-paneelide min. võimsus, et täita energiatõhususarvu kriteeriumi $\text{ETA} \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$

Lisaks näites 2 toodud tingimustele kasutatakse hoones sooja tarbevee valmistamiseks päikesekollektoreid, mis katavad aastasest tarbevee soojusest 60%.



Joonis 6.7 Sooja tarbevee ETA komponendi vähenemine päikesekollektorite kasutamisel.

Tänu päikesekollektoritele väheneb sooja tarbevee ETA komponent (vt. Joonis 6.7)

$$14 - 5 = 9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$$

ETA komponent, arvestades päikesekollektoreid:

$$94 - 7 = 87 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$$

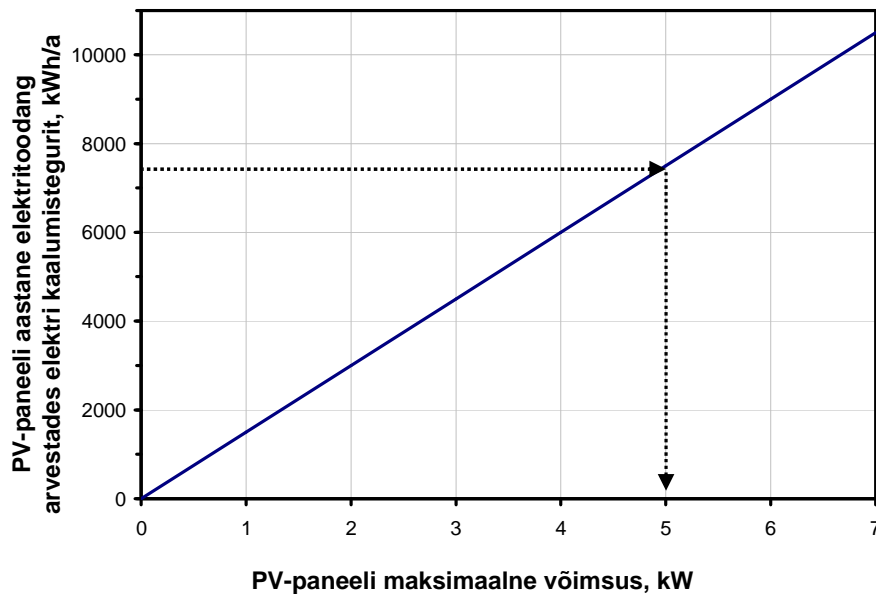
Selleks et täita liginullenergiaväikeelamu tingimust, peaks päikesepaneelidega toodetava energiatõhususarvu komponent aastas vähenema:

$$87 - 50 = 37 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$$

Hoone köetav pind on 200 m^2 ja seega peaksid paneelid, arvestades elektri kaalumistegurit, aastas vähendama nn. primaarenergiat:

$$34 \times 200 = 7400 \text{ kWh}$$

Kasutades graafikuid Joonis 4.7 ja Joonis 6.8, leiame, et vajalik paneeli maksimaalne võimsus peab olema $\geq 5 \text{ kW}$.



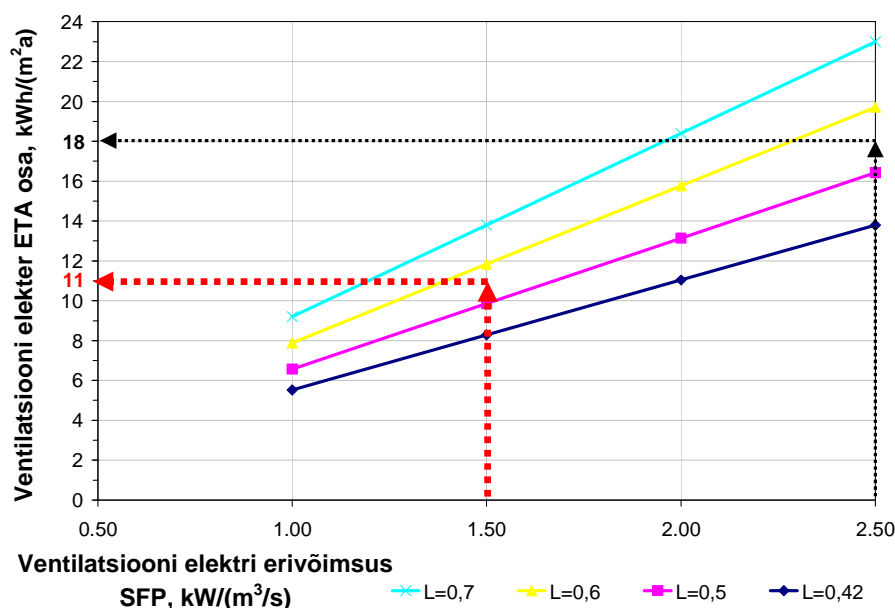
Joonis 6.8 Näite 3 PV-paneelide elektrivõimsuse määramine.

4,6 kW saamiseks on vaja ligikaudu 45 m² lõunasse suunatud ja ca 40-kraadise nurga all paigaldatud paneelide kogupinda. Juhul kui pole võimalik leida PV-paneelide jaoks vajalikku pinda, jääb eesmärk täitmata.

6.4 Näide 4: $ETA \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kriteeriumi täitmine elektri tootmisega väiksema päikesepaneelide arvu puhul

Tegemist on näites 3 toodud eeldustega väikeelamuga, kus pole võimalik paigaldada liginull-energiahoone nõude täitmiseks 5 kW jagu PV-paneele. Analüüsida, millised on võimalused hoone välispiirdeid ja soojusallikat muutmata vähendada hoone elektrikasutust ja täita liginullenergiahoone kriteeriumi.

Vähendades ventilatsiooniseadme elektrivõimsust SFP 1,5 kW/(m³/s), väheneks ETA komponent: 18 – 11 = 7 kWh/(m²·a) võrra.



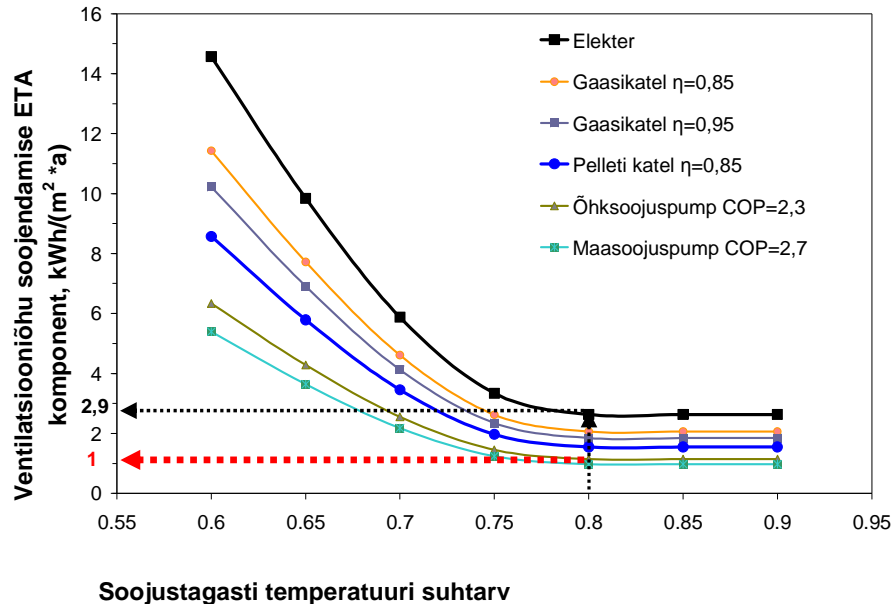
Joonis 6.9 Näite 4 ventilatsioonielektri ETA komponendi vähenemine.

Kasutades ventilatsiooni järelsoojenduseks soojuspumba energiat, väheneks ETA komponent õhuvooluhulga 0,47 l/(s·m²) juures:

$$2,9 - 1 = 1,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Tegeliku õhuvooluhulga 0,55 l/(s·m²) juures väheneks ETA komponent:

$$1,9 \times 0,55 / 0,47 = 2,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$



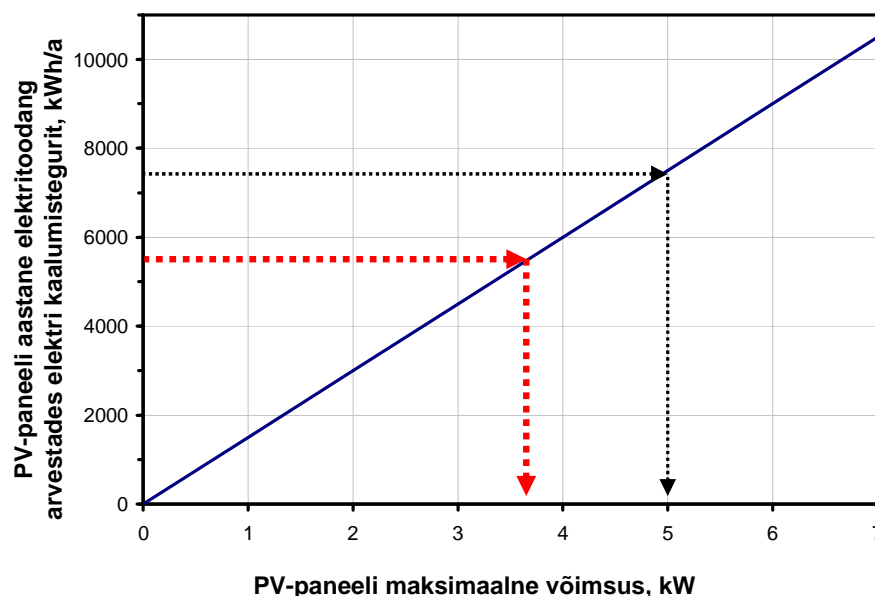
Joonis 6.10 Näite 4 ventilatsiooniõhu soojendamise ETA komponendi vähenemine.

Võrreldes näitega 3 on energiatõhususarv: $87 - 7 - 2,2 \approx 78 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Selleks et täita $ETA \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ tingimust, peaks päikesepaneelidega toodetava energiatõhususarvu komponent vähenema aastas: $78 - 50 = 28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Hoone köetav pind on 200 m². Seega peaksid paneelid, arvestades elektri kaalumistegurit aastas, vähendama nn. primaarenergiat: $28 \times 200 = 5600 \text{ kWh}$.

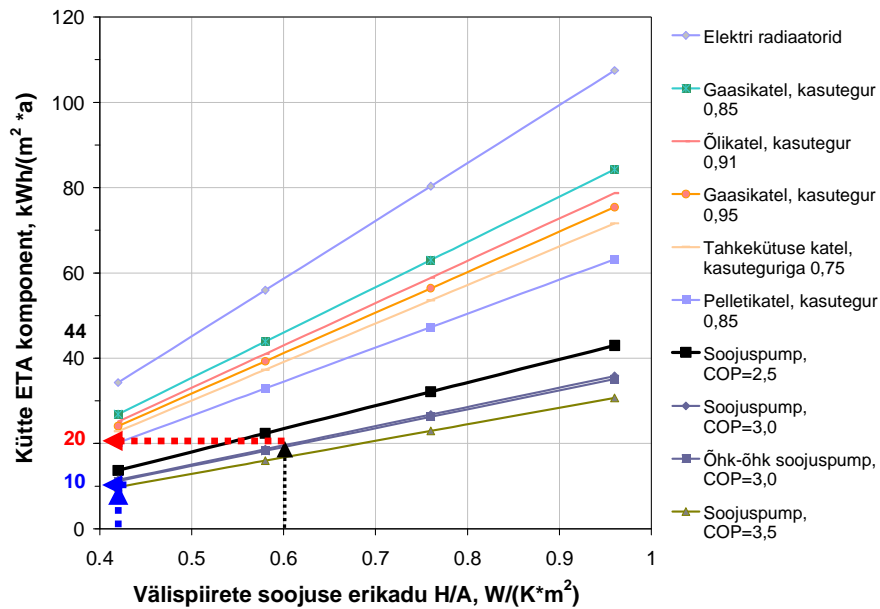
Kasutades graafikuid Joonis 4.7 ja Joonis 6.11, leiame, et vajalik paneeli maksimaalne võimsus peab olema 3,7 kW.



Joonis 6.11 Näite 4 vajalik PV-paneeli võimsuse leidmine.

3,7 kW päiksepaneelide jaoks oleks vaja ligikaudu 25...30 m² paneelide kogupinda.

Juhul kui vaadeldud hoonele pole võimalik paigaldada sellises mahus lõunasuunalisi PV-paneele ega ka tuulegeneraatorit või muid taastuvaid energiaallikaid, tuleb vähendada välispiirete soojuskadu ehk vähendada hoone soojusjuhtivuskadusid, külmasildu ja õhulekkeid. Kui välispiirete summaarne soojuserikadu langetada ≈0,4 W/(m²·K)-le, siis saab vähendada ruumide kütteenergia energiatõhususarvu komponenti ligi poole võrra ja PV-paneelide vajadust ligi kolmandiku võrra (vt. Joonis 6.12).



Joonis 6.12 Hoone välispiirete soojuserikao vähendamine vähendab kütte ETA komponenti.

7 Mõisted

Netonullenergiahoone (*net zero energy building*: ZEB) – hoone, mille energiatõhususarv on 0 kWh/(m²·a) aastases energiabilansis. Netonullenergiahoonesse võidakse tarnida energiat, kuid see kompenseeritakse eksporditud energiaga;

Liginullenergiahoone (*nearly zero energy building*: nZEB): parima võimaliku ehituspraktika energiatõhusus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendustega ratsionaalselt ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m²·a) kuid väikeelamute puhul mitte suurem kui 50 kWh/(m²·a). Liginullenergiahoones kasutatav energia peab olulisel määral pärinema kohapeal või lähiümbruses toodetud taastuvatest energiaallikatest. Liginullenergiahoones vaadeldakse energiabilanssi aasta kui terviku ulatuses ja eeldatakse, et olukorras, kus kohapeal toodetud taastuv elektri ületab väikeelamus tarbitavat energiat, on võimalik ülejääk tarnida (müüa) elektrivõrku;

Madalenergiahoone (*low energy building*): energiatõhus hoone, mille energiatõhususarv väikeelamu puhul on ≤ 120 kWh/(m²·a). Madalenergiahoone energiatõhusus sõltub hoone arhitektuursest lahendusest, piirdetarindite ehitusfüüsikalistest omadustest, tehnosüsteemidest ja energiaallikatest. Üldiselt on madalenergiahoone teostatav liginullenergiahoone lahendustega lokaalse elektri tootmise vajaduseta.

Netoenergiavajadus (kWh/a): sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja elektriseadmete kasutamiseks vajalik energia ilma süsteemikadudeta. Netoenergiavajadus jaguneb:

- ruumide kütteks (vajalik soojus, arvestades välispiirete soojusjuhtivuskadusid, välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevaid soojuskadusid ja ruumi sissepuhutava ventilatsiooniõhu soojenemist ruumitemperatuurini),
- ruumide jahutamiseks,
- ventilatsiooniõhu soojendamiseks,
- tarbevee soojendamiseks,
- valgustuseks, elektriseadmete ja tehnosüsteemide kasutamiseks..

Hoone summaarne energiakasutus (kWh/a): hoone kütmiseks, jahutamiseks, tarbevee soojendamiseks, ventilatsiooniks, valgustuseks, ja elektriseadmete kasutamiseks vajalik tehnosüsteemide soojuse ja elektri kasutus arvestamata lokaalset taastuvenergiat va. soojuspumbad. Hoone summaarne energiakasutus sisaldab kõiki tehnosüsteemide, sh. soojusallikate ja lokaalse tootmise jaotussüsteemide kadusid ja energia muundamist (nt.. soojuspumba soojustegur, külmajaama külmategur, koostootmine, kütuseelement);

Primaarenergia: ühe kilovatt-tunni tarnitud energia tootmiseks vajalik esmane energiahulk taastuvatest ja mittetaastuvatest energiaallikatest, mis sisaldab kõiki energiaallika ammutamise, energia tootmise, ülekande ja jaotamise kadusid;

Tarnitud energia: kilovatt-tundides (kWh/a): aastane elektrivõrkudest hangitud elektri või kaugküttevõrkudest hangitud soojus või kütuste tarnijatelt hangitud kütuste energiasisaldus või energia tootmine kütusepõhise lokaalse tootmise korral, millega kaetakse lokaalsest taastuvenergiast katmata jääv hoone summaarne aastane energiakasutus;

Lokaalne taastuvenergia: hoones või krundil või kinnistuga seotud energiaühistu mõttelises osas päikesest, tuulest, veest, pinnasest või õhust toodetud soojus või elekter. Soojuspumpade puhul võetakse energiaallikast saadud taastuvenergia energiaarvutuses arvesse soojuspumba soojusteguriga;

Tarnitud taastuvenergia: kütuste tarnijatelt hangitud taastuvkütuste energiasisaldus, mida kasutatakse hoones või kinnistuga seotud energiaühistu mõttelises osas. Krundil toodetud taastuvkütus loetakse tarnitud taastuvenergiaks;

Eksporditud energia: hoones või krundil või kinnistuga seotud energiaühistu mõttelises osas toodetud soojus või elekter, mida ei kasutata hoones ja mis eksporditakse energiavõrkudesse;

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

- taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, v.a turvas ja turbabrikett) 0,75;
- kaugküte 0,9;
- vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas) 1,0;
- maagaas 1,0;
- tahked fossiilkütused (kivisüsi jms) 1,0;
- turvas ja turbabrikett 1,0;
- elekter 1,5 (2012 kevadel);

Summaarne tarnitud miinus eksporditud energiatega kaalutud erikasutus: energiakandjate lõikes arvatud tarnitud ja eksporditud energiatega vahede ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa;

Energiatõhususarv $ETA, W/(m^2 \cdot K)$: aastane arvutuslik summaarne tarnitud energia kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju ja millest arvatakse maha krundilt toodetud ja/või eksporditud energia;

Olulise energiakasutusega tehnosüsteemid: energiatõhususarvu arvutamisel arvesse võetavad tehnosüsteemid, milleks on küttesüsteem ja sooja tarbevee süsteem koos soojusallikatega, ventilatsioonisüsteem, jahutussüsteem, valgustuse- ja tarbeelektri süsteem, lokaalselt soojust või elektrit tootvad süsteemid ning muud, energiaarvutuses arvestatavad, süsteemid;

Hoone sisekliima tagamine: ruumide kütmine, jahutamine, ventileerimine valgustamine tagades ruumide siseõhu kvaliteedi, soojusliku mugavuse, valgustuse ja akustika nõuetele vastavuse;

Kõetav pind: sisekliima tagamisega ruumide pind, mille õhu temperatuur kütteperioodil oluliselt ei reageeri välisõhu temperatuuri muutustele;

Hoone standardkasutus: hoone tavapärase kasutus energiatõhususe nõuete tõendamiseks. Standardkasutuse kindlaksmääramisel võetakse arvesse hoone kasutamise otstarvet, välis- ja sisekliimat, hoone ja tehnosüsteemide kasutusaega, vabasoojust ning piirdetarindite lähteandmeid;

Valideeritud tarkvara: sisekliima ja energiaarvutuse tarkvara, mille valideerimiseks on teostatud võrdlusarvutus vastava standardi või meetodika järgi. Käesoleva määruse mõistes aktsepteeritakse valideerimiseks vastavaid Euroopa (EVS-EN), ISO, ASHRAE ja CIBSE standardeid ning IEA BESTEST meetodikat või nendega samaväärseid muude riikide standardeid;

Piirdetarind: ehitise põhiosa või piire, nagu sein, põrand, vahelagi, uks, aken, katus, mis eraldab ruume omavahel, välisõhust või pinnasest;

Soojustus: (ka soojustusmaterjal, soojusisolatsioonimaterjal): materjalikiht piirdetarindis soojuslevi oluliseks tõkestamiseks;

Õhutõke: materjalikiht hoone piirdetarindis, mille peamine ülesanne on takistada õhu liikumist läbi piirdetarindi ja on tähtsaim materjalikiht piirde õhupidavuse tagamisel. Õhutõke võib olla lahendatud eraldi materjalikihiga või olla sama näiteks aurutõkkehikihiga, soojustuskihiga, tuuletõkkega või kandetarindiga. Kuna viimistlust muudetakse hoone kasutusea jooksul mitu korda, ei saa viimistluskiht olla õhutõkkeks. Õhupidavuse tagab õhutõkke piisav õhupidavus ja tema liitekohtade tihedus. Õhutõkke vuugid ja läbiviikude kohad tuleb hoolikalt sulgeda selliselt, et oleks tagatud vajalik õhupidavus. Eelistatavim asukoht õhutõkkele on piirde sisepinnas, sisepinna lähedal enne soojustust või 20–50mm soojustuse sees. Piirde ruumipoolses osas takistab õhutõke kõige paremini niiske siseõhu konvektsiooni piirdesse. Õhutõkke õhuhuvivuse soovituslik piirväärtus on alla $1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa})$;

Tuuletõke: materjalikihi ja selle liitekohtade süsteem piirdetarindis, mille ülesanne on takistada tuulest ja temperatuuride erinevusest tingitud välisõhu liikumist soojustusse ja tagasi. Tuuletõkke õhujuhitus on $<10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$). Tuuletõkke liitekohad, vuugid ja läbiviikude kohad tuleb hoolikalt tihendada selliselt, et oleks tagatud vajalik õhupidavus. Tuuletõkke ei või olla suure veeaurutakistusega. Niiskustehnilise toimivuse poolest on parim väikese soojusjuhtivusega ja veeaurutakistusega tuuletõkkematerjal;

Aurutõke: materjalikihi ja selle liitekohtade süsteem piirdetarindis, ülesanne on takistada liigset veeauru difusiooni tarindisse. Aurutõkke veeaurutakistus sõltub väliskliimast, siseruumide niiskuskooormusest, ruumide kasutusotstarbest ja sisekliimast, piirdematerjalide niiskus- ja soojustehnilistest omadustest, aurutõkke paigalduskohast ja -tingimustest. Vähendamaks niiskusvoogu läbi piirdetarindi ja parandamaks selle niiskusrežiimi, peab piirde sisepind olema välispinnast (sõltuvalt tarindi lahendusest ja materjaliomadustest 5...80 korda) suurema aurutakistusega. Aurutõkke vajalik aurutakistus määratakse kontrollarvutusega. Aurutõkke tuleb paigaldada piirde sellele poolele, kus on suurem veeauru osarõhk (suurem veeauru sisaldus õhus). Eesti kliimas on aurutõkke sobivaks kohaks köetava ruumi sisepinna lähedale enne soojustust või 20–50 mm soojustuse sisse. Aurutõkke liitekohad, vuugid ja läbiviikude kohad tuleb hoolikalt tihendada selliselt, et oleks tagatud vajalik aurutakistus. Kasutades aurutõkke-materjali õhutõkkena (ühtne auru- ja õhutõkke), peavad selle paigaldus ja liitelahendused tagama lisaks aurutihendusele ka õhupidavuse;

Aluskate: materjalikiht, mis paigaldatakse kaldkatustel katusekattematerjali alla vältimaks väikesest soojusinersist (nt. plekk, kivi) või/ja katusekatte ebatihedustest (kivi) põhjustatud veeauru kondensaadi või juhuslikult katusekattest läbi tunginud vee ja lume sattumist soojustuskihti, juhtides vee räästa kaudu välja. Katusekatte ja aluskatte ning aluskatte ja tuuletõkke vahele jääv õhuvähe peab olema välisõhuga tuulutatav (sõltuvalt materjalikihtide aurujuhtivusest). Kui aluskatte veeaurutakistus on väga väike ja aluskate on veepidav, võib kaaluda ka aluskatte paigaldamist vahetult tuuletõkkele. Siiski on see lahendus seotud suuremate riskidega kui tuulutatava aluskatte kasutamine;

Välispiirete summaarne soojuserikadu köetava pinna ruutmeetri kohta H/A , $W/(m^2K)$: hoone köetava pinna ühe ruutmeetri soojuskadu läbi välispiirete, kui temperatuuride erinevus hoone sees ja väljas on üks kraad. Soojuserikadu moodustub summaarselt kõikidest välispiirete soojusjuhtivuskadudest ja välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist) tulenevast soojuskaost;

Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$: hoone välispiirete õhupidavust iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestiga 50 paskali (Pa) rõhkude erinevusel. Hoone keskmine õhulekkearv antakse hoone välispiirete (sh. pinnasele toetuv pörand) ruutmeetri kohta. Välispiirete pindala arvutatakse sisemõõtude põhjal;

Infiltratsioon: õhu tiheduse erinevustest, tuulerõhkudest või ventilatsiooni õhuvooluhulkade erinevusest põhjustatud õhuvool läbi välispiirete õhulekkekohtade;

Soojuserijuhtivus λ , $W/(m \cdot K)$: materjali omadus, mis väljendab soojusvoolu vattides, mis läbib 1 meetri paksuse ja 1 m^2 pinnaga materjalikihi, kui temperatuuride vahe vastastikuste pindade vahel on 1 K. Mitteehtuslikus kasutuses on tarvilusel ka sõnastus „soojusjuhtivustegur“;

Soojustakistus R , $m^2 \cdot K/W$: kindla paksusega ehitustoote või piirdetarindi omadus takistada soojuse voolu läbi toote või elemendi (pinnalt pinnale) statsionaarsetes tingimustes ja on arvutatav valemist: $R = \frac{T_1 - T_2}{q}$, $R = \frac{d}{\lambda}$;

Soojusjuhtivus U , $W/(m^2 \cdot K)$: piirdetarindi omadus, mis iseloomustab soojuse voolu (kitsamalt soojusjuhtivuse teel) läbi piirdetarindi statsionaarsetes tingimustes ja on arvutatav valemist $U = \frac{1}{R}$. Terminid „soojuslähikandetegur“ ja „ U -arv“ ei ole ehituslikes rakendustes korrektsed ja

viitavad lohakale keelekasutusele;

Soojuslähivus (ka soojusjuhtivus) U , $W/(m^2 \cdot K)$: piirdetarindi omadus, mis väljendab soojuse voolu (üldisemas mõttes: soojusjuhtivus + konvektsioon + kiirgus) vattides läbi 1 m^2 pinnaga tarindi, kui temperatuuride vahe erinevate keskkondade vahel on 1 K; arvutatav valemist:

$U = \frac{\Phi}{(T_1 - T_2) \cdot A}$. Terminid „soojusläbikandetegur“ ja „*U*-arv“ ei ole ehituslikes rakendustes korrektsed ja viitavad lohakale keelekasutusele;

Olulise energiatarbega tehnosüsteemide all mõistetakse kütte-, ventilatsiooni-, jahutus-, veevarustus- ja elektrisüsteeme ning hoones või kinnistul paiknevaid energiavarustussüsteeme ning automaatika- ja valgustussüsteeme;

Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ_j , W/(K·m): külmasillast põhjustatud lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad joonkülmasilla pikkuse kohta. Soojusvool läbi joonkülmasilla on statsionaarsetes tingimustes arvutatav: $\Phi = \Psi_j \cdot l_j \cdot (T_1 - T_2)$, W, kus l_j : joonkülmasilla pikkus, m;

Külmasilla punktsoojusjuhtivus χ_p , W/K: külmasillast põhjustatud lisasoojuskadu vattides temperatuuride erinevusel üks kraad punktkülmasilla kohta. Soojusvool läbi punktkülmasilla on statsionaarsetes tingimustes arvutatav valemist: $\Phi = \chi_p \cdot (T_1 - T_2)$, W .