



EESTI-SVEITSIKOOSTOOPROGRAMM  
ESTONIAN-SWISS COOPERATION PROGRAMME

# **Madalenergia- ja liginullenergiahoonete kavandamine**

**Juhend korterelamute projekteerijatele,  
ehitajatele ja tellijale**

Teet Tark  
Targo Kalamees

Tallinn 2012

## Sisukord

<b>1</b>	<b>Eessõna</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Sissejuhatus</b>	<b>4</b>
2.1	Madalenergia- ja liginullenergiakorterelamu	4
2.2	Võrdluskorterelamu	7
2.3	Sisekliima ja energiatõhususe eesmärgid	8
2.4	Energiatõhususe saavutamise tõendamispõhimõte	9
2.5	Energiatõhususarvu leidmise näited	11
<b>3</b>	<b>Piirdetarindite arvutus ja nende mõju hoone energiakulule</b>	<b>14</b>
3.1	Soojusjuhtivuskao piirdetarindite kaudu	14
3.2	Külmasillad	16
3.3	Hoonepiirete õhupidavus	18
3.4	Välispiirete summaarne soojuserikadu	20
<b>4</b>	<b>Tehnosüsteemid ja nende mõju hoone energiakulule ning energiatõhususarvule</b>	<b>21</b>
4.1	Energiaallikad	21
4.2	Ventilatsioon	30
4.3	Küttesüsteem	36
4.4	Jahutus	39
4.5	Valgustuse ja elektriseadmete elektrienergiakasutus	39
4.6	Soe tarbevesi	39
4.7	Küttesüsteemi ringluspumba elektrikasutus	40
<b>5</b>	<b>Vabasoojused, päikesekaitse ja ülekütmise kontroll</b>	<b>41</b>
5.1	Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojus	41
5.2	Klaasi omadused ja vabasoojus päikesest	42
5.3	Tarindite soojuslik massiivsus	43
<b>6</b>	<b>Näited</b>	<b>44</b>
6.1	Näide 1: leida hoone ligikaudne energiatõhususarv	44
6.2	Näide 2: mida teha, et näite 1 hoone vastaks madalenergiahoone tingimustele ( $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )	47
6.3	Näide 3: mida teha, et täita energiatõhususarvu kriteeriumi ( $ETA \leq 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )	47
6.4	Näide 4: Ventilatsioonisüsteemi SFP vähendamine 2,5-lt 1,5-ni	48
<b>7</b>	<b>Mõisted</b>	<b>49</b>

# 1 Eessõna

Kõnesolev 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 korterelamud 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 uurimistöö eesmärgiks oli määratleda Eesti tarbeks liginullenergiahoone ja kuluoptimaalne (ingl. *cost-optimal*) elamu kriteeriumid ning anda suunad madalenergia- ja liginullenergiahoonete projekteerimise algfaasis tehtavate otsuste tegemiseks.

Uurimistöö 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 korterelamuid ja on mõeldud arhitektidele, inseneridele, tellijatele, arendajatele ja teistele energiatarbija korterelamu kavandamisest huvitatud isikutele.

Uuringu ja juhendmaterjali koostamise aluseks võeti nn. võrdluskorterelamu (vt. Joonis 2.5), mille arhitektuurse lahenduse on heaks kiitnud Eesti Arhitektide Liit, ning mis esindaks tänapäevast arhitektuuri ja vastab Eesti tavadele.

Juhendis on esitatud võrdluskorterelamu arvutustulemused graafikute kujul, mida saab kasutada hoone kavandamise algjärgus ka teiste analoogsete hoonete energiatarbimise ja energiatarbimisarvu ligikaudseks hindamiseks.

## 2 Sissejuhatus

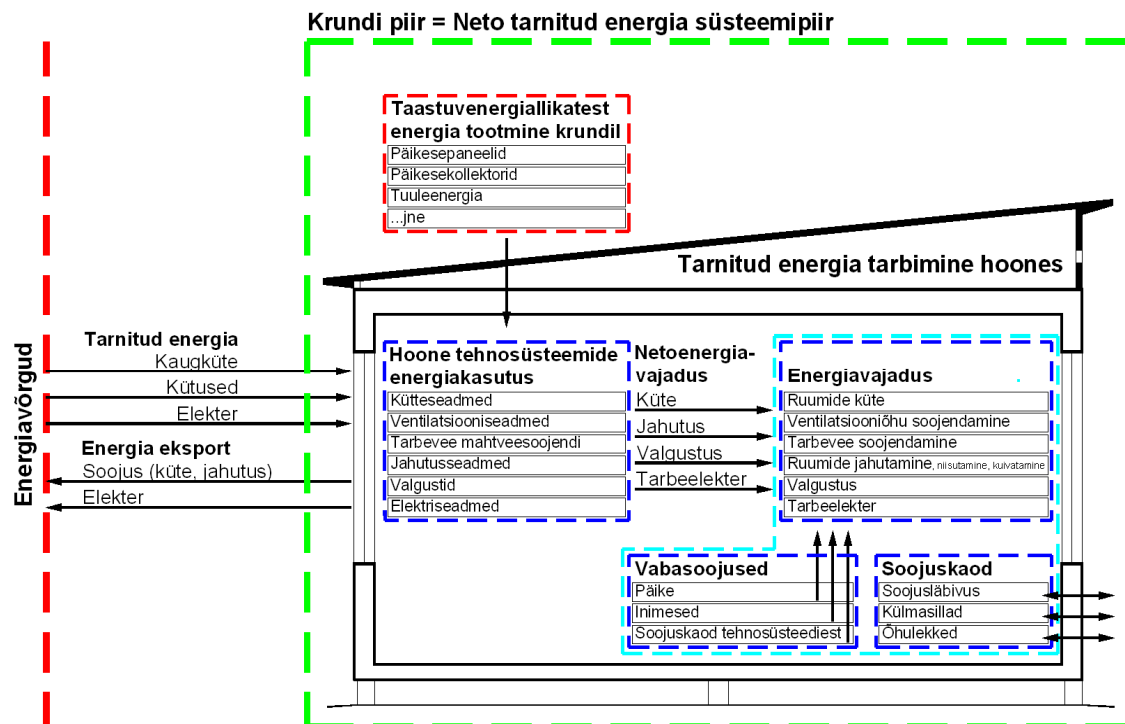
### 2.1 Madalenergia- ja liginullenergiakorterelamu

Nii Eestis kui ka mujal maailmas kasutatakse väga erinevaid nimetusi, millega soovitakse tähistada energiatõhusat hoonet, nagu näiteks passiivmaja, madalenergiahoone, A-klassi hoone, A+++ klassi maja, liginullenergiahoone, nullenergiahoone, plussenergiahoone jne. Erinevad nimetused tekitavad segadust ja tihti ei saa erinevad 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 defineerida mõisted.

See uuring defineerib Eesti tingimuste jaoks järgmised 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 vastavalt Vabariigi Valitsuse 20.12.2007. a. määrusele nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ järgi. Energiatõhususarv  $ETA \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  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. Energiatõhususarvuga seonduvat on põhjalikumalt käsitletud peatükkides 2.4 ja 2.5.



Joonis 2.1 Energiatõhususe mõisted ja komponendid.

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

Liginullenergiahooneks oleva korterelamu energiatõhususarv on väiksem või võrdne  $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ .

**Madalenergiahoone** kavandamisel on vaja tagada, et hoone soojuskaod oleks väikesed, tehnosüsteemid oleksid energiatõhusad ja vabasoojust kasutatakse otstarbekalt. Need komponendid mõjutavad hoonesse tarnitavat energiat kogust. Lisaks sõltub energiatõhusus hoonesse tarnitavate energiakandjate kaalumisteguritest, mis arvestavad keskkonnamõjusid ja tarnitava energiakandja tootmiseks vajalikku primaarenergiat.

Seega madalenergiakorterelamu kavandamisel on vaja jälgida järgmisi aspekte:

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

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

- suure kasuteguriga katel, vt peatükki 4.1.3;
- temperatuuri suure suhtarvuga ventilatsiooni soojustagastus ( $\eta \geq 0,8$ ), vt. pt. 4.2.2;
- ventilatsiooni elektri erivõimsus on väike ( $\leq 1,5 \dots 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ), vt. peatükki 4.2.3;
- sooja tarbevee arvestamisel on eeldatud inimese kohta  $30 \text{ m}^2$  kōetavat pinda;
- hoone arhitektuurse lahendusega on vālditud pole jahutussüsteem vaja.

Tabel 2.1 Orienteeruvad maksimaalsed välispiirete soojuserikao vārtused madalenergiakorterelamu esialgsel kavandamisel.

Soojusallikas	Välispiirete soojuserikadu H/A, W/(m <sup>2</sup> ·K)
Kaugküte	0,35
Gaasi/õlikatel	0,25
Puidupelletikatel	0,4
Õhk-vesi-tüüpi soojuspump	0,6
Maasoojuspump	0,7

Lisaks eelkirjeldatule on **liginullenergiakorterelamu** nõuete tagamiseks vaja toota energiat kohapeal või lähiehitistes taastuvatest allikatest. Kortelamus kõige enam kasutatavate taastuvenergiaallikate kohta leiab informatsiooni peatükkidest 4.1.5 ja 4.1.6.

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

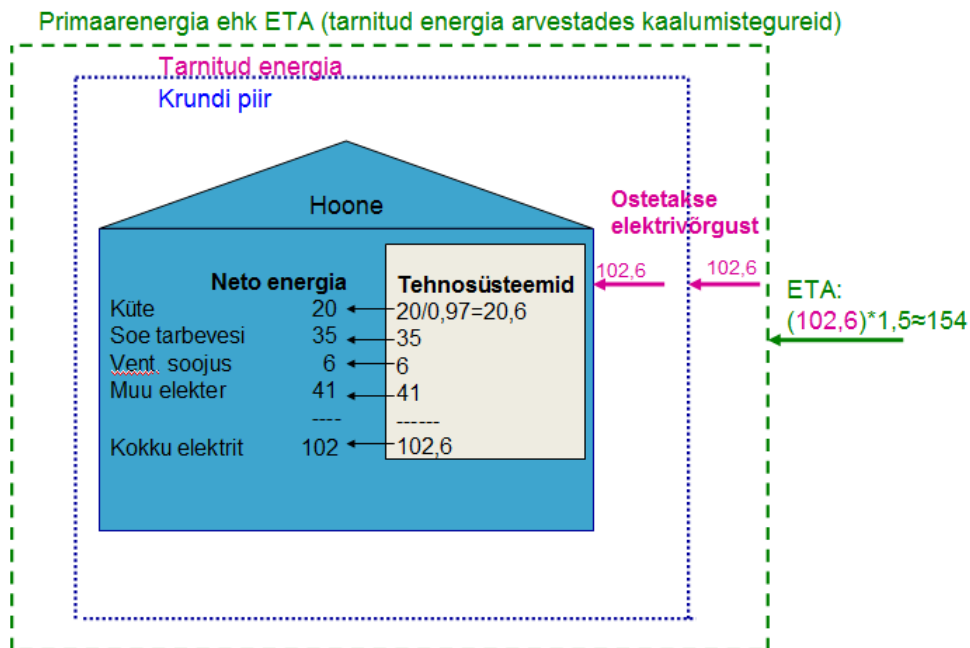
Liginullenergiahoone primaarenergiabilanssi, mis väljendub energiatõhususarvust, käsitletakse aasta arvestuses. Näiteks talvel võib hoone primaarenergiakasutus (kaalumisteguritega läbikõrutatud tarnitud energia) olla suurem kui taastuvatest energiaallikatest toodetud primaarenergiat. Suvel võib olla vastupidi – energiavõrku tarnitakse tagasi tarbitust rohkem primaarenergiat. Liginullenergiahoone primaarenergiabilanss on aasta arvestuses positiivne, st aastane summaarne kaalumisteguritega läbikõrutatud tarnitud energia on toodetust suurem. Energiatõhususarv on vahemikus 0–100 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

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

Vaatleme hoonet, mille küttesüsteemiks on soojuskandjaga, vesi pōrandaküte. Hoone ainukeseks vāliseks energiaallikaks on elektrivõrk. Hoone netoenergiatarbimised on:

küte	20 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
soe tarbevesi	35 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
ventilatsioonisoojus	6 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
muu elekter (valgustus, seadmed, tehnosüsteemid)	41 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Kokku	102 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)

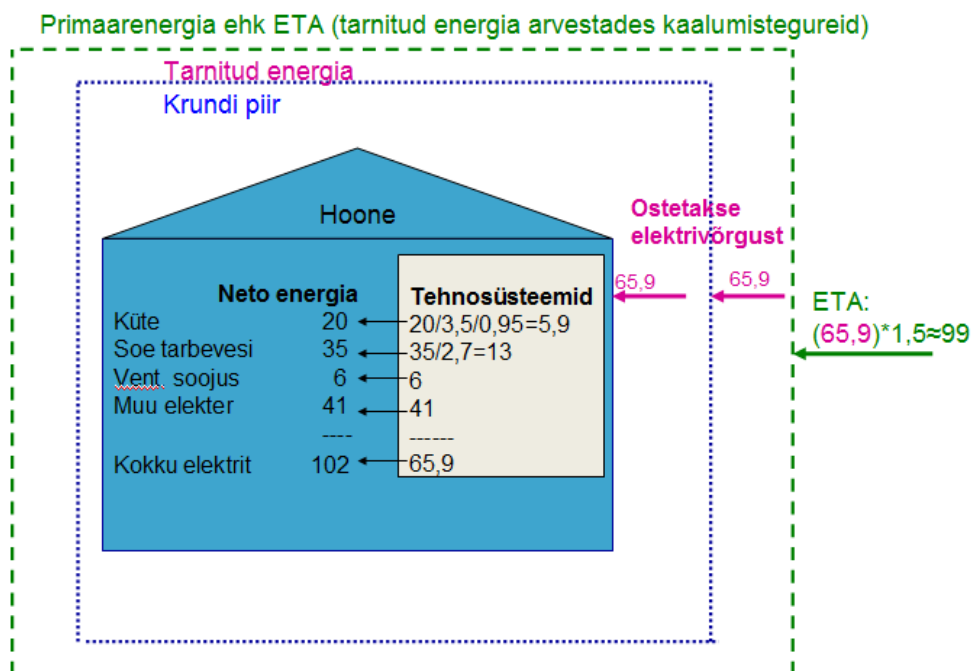
Kui hoones on kütte soojusallikaks elektrikatel ja kui arvestada radiaatorküttesüsteemi kasuteguriks 0,97, tarnitakse hoonesse elektrit kokku 102 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, kujuneks hoone energiatõhusarvaks 154 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (vt Joonis 2.2).



Joonis 2.2 Kütte ja sooja tarbevee soojusallikaks on elektrikatel. Energiaühikuks on kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Elektrikatla korral ei ole täidetud madalenergiakorterelamu kriteerium  $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  ja vaadeldud korterelamu näol ei ole tegemist madalenergiahoonega.

Kui asendada hoones elektrikatel soojuspumbaga, mis toodab soojust kütteks ja sooja tarbevee jaoks, siis arvestades soojuspumba soojustegurit (vt peatükki 4.1.2), oleks vaja tarnida hoonele elektrit 65,9 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, kujuneks hoone energiatõhususarvaks 99 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (vt Joonis 2.3).

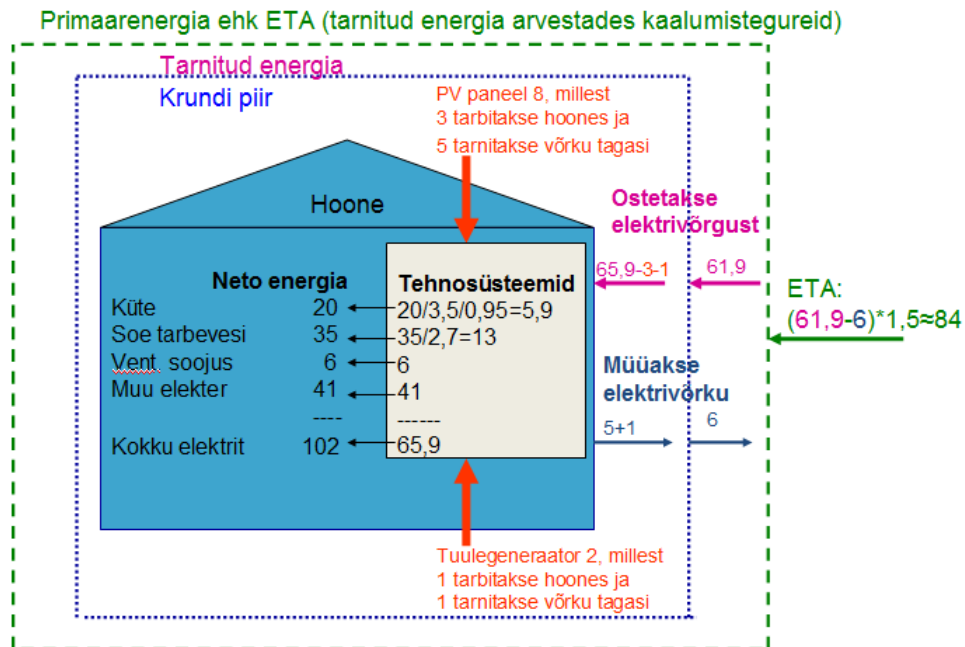


Joonis 2.3 Hoone kütte ja soojatarbevee soojusallikaks on soojuspump.

Kui soojusallikaks on soojuspump, siis on vaadeldud elamu energiatõhususarv väiksem kui 110 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ja hoone vastab madalenergiakorterelamu kriteeriumile.

Kui lisaks soojuspumbale on hoone katusele paigaldatud PV-paneelid, mis toodavad  $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  elektrienergiat, ja krundile tuulegeneraator, mis toodab  $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  elektrienergiat (vt Joonis 2.4), siis tuleks aastas tarnida hoone tarbeks  $61,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  elektrienergiat ja võrku antakse tagasi  $6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Sellisel juhul on tegemist liginullenergiakorterelamuga, sest saavutatav energiatõhususarv  $84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  on väiksem kui liginullenergiakorterelamu kriteeriumiks olev  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .



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

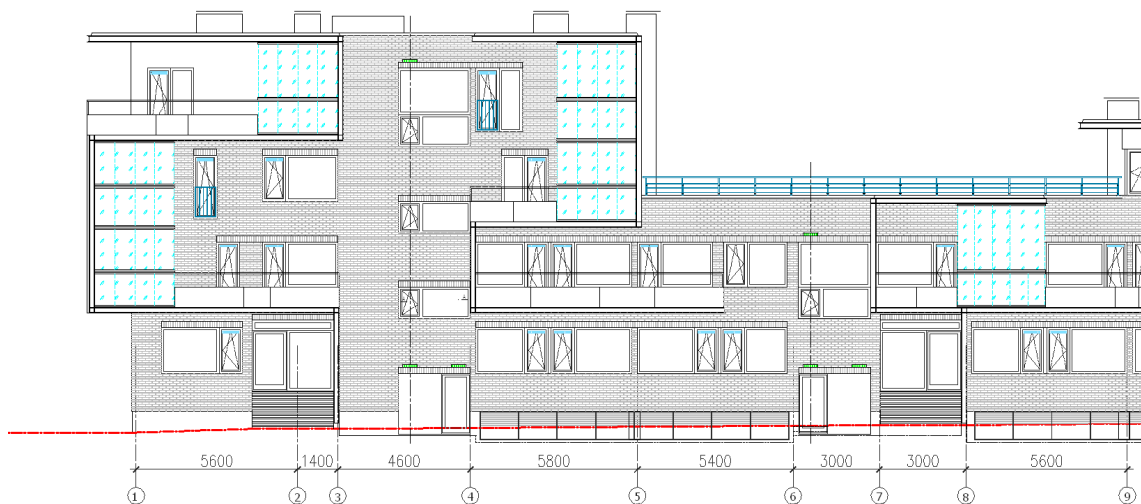
## 2.2 Võrdluskorterelamu

Juhendi koostamisel ja kriteeriumite määramisel võeti aluseks nn. võrdluskorterelamu (vt. Joonis 2.5 Joonis 2.6), mille arhitektuurne lahendus on heaks kiidetud Eesti Arhitektide Liidu poolt, esindab tänapäevast arhitektuuri ja vastab Eesti tavadele. Võrdluskorterelamut iseloomustavad järgmised põhinäitajad:

- korruste arv: 2...4;
- ehitisealune pind:  $1561 \text{ m}^2$ ;
- köetav pind:  $1796 \text{ m}^2$ ;
- akende pind: 79% fassaadide pinnast;
- ventilatsiooni õhuvooluhulk:  $1115 \text{ l/s}$ .



Joonis 2.5 Energiaarvutuste aluseks olnud korterelamu tüüpkorruse plaan kahe sektsiooni ulatuses.



Joonis 2.6 Energiaarvutuste aluseks olnud korterelamu vaade kahe sektsiooni ulatuses.

Energiatõhususe arvutustes ei võeta arvesse kütmata keldrit (garaaž), seda nii pinna kui ka vabasoojuste ja energiatarbimiste osas.

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

### 2.3 Sisekliima ja energiatarbimise eesmärgid

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

Energiat ei tohi säästa sisekliima arvelt, st vaatamata väikesele energiakulule peab olema madala- ja liginullenergiahoones tagatud hea ja tervislik sisekliima.

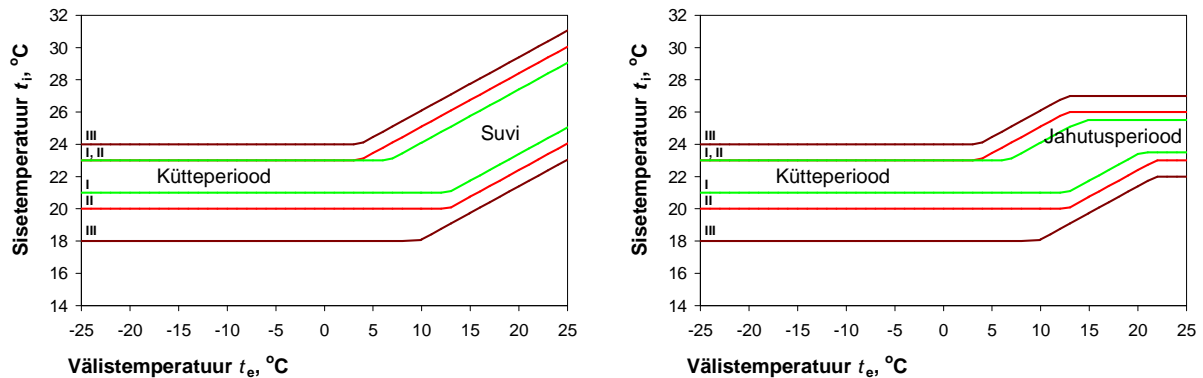
Ruumiõhu puhtuse tagamiseks ja niiskusprobleemide tekke vältimiseks peab hoones toimuma õhuvahetus. Selleks et õhk vahetuks sõltumata välisõhu tingimustest ja liigselt soojust



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 ventilatsioonisüsteem ei tekitaks liigset müra. Tehnoseadmete (vee- ja kanalisatsiooniseadmed, kütte-, ventilatsiooni- ja jahutusseadmed, liftid vms) summaarne helirõhu taotlustase arvutuslikus olukorras on  $L_{pA,eq,T} \leq 25$  dBA.

Soojusliku mugavuse seisukohast loetakse eluruumides sobivaks sisetemperatuuriks talvel +20...+22 °C ja suvisel ajal ei tohiks see tõusta üle +25...+27 °C vt. Joonis 2.7.



Joonis 2.7 Näide elamute sisetemperatuuri muutumisest tööpäeva keskmise välistemperatuuri järgi ilma mehaanilise jahutusega ruumides (vasakul) ja mehaanilise jahutusega ruumides (paremal) (EVS-EN 15251RL).

## 2.4 Energiatõhususe saavutamise tõendamispõhimõte

Sarnaselt tavaliste hoonetega tuleb ka madalenergia- ja liginullenergiahoonete energiatõhususe 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:

- energiatõhususarvuga, 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 (brutoenergia) kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, mis võtab arvesse primaarenergia kasutuse ja selle keskkonnamõju. Tuleb rõhutada, et  $ETA$  käsitleb hoone energiatarbimist summaarsena. Oluline on mitte üksiku tehnosüsteemi energiakasutus, vaid kõigi süsteemide summaarne kasutus. Näiteks kui asendada valgustus vähem elektrit tarvitava vastu, siis väheneb küll elektrienergiakasutus, aga samal ajal suureneb küttekasutus.  $ETA$  ei kajasta neid tarbimisi eraldi, vaid kütte ja elektritarbed liidetakse kokku ning vaadeldakse summaarset tarbimist.

Liginullenergiaorterelamu energiatõhususarvu piirsuurused selle töö kohaselt on (elektri kaalumistegur 1,5 aastal 2012):

- 100  $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$  liginullenergiahoone;
- 120  $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$  madalenergiahoone;
- 150  $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$  uute hoonete energiatõhususe miinimumnõuded ;
- 200  $kW \cdot h/(m^2 \cdot a)$  oluliselt rekonstrueeritavate hoonete energiatõhususe miinimumnõuded

Tulevikus sätestatakse konkreetsed piirsuurused õigusaktidega.

Suviste sisetemperatuuride piirväärtusega välditakse ruumide ülekuumenemist, mida soodustavad suured klaaspinnad ja soojuskoormused. Ruumide ülekuumenemine võib

tähendada seda, et ehitusjärgselt ollakse ruumide kasutamise võimaldamiseks sunnitud paigaldama väheefektiivseid jahutusseadmeid.

Energiatõhususe kriteeriumi vastavust hinnatakse arvutuslikult hoone projektdokumentatsiooni alusel. 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 tarbimisharjumustest. Arvutuste tegemine hoone standardkasutusel tähendab seda, et energiaarvutus tehakse alati määratud ruumitemperatuuride ja ventilatsiooni õhuhulkadega sõltumata 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 välistatakse energia põhjendamatu kokkuhoid sisekliima arvelt. Selline lähenemine aitab vältida olukordi, kus näiteks liginullenergiahoone tõendamiseks üritatakse esitada arvutused, kus on kasutatud külmal perioodil 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, mille tagajärjel on ka sellele vastav energiatõhususarv oluliselt suurem ning hoone ei vasta 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 soojusbilansi tasakaaluvõrrandid) ja lihtsustatud, statsionaarseteks arvutusmeetoditeks (kuude kaupa arvutus või arvutus kraadpäevade järgi

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 korterelamus 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 otsustamisel lähtuda ka kasutades hoonepiirete summaarsest soojuserikaost ja kõnesolevas juhendis toodud graafikutest.

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

## 2.5 Energiatõhususarvu leidmise näited

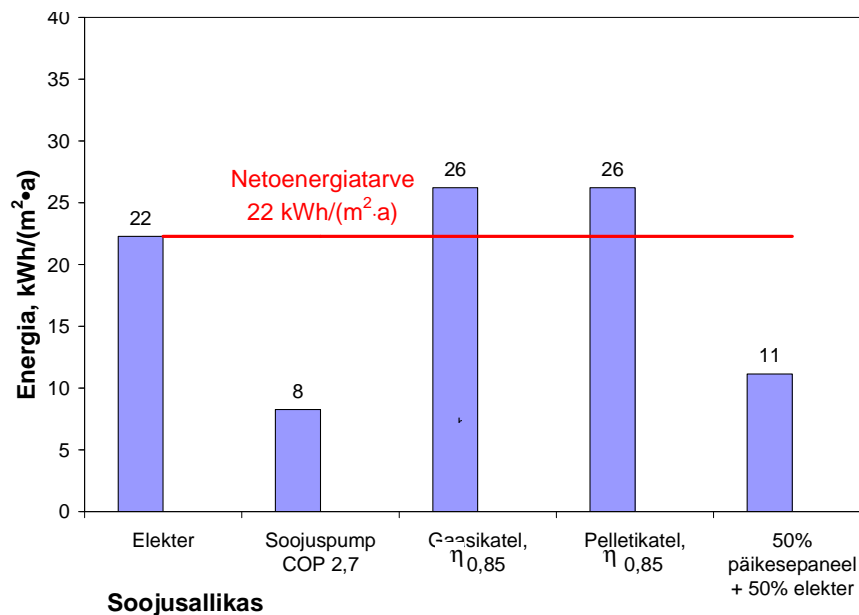
### Näide 2.1

Hoone sooja tarbevee netoenergia on 38110 kWh/a ja kõetav pindala 1710 m<sup>2</sup> (22,3 kWh/(m<sup>2</sup>·a)). Kui palju kulub energiat sooja tarbevee kõetava pinna m<sup>2</sup> 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 2.8):

- otsene elekterküte: kui kadusid ei ole, siis elektrienergia hulk, mida tarniti hoonesse soojavee valmistamiseks, võrdub netoenergiaga st.  $38110 \text{ kWh/a} / 1710 \text{ m}^2 = 22,3 \text{ kWh/(m}^2\text{·a)}$ ;
- soojuspumba korral tarbitakse tarbevee soojendamiseks soojusteguri väärtuse (COP) korda vähem elektrienergiat e.  $38110 \text{ kWh/a} / 1710 \text{ m}^2 / 2,7 = 8,3 \text{ kWh/(m}^2\text{·a)}$ ;
- keskküttekatla korral tarbitakse tarbevee soojendamiseks katla kasuteguri korda rohkem energiat (gaasi või puidupelleteid) e.  $38110 \text{ kWh/a} / 1710 \text{ m}^2 / 0,85 = 26,2 \text{ kWh/(m}^2\text{·a)}$ ;
- päikeseenergia saadi kätte peaaegu ilma täiendavate energiakuludeta (tegelikkuses lisandub ringluspumpade elektrikulu) ja brutoenergia (elektrienergia, mida tarniti soojavee valmistamiseks on 50 % netoenergiast)  
e.  $0,5 \times 38110 \text{ kWh/a} / 1710 \text{ m}^2 / 0,85 = 11,2 \text{ kWh/(m}^2\text{·a)}$ .



Joonis 2.8 Näide sooja tarbevee brutoenergia (sinised tulbad) kujunemisest soojusallika järgi.

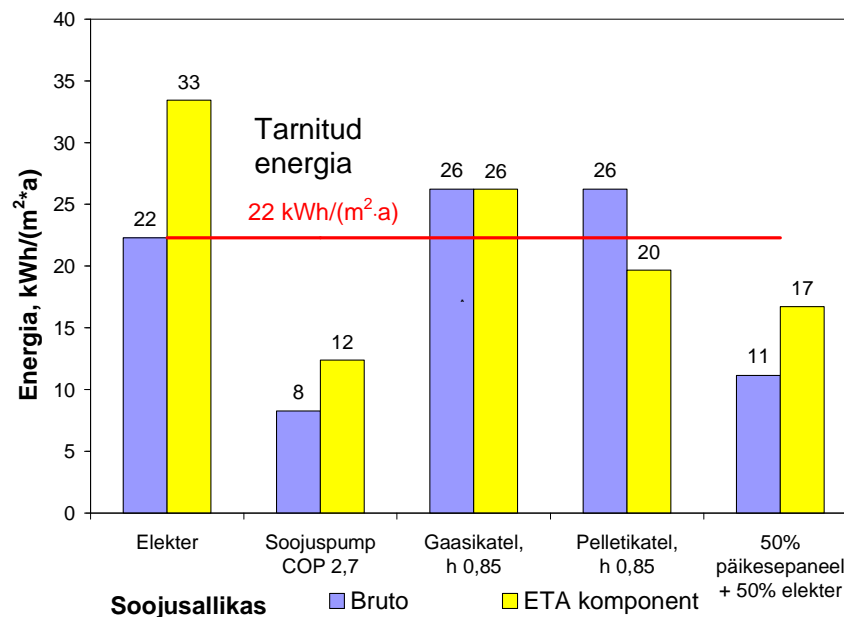
Energia saamisviisi järgi võib tarnitud energia oluliselt erineda netoenergiast, olla netoenergiast väiksem või suurem.

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

## Näide 2.2

Milline on eelmise näite korral sooja tarvevee komponent energiatõhususarvus (vt. Joonis 2.9):

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



Joonis 2.9 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 kätava pinna ruutmeetri kohta on järgmised:

- küte  $37,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- ventilatsioon  $5,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- jahutus  $10,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- tarvevee soojendamine  $22,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- tehnoseadmete elekter  $10,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- valgustus  $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,
- elektriseadmed  $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ .

Leida energiatõhususarv kui kütte, ventilatsiooni ja tarvevee 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, tarvevee soojendamisel 2,7 ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks on soojustegur 2,8.

Pörandakütte korral sõltub küttesüsteemi kasutegur I korruse pörandakonstruktsioonist ja selle soojustakistusest (teemat on põhjalikumalt käsitletud peatükis 4.3.2) ning I korruse soojus-

kadude 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 <sup>2</sup> a)	Soojus/jahutustegur ja kasutegur	Tarnitud energia, kWh/(m <sup>2</sup> a)	Kaalumis- tegur	Energiatõhususarv, kWh/(m <sup>2</sup> a)
Küte	37,3	$0,95 \times 3,5 = 3,325$	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		<b>88</b>

### 3 Piirdetarindite arvutus ja nende mõju hoone energiakulule

Madalenergiahoone kavandamisel on vaja tagada, et hoone soojuskadud oleks väikesed, tehnosüsteemid oleksid 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

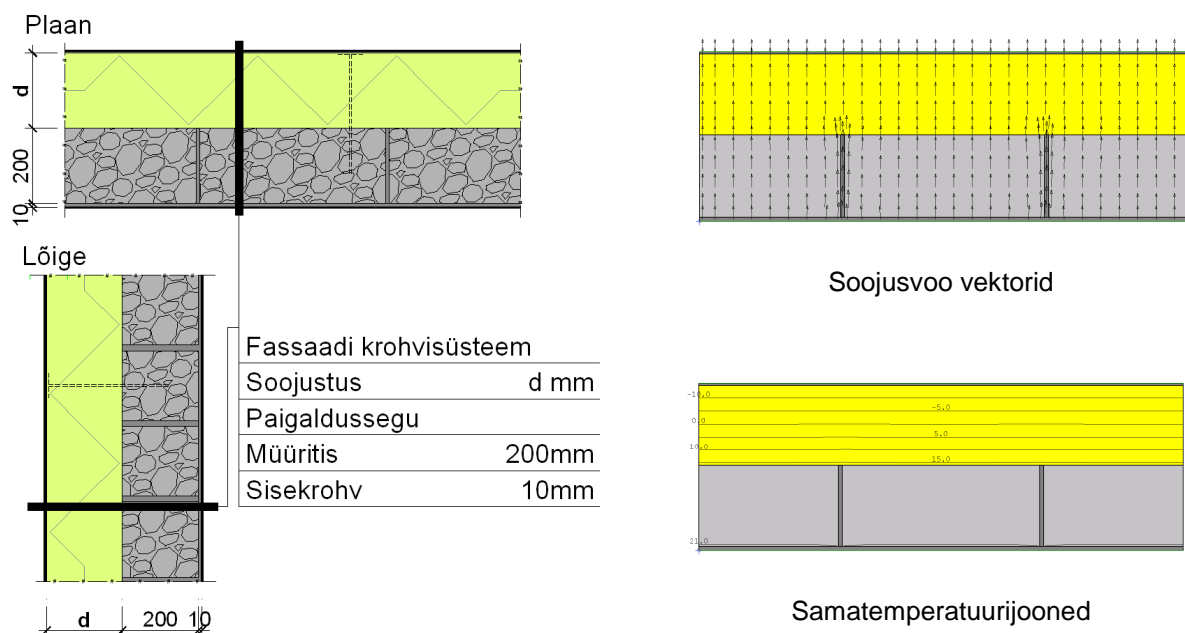
Soojusjuhtivuskaod piirdetarindite kaudu on üks kõige rohkem hoone energiakulu mõjutavaid tegureid. Seetõttu on oluline vähendada soojuskadusid piirdetarindite kaudu.

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.

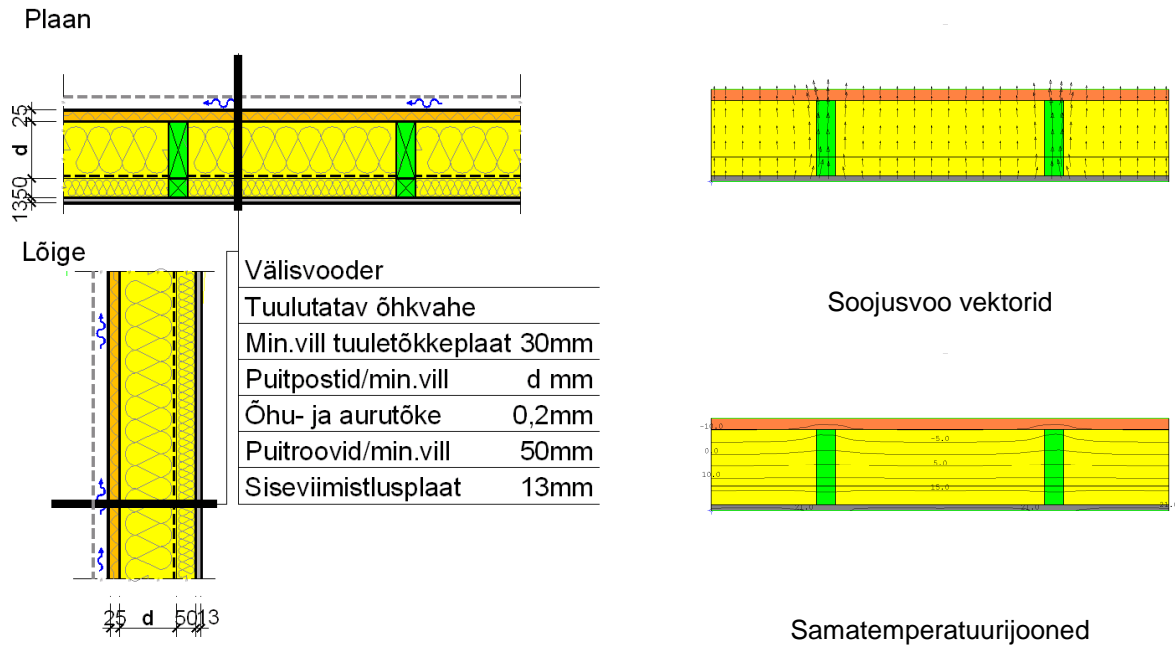
Piirete soojusjuhtivuse arvutusmeetodi põhimõtted on järgmised:

- 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 mõju ja külmasildade mõju.

Soojusjuhtivuse arvutamisel tuleb arvestada tarindi soojuslikku homogeensust. Joonisel 3.1 on soojuslikult homogeensetest kihtidest piirdetarind (vt. Joonis 3.1), mille 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 homogeenestest 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 homogeenestest 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 homogeenese materjalikihi arvutuslik soojustakistus arvutatakse:

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

kus:

$d$  materjalikihi paksus m;

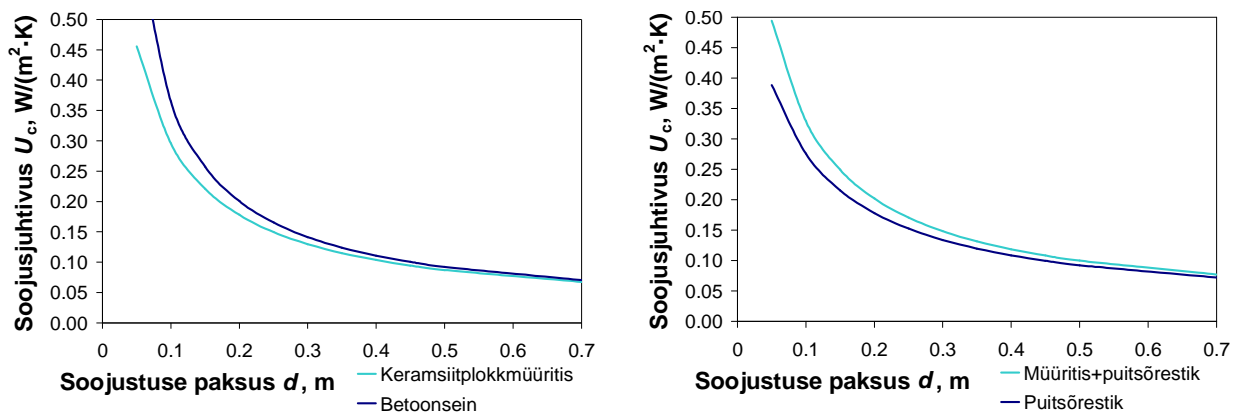
$\lambda_d$  arvutuslik soojuseri juhtivus  $W/(m \cdot K)$ , arvestab soojustuse paigalduskeskkonna mõjusid ja selle võib esitada tootja või peab arvutama projekteerija standardi EVS-EN ISO 10456 järgi.

Tabel 3.1 Piirdepindade soojustakistused piirdetarindi soojusjuhtivuse arvutamisel.

	Soojusvoolu suund		
	Üles (lagi)	Horizontaalne (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 suurust, arvestades soojustuses olevaid tühimikke, soojustuskihti läbivaid kinniteid, pööratud katusel sademete mõju ja õhu liikumist soojustuses. Kui on tegemist mittehomoogeense tarindiga, siis ei tohi seda mingil juhul arvutada homogeensena. 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.

### 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 ehituskonstruktiiivsest lahendusest (näiteks tarindite liitekohad, soojustusest läbiviigud 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, vead 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. Veeaur 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) soojuskaod arvutatakse välispiirdeosa soojusjuhtivuse ja sisemõõtudega arvutatud pindalade järgi, tuleb külmasildadest tingitud lisasoojuskaod võtta eraldi arvesse külmasildade joonsoojusjuhtivusega. Külmasilla soojusjuhtivus on soojuskadu vattides külmasilla kaudu, kui temperatuuride erinevus on üks



kraad. 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 temperatuuriindeks  $f_{Rsi}$ :

$$f_{Rsi} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T} \quad (3.1)$$

kus:

- $f_{Rsi}$  temperatuuriindeks, -;
- $t_{si}$  sisepinnatemperatuur, °C;
- $t_i$  siseõhu temperatuur, °C;
- $t_e$  välisõhu temperatuur, °C;
- $R_T$  piirdetarindi kogusoojustakistus, m<sup>2</sup>·K/W;
- $R_{si}$  piirdetarindi sisepinna soojustakistus, m<sup>2</sup>·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 välja arvutada ning seejärel saab temperatuuriindeksi abil hinnata külmasilla kriitilisust.

Külmasilla mõju hoone energiakulule võetakse arvesse külmasilla soojusjuhtivuste abil:

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

Hoone soojuskadude arvutusmeetodi järgi võib külmasilla soojusjuhtivus e määramisel lähtuda tarindi:

- 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  $\Psi$  väärtused valemi 3.4 põhjal:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j, \text{ W/(m·K)} \quad (3.4)$$

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 kahemõotmelise temperatuurivälja arvutuste põhjal,  $W/(m \cdot K)$ ;

$U_j$  on kahte vaadeldavat keskkonda eraldava tarindi soojusjuhtivus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

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

Standardis EVS-EN ISO 14683 on esitatud 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 sisemõõtude alusel.

Tarindite liitekohtades saavad olla nii geomeetrilised 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;
- põranda 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.

Akna varjestustegur on väiksem, kui aken paikneb sein välispinna lähedal. Samas võib siis tekkida akna ja välisseina liitekohta suur külmasild. Akna ja välisseina liitekohta külmasilla mõju on väiksem, kui aken paikneb tuuletõkke sisepinnas või sein keskkeljel. Kui aken paikneb sein välispinna lähedal, on külmasillast põhjustatud soojuskadu suurim ja temperatuurindeks on väiksem.

### 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. 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 tubadesse sissepuhutav õhk soojendatakse väljatõmbeõhu soojusega. Kui piirded ei ole õhupidavad, siis vahetub suur osa õhku soojustagastit läbimata. See põhjustab suuremat energiakulu ja vähendab soojustagasti positiivset mõju. 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.

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  $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ), mis näitab õhuvoolu hulka ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), mis läbib  $1 \text{ m}^2$  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  $1/\text{h}$  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 „Energia- ja soojusenergiatõhususe miinimumnõuded“ järgi tuleb energiatõhususe arvutustes kasutada õhulekkearvu baasväärtust, mis on uue korterelamu korral  $3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Madalenergia- ja liginullenergiahoonete energiatõhususe saavutamine eeldab suurema tähelepanu pööramist hoonepiirete õhupidamise tagamisele. Tavapärase hoone õhupidavusega on madalenergia- ja liginullenergiahoonete energiatõhususe 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.

Õhupidavuse uuringud näitavad, et enamiku hoonetüüpide ja tarindilahendustega on võimalik saavutada head õhupidavust. Samas võib aga sama hoonetüübi ja konstruktsiooni juures õhupidavuse tulemuste hajuvus 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 kasutajate jaoks (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.

### 3.4 Välispiirete summaarne soojuserikadu

Hoone välispiirete soojuspidavust iseloomustab kõige paremini soojuserikadu köetava pinna kohta. Hoone välispiirete summaarse soojuserikao köetava pinna ruutmeetri kohta  $H/A$ ,  $W/K$  saab arvutada valemi 3.5 abil:

$$\Sigma H / A_{k\ddot{o}etav} = \frac{\Sigma U_i \cdot A_i + \Sigma \Psi_j \cdot l_j + \Sigma \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf}}{A_{k\ddot{o}etav}}, W/(K \cdot m^2) \quad 3.5$$

$U_i$  tarindi soojusjuhtivus,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$A_i$  tarindiosa pindala,  $m^2$ ;

$\Psi_j$  külmasilla joonsoojusjuhtivus,  $W/(m \cdot K)$ ;

$l_j$  joonkülmasilla pikkus,  $m$ ;

$\chi_p$  külmasilla punktsoojusjuhtivus,  $W/(m \cdot K)$ ;

$l_j$  punktkülmasildade arv,  $m$ ;

$\dot{V}_{inf}$  infiltratsiooni õhuvooluhulk  $\dot{V} = \frac{q_{50} \cdot A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}irded}}{3600 \cdot x}$ ,  $m^3/s$

$q_{50}$ : õhulekkearv,  $m^3/(h \cdot m^2)$ ,  $A_{v\ddot{a}lisp\ddot{a}irded}$ : siseruumi väliskeskkonnast eraldavate piirdetarindite (põrand, katus, seinad aknad ukсед jne.) pindala,  $m^2$ .

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

$\rho_a$  õhutihedus,  $1,2 \text{ kg}/m^3$ ;

$c_a$  õhu erisoojus,  $1005 \text{ J}/(\text{kg} \cdot K)$ ;

$A_{k\ddot{o}etav}$  köetavate ruumide netopind,  $m^2$ .

Hoone välispiirete soojuserikadu on praktiliselt lineaarses sõltuvuses soojus netovajadusega.

## 4 Tehnosüsteemid ja nende mõju hoone energiakulule ning energiatõhususarvule

### 4.1 Energiaallikad

Tänapäeva korterelamute levinuimad soojusallikad:

- kaugküte
- soojuspump,
- keskküttekatel,
- taastuvad energiaallikad.

#### 4.1.1 Kaugküte

Kaugküte on korterelamutele levinuim soojusallikas. Soojust toodetakse piirkonna katlamajas, kust soojusvõrgu kaudu transporditakse soojuskandjat, vett tarbijatele. Ühe piirkonna kaugküttevõrku võib olla ühendatud sadu ja tuhandeid hooneid. Kaugküttesüsteemide olemasolu loob võimaluse soojuse- ja elektri koostootmiseks, mis on oluliselt vähem energiamahukam kui kütuste baasil elektri ja soojuse eraldi tootmine. Kaugkütte kaalumistegur on 0,9, mis annab energiatõhususarvu osas eelise võrreldes korterelamu keskküttekatlas mittetaastuvatest kütustest toodetud soojusega.

Korterelamu ühendatakse kaugküttevõrguga hoones paikneva soojussõlme kaudu, kus toimub hoone küttesüsteemi jaoks ettenähtud temperatuuridega soojuskandja ja sooja tarbevee valmistamine. Sõltumatu ühendusskeemi korral, mis on levinuim ühendusviis, on kaugküttevõrgu vesi eraldatud hoone küttesüsteemist soojusvahetiga.

Oluline on soojussõlme automaatika toimimine: küttesüsteemi mineva vee temperatuuri reguleerimine olenevalt välisõhu temperatuurist ja sooja tarbevee temperatuuri reguleerimine.

#### 4.1.2 Soojuspump

Soojuspumba abil on võimalik ümbritsevast keskkonnast ammutada madalamatemperatuurilist energiat ja saada sellest kõrgematemperatuurilist soojuskandjat. Keskkonnast äravõetavat soojust saab kasutada hoone kütmiseks, sooja tarbevee valmistamiseks ja ventilatsiooniõhu soojendamiseks. Energiat võib ammutada maast, veekogust, välisõhust, ventilatsiooni heitõhust jm.

Näiteks võib temperatuuriga  $-10^{\circ}\text{C}$  välisõhust toota sooja vett temperatuuriga  $+50^{\circ}\text{C}$  ja kuumemat. Soojuspumba näol ei ole tegemist igiliikuriga ja oma tööks vajab pump elektrienergiat. Soojuspumba töö efektiivsust iseloomustab soojustegur, mis näitab, kui palju saab elektrienergia ühest ühikust soojust. Näiteks kui soojuspumba soojustegur on 3, tähendab see, et 3 kWh soojus saamiseks kulub 1 kWh elektrienergiat 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  $+45\dots+50^{\circ}\text{C}$ ) küttevett, kuna selleks kulub liiga palju elektrit.

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

Tabel 4.1 Levinuim soojuspumpade liigitus

Soojuspumba liik	Keskond, 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	

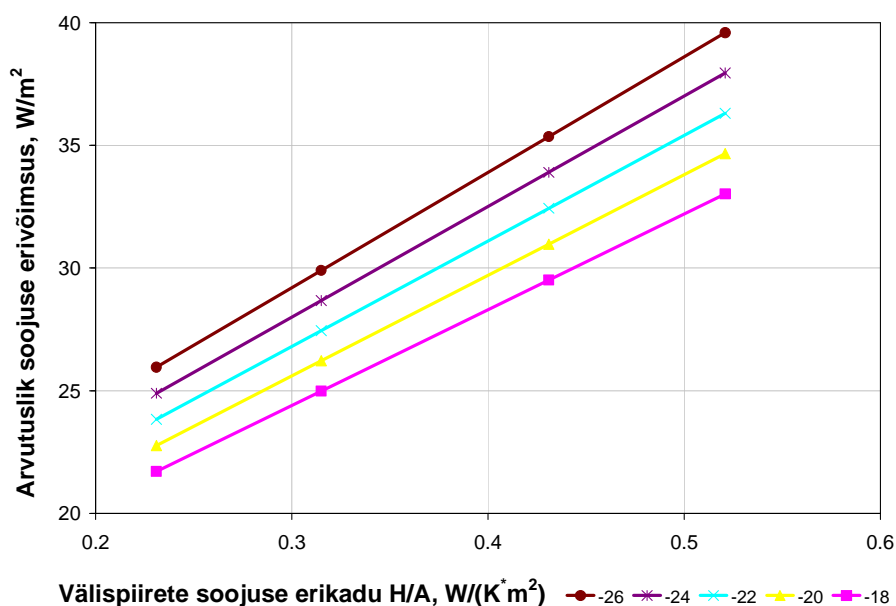
Näiteks kui väliskeskkonnaks, millest soojust saadakse, on välisõhk ja soojuspump toodab põrandaküttesüsteemi tarbeks soojuskandjat, vett, on tegemist õhk-vesi-tüüpi soojuspumbaga.

### 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. Üldjuhul valmistatakse kollektorid plasttorudest läbimõelduga 40 mm ja paigaldatakse ca 1 m sügavusele. Torustike vahekaugus on 1...1,2 m. Maapinnast saadav soojushulk ja võimsus sõltuvad maapinna soojustehnilistest parameetritest. Ligikaudu võiks arvestada, et 1 kW installeeritud soojusvõimsuse tarbeks on vaja horisontaalse kollektori jaoks ca 60...90 m<sup>2</sup> maapinda.

Näiteks 50 kW võimsuse korral peab horisontaalse kollektori paigaldamiseks olema krundil vähemalt 3000...4500 m<sup>2</sup> vaba pinda. Kollektorit ei ole soovitatav paigaldada sademevett mitte läbilaskvate pindade (näiteks asfaltkattega pind) alla.

Järgneva graafiku (Joonis 4.1) abil saab ligikaudselt määrata korterelamu soojuserivõimsuse köetava pinna m<sup>2</sup> kohta. Erivõimsus sisaldab kütet, ventilatsiooni ja mahtsoojusvaheti lahendusega sooja tarbevett.



Joonis 4.1 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 Arvutuslikud välistemperatuurid 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 korterelamu köetav pind on 2000 m<sup>2</sup>, välispiirete soojuserikadu on 0,35 W/(K·m<sup>2</sup>) ja hoone paikneb Tallinnas, on ligikaudne soojusvõimsus: 2000 × 29 = 58 000 W = 58 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 seni olnud keskkonnakaitse ametkondade vastuseisu 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 korterelamu 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. Madalenergiakorterelamus ja liginullenergiakorterelamus 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. 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.

Teine tüüp kasutab nn passiivseid väliseid soojusvaheteid, kus puudub ventilaator. Nende välise soojusvahetite 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, siis saab neid kasutada olukordades, kus krundil pole piisavalt pinda maakollektorite paigaldamiseks.

Õhksoojuspumbad võivad olla nii õhk-õhk- kui õhk-vesi-tüüpi. Õhk-õhk-tüüpi soojuspumba korral on ruumi(de)s soojusvahetiga puhurid, mis puhuvad ruumi sooja õhku. Tänapäevaseid õhk-õhk-tüüpi soojuspumpasid saab kasutada suvel ruumide jahutamiseks.

Madala- ja liginullenergiakorterelamutes eelistatakse õhk-vesi-tüüpi soojuspumpasid, mis valmistavad soojuskandjat, vett, mida saab kasutada sooja tarbevee valmistamiseks, kütteks ja ventilatsiooniõhu järelsoojendamiseks.

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 °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, tuleb kasutada määruse 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. Sõltuvalt tootjast võib madalaim välisõhutemperatuur olla  $-15...-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Seetõttu on vaja õhksoojuspumba korral 100%st muu kütteviisi (näiteks elekterküte) olemasolu. Majanduslikult ei ole otstarbekas õhksoojuspumba valikul lähtuda arvutuslikust küttevõimsusest (Joonis 4.1), vaid sellest väiksemast. Tavaliselt peaks õhksoojuspump tagama vajaliku soojusvõimsuse kuni välisõhu temperatuurini  $-5...-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Sellest temperatuurivahemikust külmemate ilmade korral on alati vajalik lisaküte.

### 4.1.3 Keskküttekatalad

Üheks korterelamu soojuse tootmisviisiks on oma keskküttekatel. Keskküttekatel peaks üldjuhul paiknema spetsiaalses katlaruumis (väikeste gaasikatelde puhul pole vajalik). Väikesed gaasikatalad võivad paikneda korterites. Suitsugaaside eemaldamiseks katla põlemiskoldest peab olema ehitatud korsten. Levinuimad kütused korterelamute puhul on halupuit, puidupelletid, gaas ja kergkütteõli. Katla koldetüüp ja kasutegur sõltuvad kütusest. Puidu, pelletite ja kergkütteõli korral on vaja lisaruumi/pinda kütuste hoiustamiseks.

Halupuitu ja puidupelleteid loetakse taastuvateks kütusteks ning nende puhul rakendatakse energiatõhususarvu määramisel kaalumistegurit 0,75, 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.

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 väärtustest.

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

Soojusallikas	Kasutegur	
	Ruumide küte 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



#### 4.1.4 Elekterküte

Soojuse saamiseks on võimalik kasutada otseelekterkütet või elektrikatlaid.

Otseelekterkütte korral köetakse hoonet vahetult ruumides paiknevate elekterküttekehadega (nn. elektriradiaatorid). 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 madalenergiakorterelamule nõutele vastavat energiatõhususarvu.

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

#### 4.1.5 Päike

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

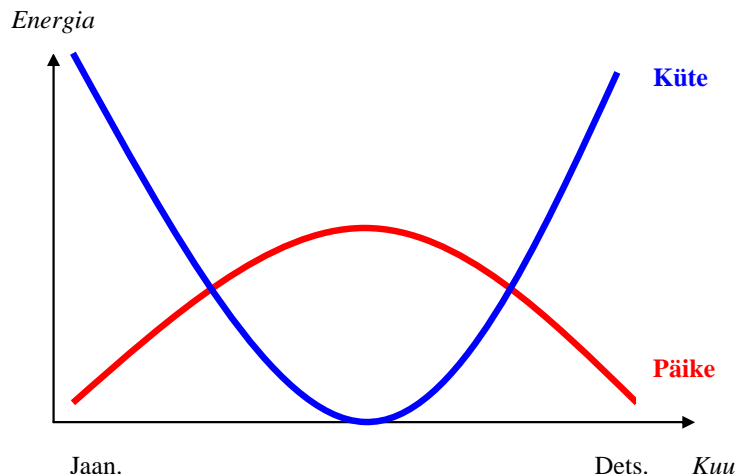
- läbi akende ruumi tulev päikeseenergia (vabasoojus) kütab kütteperioodil ruume;
- päikesekollektorid, mis toodavad soojust;
- päikesepaneelid, mis toodavad elektrit ehk nn. PV-paneelid.

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

##### Päikesekollektorid

Soojust tootvad päikesekollektorid jagunevad lame- ja vaakumpaneelideks. Korterelamute soojusvarustuseks võib kasutada mõlemat tüüpi paneele.

Võrreldes tavakorterelamutega on madalenergiaelamutes kütteperiood oluliselt lühem, st kütteperiood lõppeb varem ja algab hiljem. Korterelamu küttevajadus ja kollektorile tulev päikesekiirgus on aasta arvestuses vastasfaasis. Talvel on küttevajadus suur, aga päikesekiirgust vähe, suvel vastupidi (vt. Joonis 4.2).



Joonis 4.2 Päikeselt saadav energia ja korterelamu küttevõimsus on aasta arvestuses vastasfaasis.

Seetõttu ei saa Eesti kliimas kasutada päikesekollektoreid korterelamu põhilise kütteallikana. Päikesekollektorid sobivad igati korterelamu sooja tarbevee valmistamiseks. Aastasest tarbevee soojusest võib õigesti ja optimaalselt paigaldatud päikesekollektoritega 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

tarbimisest. Sooja vett võib minna vaja ka näiteks pimedal ajal. Seetõttu on päikesekollektorite süsteemis vaja akumulatsioonipaaki, mis salvestab kollektoritest saadavat energiat. Süsteemi tõhustamiseks kasutatakse tänapäeval nn. kihtide kaupa laaditavaid akumulatsioonipaake. Kollektorite ja akumulatsioonipaagi vahel tsirkuleeriv vedelik peab olema külmumiskindel.

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

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

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

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

- ühe korteri kohta on vaja 2...4 m<sup>2</sup> päikesekollektori pinda;
- ühe kollektor m<sup>2</sup> kohta on vaja ca 50...100 l akumulatsioonipaagi mahtu.

Näiteks 10 korteriga elamu soojavee tarbeks oleks vaja õigesti paigaldatud kollektorit ligikaudu 30...40 m<sup>2</sup> ja akumulatsioonipaagi maht peaks olema ca 3 m<sup>3</sup>.

Päikesekollektorite kavandamisel tuleb vältida olukorda, kus soojavee tarbimise puudumisel (näiteks elanikud ei viibi kodus) suvel hakkab vedelik kollektorites keema. Korterelamutes, 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.

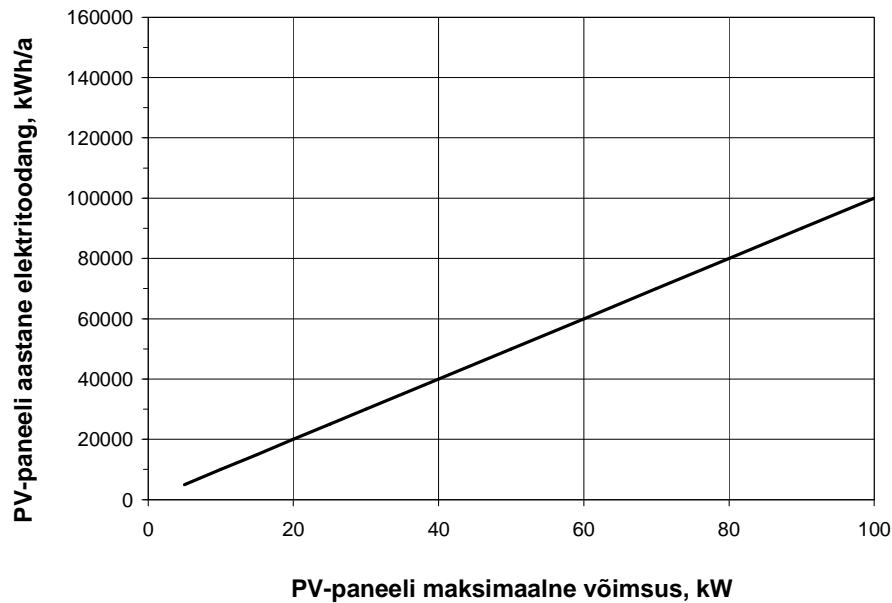
## **PV-paneelid**

Elektrienergiat 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 elektrienergiat suurusjärgus 100...150 kWh aastas. Ligikaudsetes arvutustes võib lähtuda järgnevast graafikust (vt. Joonis 4.3).

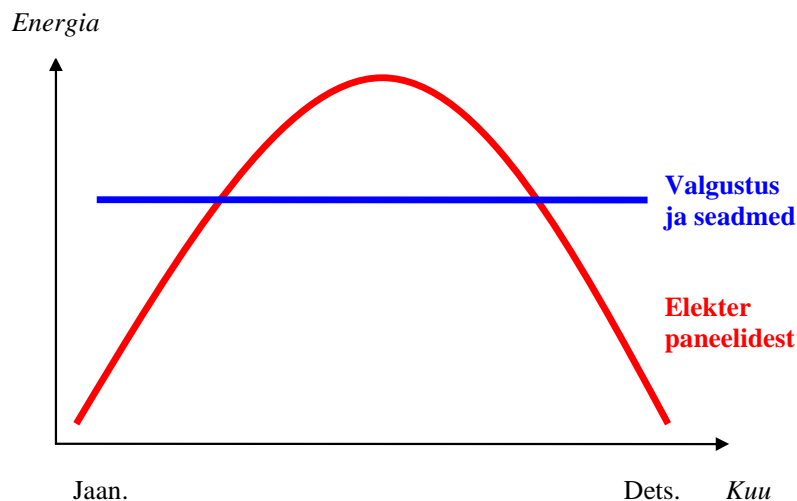
Paneelide asukoha valikul ja paigaldamisel tuleb lähtuda samadest põhimõtetest nagu päikesekollektorite puhul, kusjuures soovituslik paigaldusnurk maapinna suhtes on  $40^\circ$ .

Näiteks kui hoone katusele paigalda 100 m<sup>2</sup> PV-paneele, on toodetav maksimaalne elektrivõimsus suurusjärgus 12 kW ja aastas saadav elektrienergia ca 12 MWh.

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 4.4).



Joonis 4.3 PV-paneelide ligikaudne aastane elektritoodang paneelide maksimaalse võimsuse järgi.

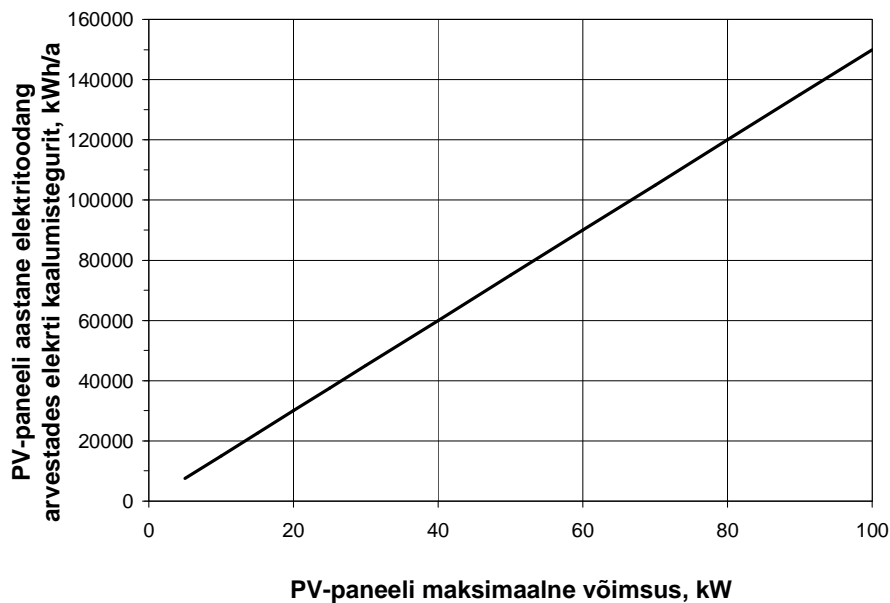


Joonis 4.4 Korterelamu elektrikasutus standardtingimustel on kuude arvestuses praktiliselt muutumatu, paneelid toodavad suvel korterelamu tarbimisest rohkem, talvel vähem.

Ühtlustamiseks paneelide poolt toodetud elektrit ja korterelamu tegelikku elektrienergia tarbimist on vaja salvestada toodetud elektrienergia akudesse.

Põhimõtteliselt saab korterelamu PV-paneelide poolt toodetud energiat muundada ka vahelduvvooluks ja müüa seda elektrivõrku. Enne PV-paneelide kavandamist tuleb küsida elektrivõrgu ettevõttelt liitumise tehnilisi tingimusi, kust selguvad elektri võrku tagasiandmise ja müümise võimalused ja tehnilised lahendused. Mõningatel juhtudel võib võrku andmine osutuda võimatuks.

Juhul kui PV-paneelidega toodetud elektrienergia 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 4.5).



Joonis 4.5 PV-paneeli aastane elektritoodang, arvestades kaalumistegurit.

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

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

#### 4.1.6 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.

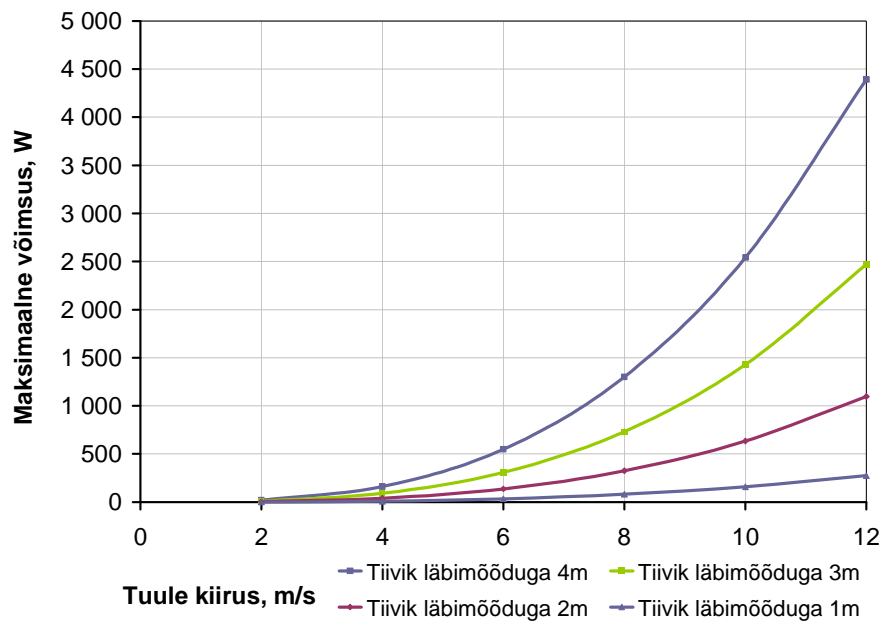
Tuulegeneraatorite võimsus ja tootlikkus on kuupsõltuvuses tuule kiirusest. Näiteks kui tuule kiirus kasvab kaks korda, siis genereeritav elektrivõimsus ja -energia suurenevad kaheksa korda. Väikeste tuulegeneraatorite kasutegurid jäävad suurusjärku 20...40 %.

Järgnevatel graafikutel (vt. Joonis 4.6 ja Joonis 4.7) 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:

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

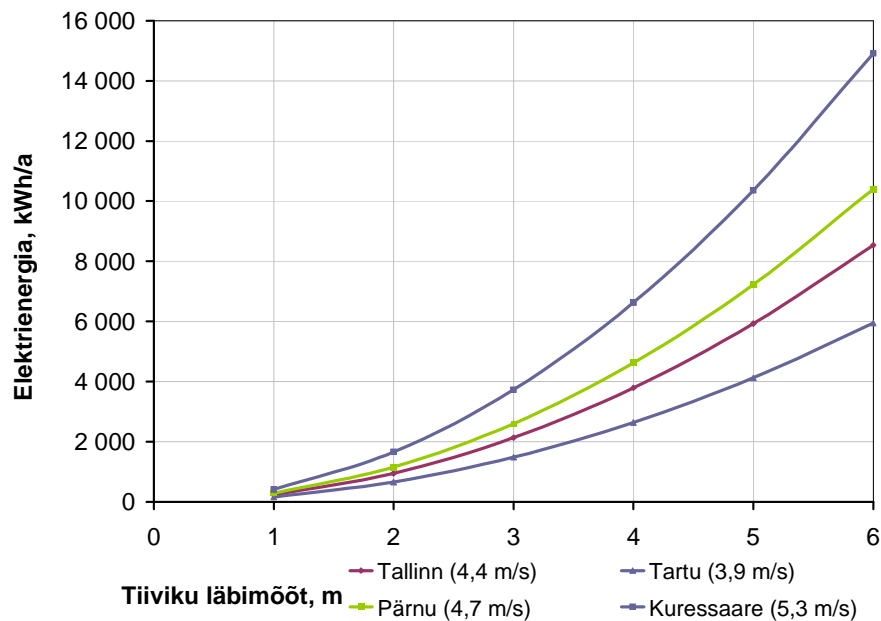
$k_{par}^{tg}$  parandustegur, millega on vaja läbi korrutada tuulegeneraatori võimsus ja aastane toodetud energia, kui tegelik kasutegur erineb 33%,

$\eta_{teg}^{tg}$  tuulegeneraatori tegelik kasutegur, %



Joonis 4.6 Tuulegeneraatori genereeritav maksimaalne elektrivõimsus, olenevalt tuule kiirusest ja tiiviku läbimõõdust eeldusel, et generaatori kasutegur on 33%.

Nagu graafikult näha (vt Joonis 4.6), 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 4.7 Tuulegeneraatori genereeritav aastane elektrienergia 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 elektrienergiat.

Aasta keskmisel tuulekiirusel on väga suur mõju saadavale elektrienergiale. Näiteks võrreldes Tallinnaga saab sama tuulegeneraatori korral Tartus aastas keskmiselt 30% vähem elektrienergiat, seevastu Pärnus ja Kuressaares vastavalt 22 ning 75% rohkem. Tartu ja Kuressaare erinevus on 2,5 korda.

Tuleb rõhutada, et eespool kasutatud tuule andmed on saadud EHMI ilmavaatlusjaamadest ja konkreetse korterelamu 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 tuultele avatud kohas, kus oleks tagatud aasta arvestuses võimalikult suur tuulekiirus. Tuulegeneraatorid tekitavad inimest häirivat müra. Tiheasustusega piirkondades võib osutada suhteliselt keeruliseks korterelamu 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 korterelamute 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.

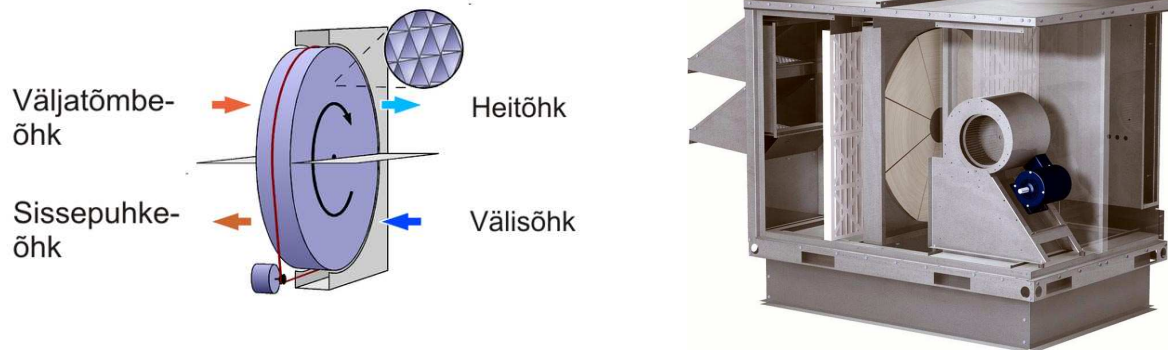
Üldõhuvahetus, l/s	Elu- ja magamistoad, l/(s·m <sup>2</sup> )	Köögi väljatõmme, l/s	Pesuruumi väljatõmme, l/s	WC väljatõmme, l/s
0,42	1,0	20	15	10

Ventilatsioonisüsteem tuleb projekteerida vajaliku õhuvooluhulga järgi:

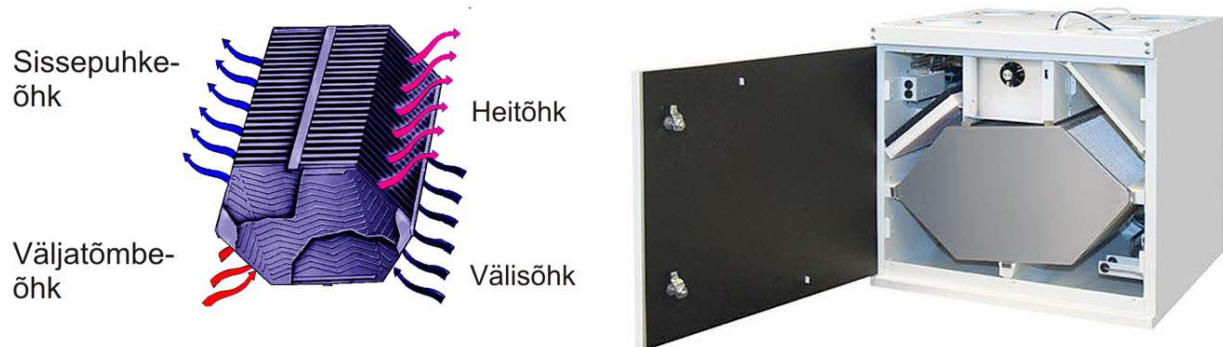
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk kogu hoone ventileeritavate ruumide suletud netopinna järgi (0,42 l/(s·m<sup>2</sup>);
- arvutatakse summaarne õhuvooluhulk elamispinna (elu- ja magamistubade põrandapinna) järgi 1 l/(s·m<sup>2</sup>), millele lisatakse mitteiluruumide õhuvooluhulk üldõhuvahetuse 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 soojuskasutus

Madalenergia- ja liginullenergiahoonetes on kohustuslik ära kasutada ventilatsiooniga välja- visatavas 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. Kortereelamutes kasutatakse põhiliselt rootor- ja plaatsoojustagasteid (vt Joonis 4.8 ja Joonis 4.9). Vahesoojuskandjaga soojusvaheti korral langeb efektiivsus liiga madalale ja ei saa enam rääkida madalenergiahoone lahendusest.



Joonis 4.8 Rotorsoojustagasti (vasakul) ja näide seadmest (paremal).



Joonis 4.9 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 väljatõmbe õhuvoolud 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.

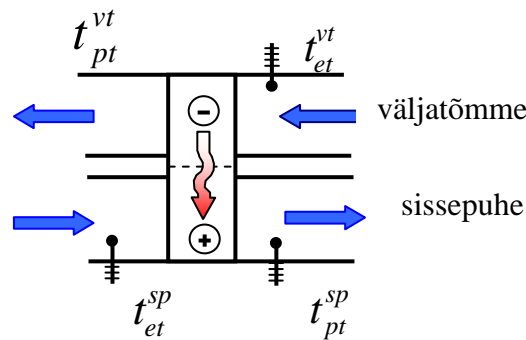
Ventilatsiooni soojustagastuse tõhusust iseloomustab kaks näitajat:

- 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.

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

- $\eta_t^{st}$  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 4.10 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 soojusvaheti 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 4.10 tähistatud  $t_{pt}^{vt}$  – väljatõmbeõhu temperatuur pärast tagastit) minimaalset temperatuuri temperatuurisuhtarvu vähendamise teel madalatel välisõhu temperatuuridel. Jäätumise vältimiseks piiratakse korterelamutes heitõhu miinimumtemperatuuri +5 °C-ni plaatsoojusvaheti korral ja 0 °C-ni rootorsoojusvaheti või niiskustagastusega plaatsoojusvaheti 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.

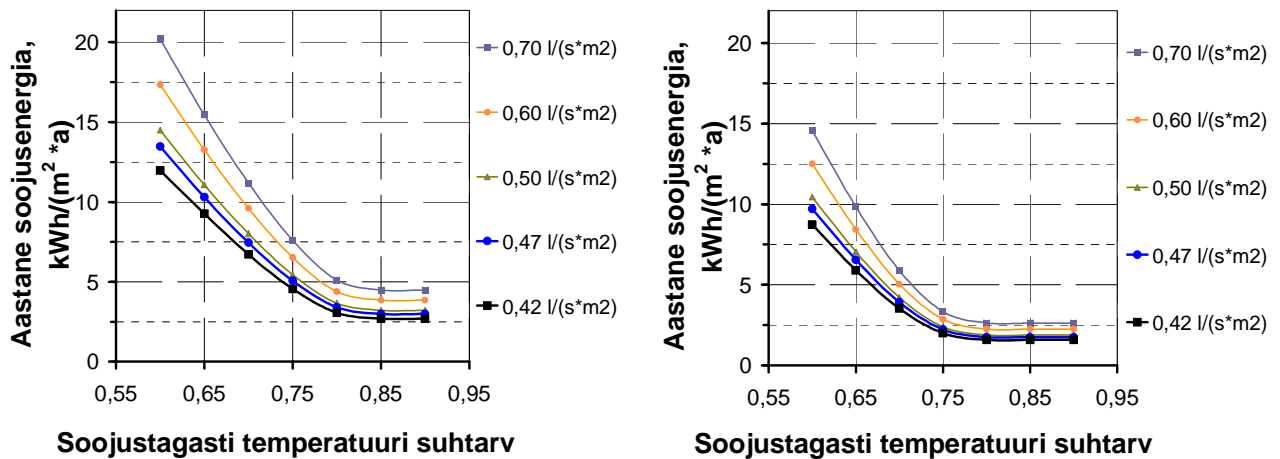
Korterelamu ventilatsioonisüsteemi aastane netoenergiakulu sõltub:

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

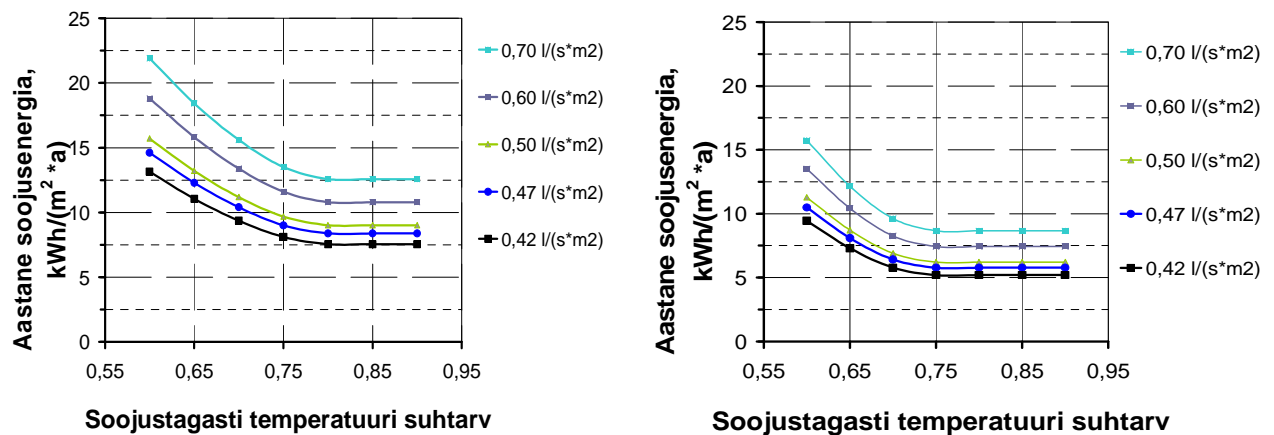
Järgnevatel graafikutel (Joonis 4.11 ja Joonis 4.12) on toodud korterelamu ligikaudsed aastased ventilatsiooni netosoojus tarbed sõltuvalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust, õhuvooluhulgast, heitõhu jäätumisevastasest temperatuurist ja väljatõmbeõhu temperatuurist.



Sissepuhkeõhu temperatuur on kõigis variantides 18 °C ja on eeldatud, et järelsoojenduspatarei soojendab sissepuhkeõhu temperatuurini 17 °C ja ventilaatoris soojeneb õhk lisaks 1 °C.



Joonis 4.11 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuse 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 4.12 Ventilatsioonisüsteemi aastane soojuse netokasutus sõltuvalt 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.

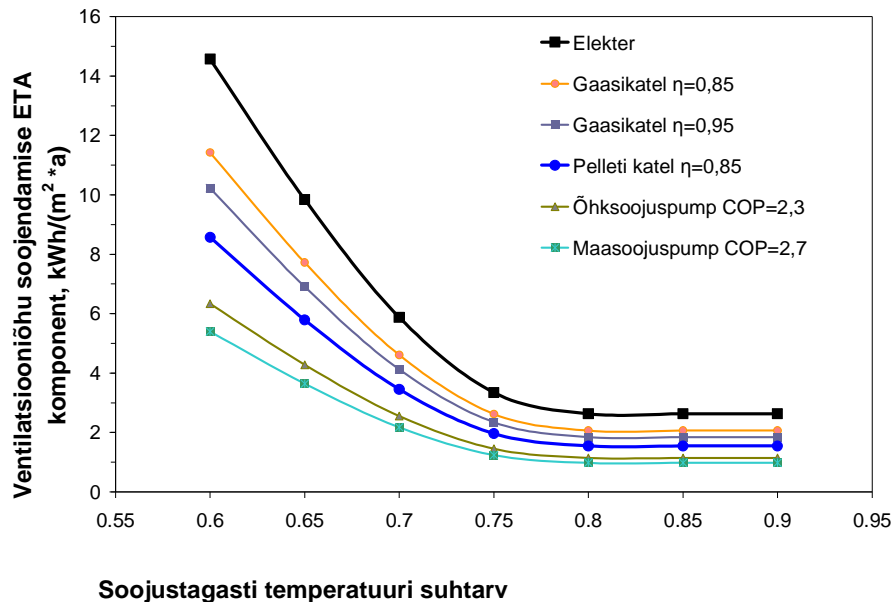
Olenevalt vabasoojusest ja kütte reguleerimise automaatikast võib ruumiõhu temperatuur tõusta üle 21 °C. Mida kõrgem on ruumiõhu temperatuur sama sissepuhkeõhu temperatuuri juures, seda suurem on soojustagasti aastane kasutegur ja väiksem soojuskasutus. Kõrgem heitõhu jäätumisvastane temperatuur vähendab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

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

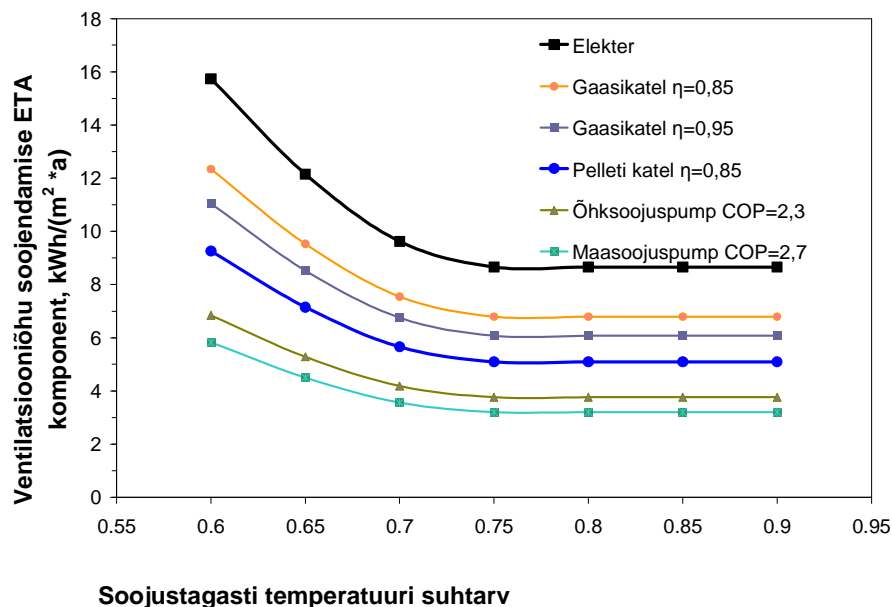
Juhul kui korterelamus puuduks soojustagastus, oleks ventilatsioonisoojuse netoenergiakasutus näiteks õhuvooluhulga 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>) korral 57 kWh/(kWh/(m<sup>2</sup>·a)).

Madalenergiakorterelamutes tuleks eelistada efektiivseid rootor- ja ristivoolu soojustagastid.

Esialgses ja ligikaudses lähenduses võib ventilatsiooni soojuse energiatõhususarvu komponendi määramisel lähtuda allpool olevatest graafikutest (Joonis 4.13 ja Joonis 4.14). 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·m<sup>2</sup>).



Joonis 4.13 Ventilatsioonisüsteemi soojuse energiatõhususarvu komponent olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja soojusallikast, kui heitõhu jäätumisvastane temperatuur on 0 °C. Õhuvooluhulk 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>), sissepuhke temperatuur 18 °C ja väljatõmbeõhu temperatuur 21 °C.



Joonis 4.14 Ventilatsioonisüsteemi soojuse energiatõhususarvu komponent olenevalt soojustagasti temperatuuri suhtarvust ja soojusallikast, kui heitõhu jäätumisvastane temperatuur on 5 °C. Õhuvooluhulk 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>), sissepuhke temperatuur 18 °C ja väljatõmbeõhu temperatuur 21 °C.

Näiteks kui korterelamu õhuvooluhulk on  $0,47 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ , ventilatsiooniseadmes on niiskusvahetusega rootortagasti (temperatuuri suhtarv  $0,75$ ) ja soojusallikaks on maasoojuspump (heitõhu jäätumisvastane temperatuur  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ), siis graafiku järgi (Joonis 4.13) on ventilatsiooni soojuse energiatõhususarvu komponent ligikaudu  $1 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ .

Kui õhuvooluhulk erineb  $0,47 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ , siis on vaja Joonis 4.14 toodud 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 4.13 või Joonis 4.14), kui tegelik õhuvooluhulk erineb  $0,47 \text{ l/(s}\cdot\text{m}^2)$ ,

$L_{teg}^{vent}$  korterelamu tegelik õhuvooluhulk,  $\text{l/(s}\cdot\text{m}^2)$ .

### 4.2.3 Elektrienergiakasutus

Ventilaatorid tarbivad õhu transportimiseks elektrienergiat. Tõhusa soojustagastusega hoonetes võib ventilatsioonisüsteemi aastane elektrienergiakasutus sageli osutada suuremaks ventilatsiooni soojuse kasutust.

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

Korterelamu sissepuhke-väljatõmbesüsteemi SFP arvutatakse järgmise valemiga:

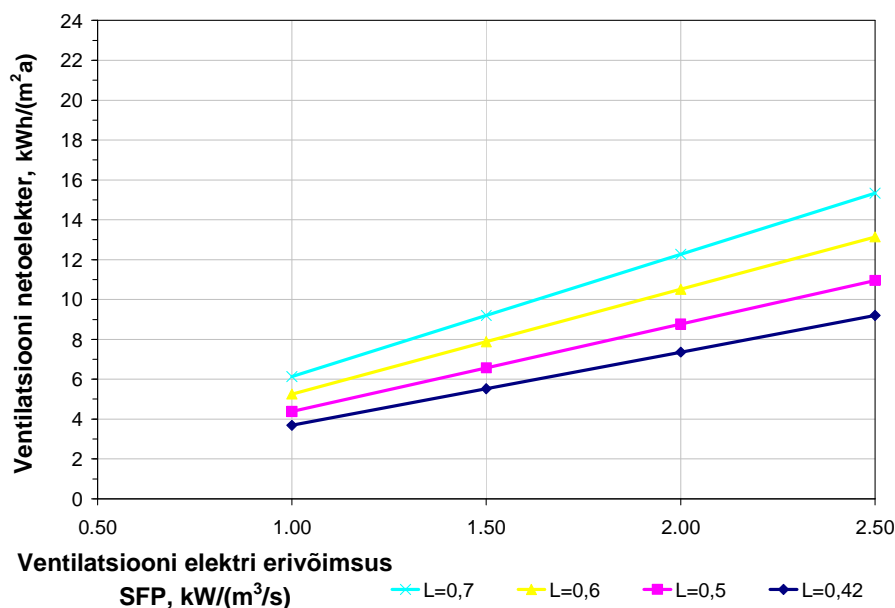
$$SFP = \frac{N_{sp} + N_{vt}}{L} \text{ kW/(m}^3/\text{s)} \quad 4.5$$

$N_{sp}$  sissepuhkeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus, kW,

$N_{vt}$  väljatõmbeventilaatori poolt tarbitav elektrivõimsus, kW,

$L_{max}$  ventilatsiooni õhuvooluhulk (vt peatükk 4.2.1),  $\text{m}^3/\text{s}$ .

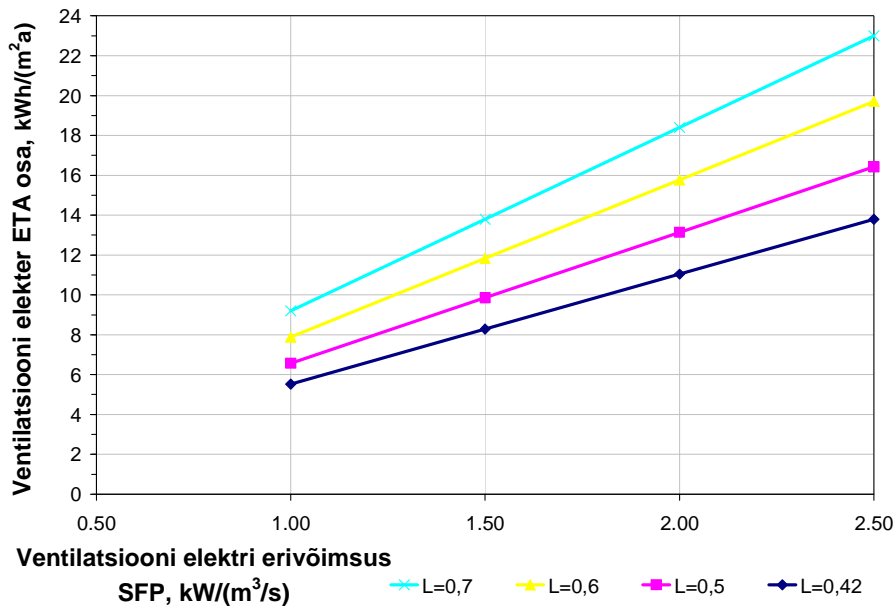
Järgneval joonisel on korterelamu ventilatsioonisüsteemi aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta olenevalt ventilatsiooni õhuvooluhulgast köetava pinna kohta ja SFP-st



Joonis 4.15 Korterelamu ventilatsioonisüsteemi aastane ventilatsiooni netoelektrikasutus köetava pinna kohta olenevalt vooluhulgast  $L \text{ (l/(s}\cdot\text{m}^2)$  ja SFP-st.

Madalenergiahoonetes peab SFP olema  $\leq 1,5 \dots 2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ .

Võttes arvesse elektri kaalumisteguri 1,5, saame netoenergia põhjal arvutada ventilatsiooni elektrienergia energiatõhususarvu komponendi (vt Joonis 4.16).



Joonis 4.16 Ventilatsioonisüsteemi elektri energiatõhususarvu komponendi sõltuvus SFP-st ja õhuvooluhulgast  $L$  ( $\text{l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ ).

Näiteks kui korterelamu ventilatsioonisüsteemi õhuvooluhulk on  $0,47 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ , siis graafiku järgi (Joonis 4.15) on ventilatsioonisüsteemi aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta  $8,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  ja energiatõhususarvu komponent (Joonis 4.16)  $12,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

### 4.3 Küttesüsteem

Madalenergiakorterelamus 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  $40 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Kondensaatkatelde kasutegur on seda suurem, mida madalam on küttesüsteemist tagastuva soojuskandja temperatuur. Soovitatavalt võiks see arvutuslikel tingimustel olla alla  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Traditsioonilistes elamutes pidi hea sisekliima tagamiseks paiknema radiaator akna all. Madalenergiakorterelamutes, kus akna soojusläbivus ( $U$ ) on väiksem kui  $1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , võib küttekeha paikneda ka mujal, näiteks siseseinal.

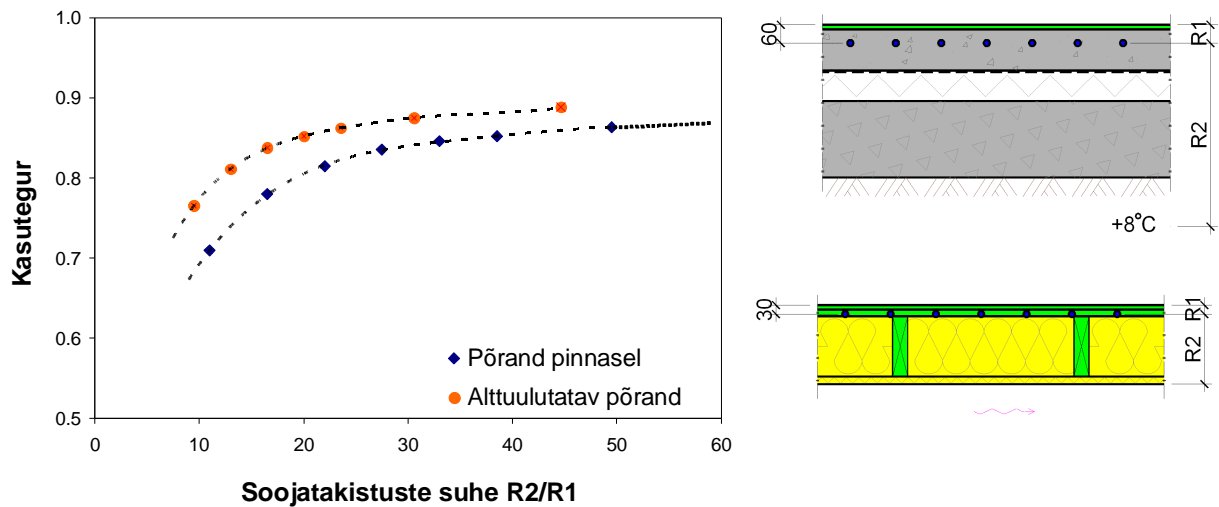
Energiatõhususarvu määramisel tuleb võtta radiaatorkütte süsteemi kasuteguriks 0,97.

#### 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  $27 \text{ }^\circ\text{C}$ . Üldjuhul ei tohiks põrandakütte korral olla soojuskandja pealevoolutemperatuur üle  $40 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Seetõttu sobib väga hästi põrandakütte soojusallikaks soojuspump.

On olemas ka elekterpõrandaküte, kus torustike asemel on põrandas elektrikaablid, kuid madalenergiakorterelamutes ei tohiks elekterkütet kasutada.

Korterelamu 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 4.17).



Joonis 4.17 Põrandakütte kasuteguri sõltuvus põrandasoojustatusest.

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.

### 4.3.3 Õhkküte

Põhimõtteliselt on võimalik ruume kütta, kui sinna puhuda ruumiõhust kõrgema temperatuuriga õhku. Sel juhul on tegemist õhkküttega. Õhkküte on seotud korterelamu 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 õhuvoohulgast (vt peatükk 4.2.1) võib piisata hoone kütteks. Kuid tihti ei pruugi see nii olla. Näiteks võrdluskorterelamu nõutav ventilatsiooni õhuvooluhulk on 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>). Sissepuhkeõhu temperatuuri 50 °C juures saab selle õhuvooluhulgaga korvata soojuskadusid 16,9 W/m<sup>2</sup>. Võrdluskorterelamu, mille välispiirete soojuserikadu on 0,58 W/(K·m<sup>2</sup>), arvutuslik soojuskadu välisõhutemperatuuri -21 °C juures on 24,4 W/m<sup>2</sup>. Seega ei piisa hoone kütteks eespool toodud õhuvooluhulgast. Selleks et õhuvooluhulgaga 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>) korvata soojuskaod, peaks välispiirete soojuserikadu olema väiksem kui 0,41 W/(K·m<sup>2</sup>). Lisaks hoone energiabilansile on vaja õhkkütte korral tagada energiabilans ruumide osas, st sooja sissepuhkeõhu vooluhulk peab olema vastavuses ruumi arvutuslike soojuskadudega.

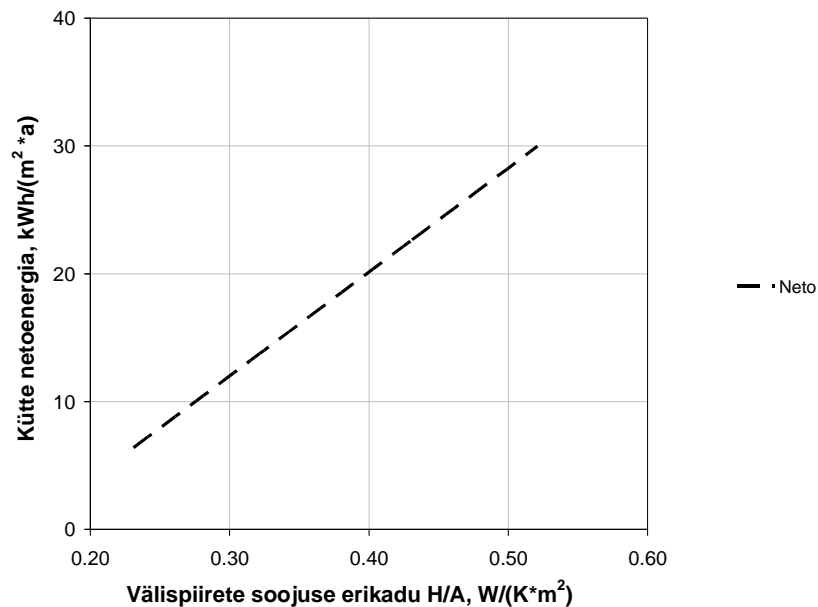
Õhkkütte korral on oluline jälgida, et sõltumata sissepuhkeõhu temperatuurist oleks tagatud ruumide õhuvahetuse tõhusus, st värske õhk jõuaks inimeste viibimise tsooni. Õhkküttesüsteem peaks võimaldama reguleerida ruumiõhu temperatuuri ruumide kaupa. See eeldab, et sissepuhkesüsteemil on iga ruumi tarbeks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

### 4.3.4 Kütteenergiakasutus ja energiatõhususarvu komponent

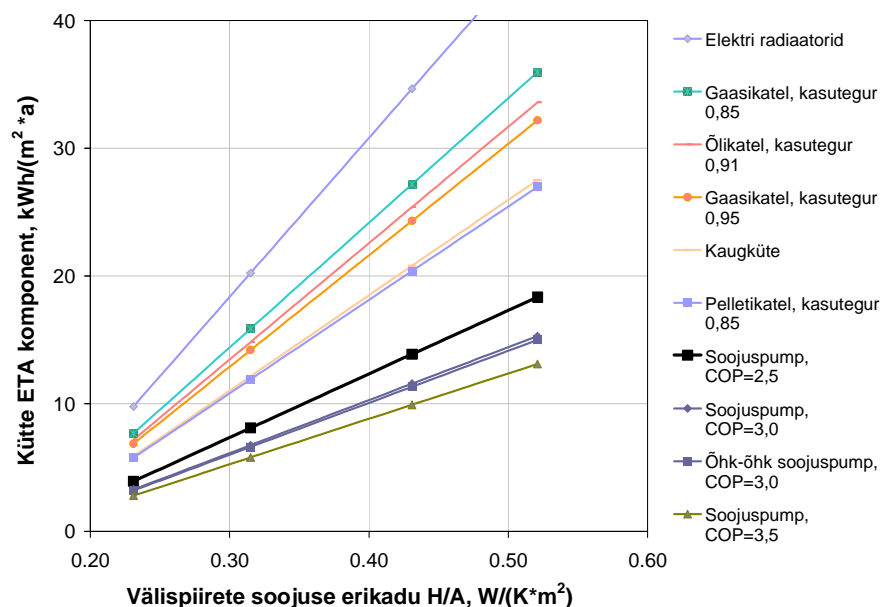
Korterelamu kütteenergia vajadus sõltub põhiliselt välispiirete soojuserikaost ja vabasoojusest (vt peatükki 5). Kuna vabasoojus on ajas muutuv suurus, siis adekvaatse kütte netoenergia määramiseks tuleks kasutada soojuslevi dünaamilist modelleerimistarkvara. Järgnevatel kütteenergia graafikutel on toodud võrdluskorterelamu dünaamilise modelleerimise tulemused.

Neid graafikuid võib teatud mõõndustega kasutada korterelamu kavandamise algetapis väga ligikaudsete ja esialgsete väärtuste saamiseks.

Võrdluskorterelamu kütte netoenergia ja energiatõhusarvu komponent sõltuvalt soojusallikast ja küttesüsteemist ning välispiirete soojuserikaost on toodud järgnevatel graafikutel (ja Joonis 4.19).



Joonis 4.18 Võrdlushoone kütte netoenergia sõltuvus välispiirete soojuserikaost (suurim klaasfassaad on suunatud lõunasse).



Joonis 4.19 Võrdlushoone kütte energiatõhusarvu komponent sõltuvalt välispiirete soojuserikaost ja soojusallikast ning küttesüsteemiks on radiaatorküttesüsteem (kasutegur 0,93).

Näiteks kui korterelamu välispiirete summaarne soojuserikadu on  $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , fassaadide klaaspinnad on võrdluskorterelamuga enam-vähem sama proportsiooniga ja suurima klaaspinnaga fassaad on suunatud lõunasse ning radiaatorküttesüsteemi soojusallikaks on puidupelletikatel kasuteguriga 0,85, siis korterelamu ligikaudne kütte energiatõhusarvu komponent on (vt. Joonis 4.19)  $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

## 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 energiatarbe arvutus eeldaks dünaamilist simulatsiooni.

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

Oskusliku päikesest tuleneva vabasoojuse tõrjumisega saab korterelamus tagada sisetemperatuuri 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 netoenergiakasutus alla 10 kWh/(m<sup>2</sup>a). Jahutusseadme jahutusteguri 3,5 ja elektriakalumisteguri 1,5 juures kujuneks sellisel juhul jahutuse energiatõhususarvu komponendiks ≈4 kWh/(m<sup>2</sup>a).

## 4.5 Valgustuse ja elektriseadmete elektrienergiakasutus

Korterelamute elektriseadmete ja valgustuse energiatarbimise määramisel tuleb lähtuda määruse nr 258 lisa 5 toodud standardtingimustest, mille kohaselt

- valgustuse kasutusaste on 0,1 ja elektrivõimsus 8 W/m<sup>2</sup>,
- elektriseadmete kasutusaste on 0,6 ja elektrivõimsus 4,29 W/m<sup>2</sup>.

Lähtudes nendest näitajatest on korterelamu aastane netoelektrikasutus köetava pinna kohta

- valgustuseks 7 kWh/m<sup>2</sup>a,
- elektriseadmetele 22,5 kWh/m<sup>2</sup>a.

ja energiatõhususarvu komponent köetava pinna kohta

- valgustuseks 10,5 kWh/m<sup>2</sup>a,
- elektriseadmetele 33,8 kWh/m<sup>2</sup>a.

Standardkasutusel on korterelamu valgustuse ja elektriseadmete summaarne energiatõhususarvu komponent 44,3 kWh/m<sup>2</sup>a.

## 4.6 Soe tarbevesi

Soojatarbevee soojusvajadus tuleb määrata vastavalt määruse nr. 258 järgi, mille kohaselt:

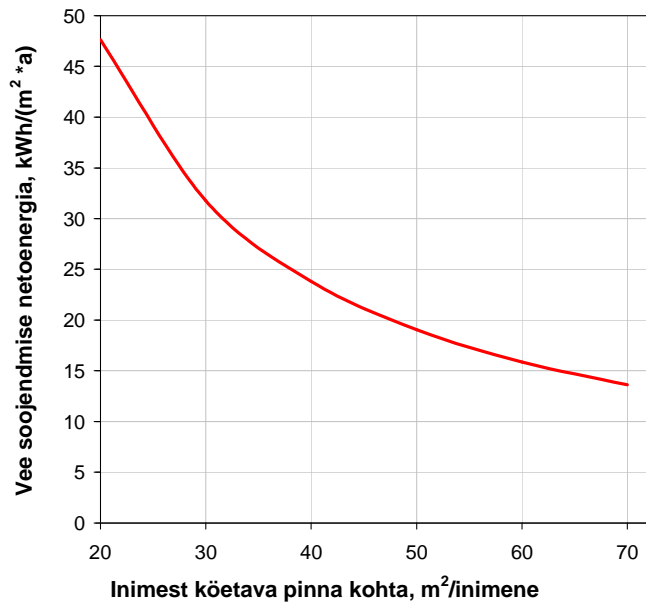
- ööpäevane soojavee kasutus ühe elaniku kohta on 45 l;
- elanike arv on ühe võrra suurem korteri magamistubade arvust;
- tarbevett on vaja soojendada 50 °C võrra.

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

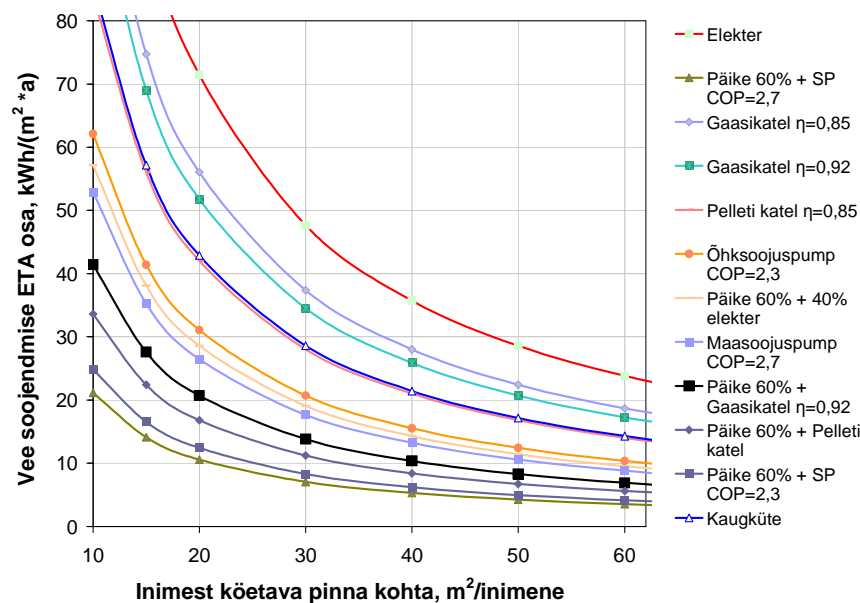
Sooja tarbevee energiatõhususe komponent energiatõhususarvus sõltub lisaks netoenergiale soojuse saamise viisist. Joonisel (Joonis 4.21) on energiatõhususarvu komponent sõltuvalt soojuse saamise viisist.

Näiteks kui 1500 m<sup>2</sup> köetava pinnaga hoones on 10 kahe magamistoaga ja 5 kolme magamistoaga korterit, on arvutuslik inimeste arv: 10 × (2 + 1) + 5 × (3 + 1) = 50 inimest ning 1500/50 = 30 m<sup>2</sup>/inimene.

Graafiku (Joonis 4.21) järgi saame netotarbimiseks 18 kWh/m<sup>2</sup>a ja energiatõhususarvu komponendiks ligikaudu 17 kWh/m<sup>2</sup>a, juhul kui energiaallikaks on näiteks kaugküte.



Joonis 4.20 Sooja tarvevee aastane netoenergiakasutus.



Joonis 4.21 Sooja tarvevee energiatõhususarvu (ETA) komponent sõltuvalt soojuse saamise viisist: ( $\eta$  – katla kasutegur, COP – soojuspumba keskmine soojustegur, SP – soojuspump, Päike 60% – päikesekollektor tagab aastas 60 % sooja tarvevee energiat).

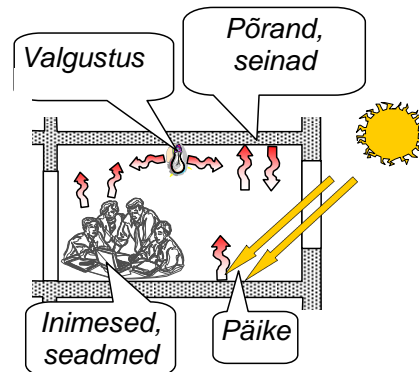
## 4.7 Küttesüsteemi ringluspumba elektrikasutus

Madalenergiakorterelamutes tuleb kasutada suure kasuteguriga sagedusmuunduriga pumpsid, mida juhitakse hoone soojuskasutuse järgi. Ringluspumba elektrienergiakasutus on suhteliselt väike ja esialgsetes ning ligikaudsetes arvutustes võib võtta ringluspumba elektritarbimise energiatõhususarvu komponendiks 1 kWh/(m<sup>2</sup>·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.

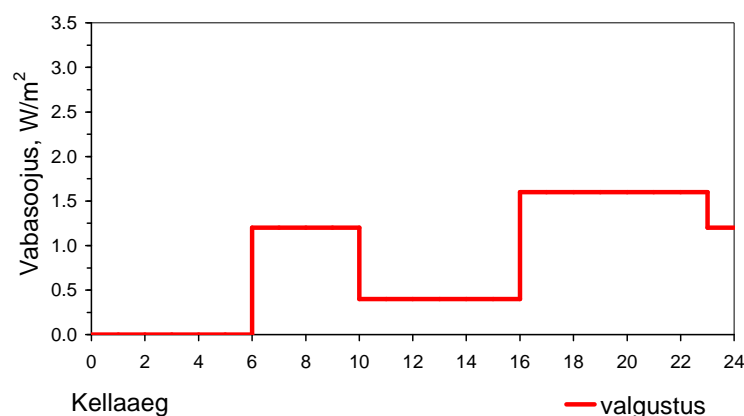
Vabasoojuse võrra peab ruumi vähem kütma, st osa soojust tuleb „vabalt“ kätte. Mida soojapidavam on hoone (väiksem soojuserikadu), seda suurema osa aastasest soojuskaost kompenseerib vabasoojus ja seda vähem kulub kütteenergiat hoone kütmiseks. Teisalt aga tõstab vabasoojus küttevabal perioodil liigselt ruumiõhu temperatuuri ja suurendab jahutusvajadust.

### 5.1 Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojus

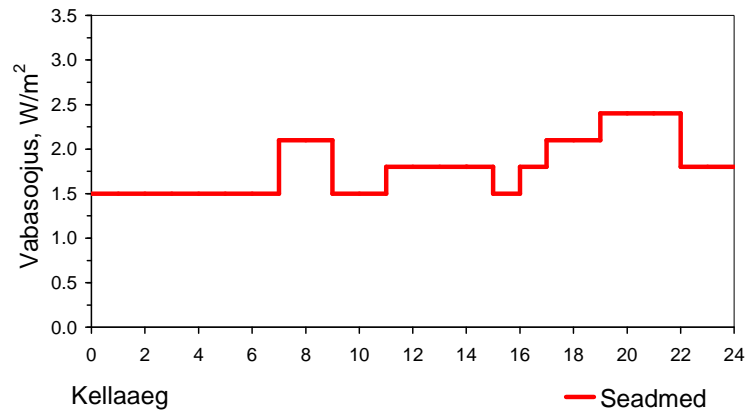
Valgustuse, elektriseadmete ja inimeste vabasoojused tuleb võtta määruse nr 258 lisadest 5 ja 6, mille kohaselt on ööpäeva keskmised soojuseraldused:

- vabasoojused kokku 4,4 W/m<sup>2</sup>;
  - valgustus 0,8 W/m<sup>2</sup>,
  - seadmed 1,8 W/m<sup>2</sup>,
  - inimesed 1,8 W/m<sup>2</sup>.

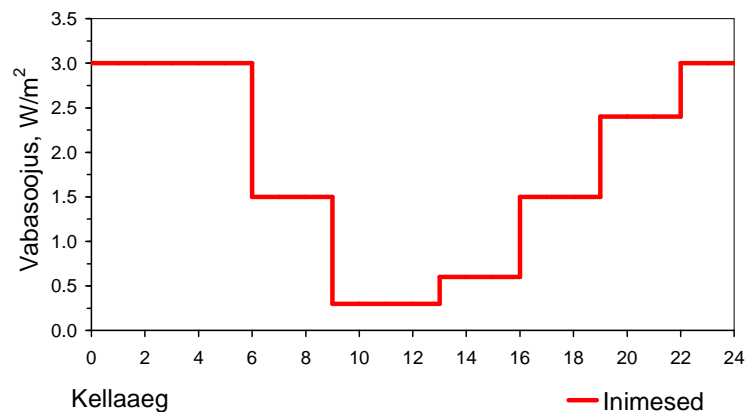
Energia- ja sisekliima dünaamilisel modelleerimisel on vaja kasutada detailsemaid kohaloleku profiile, mis on järgnevatel graafikutel.



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.

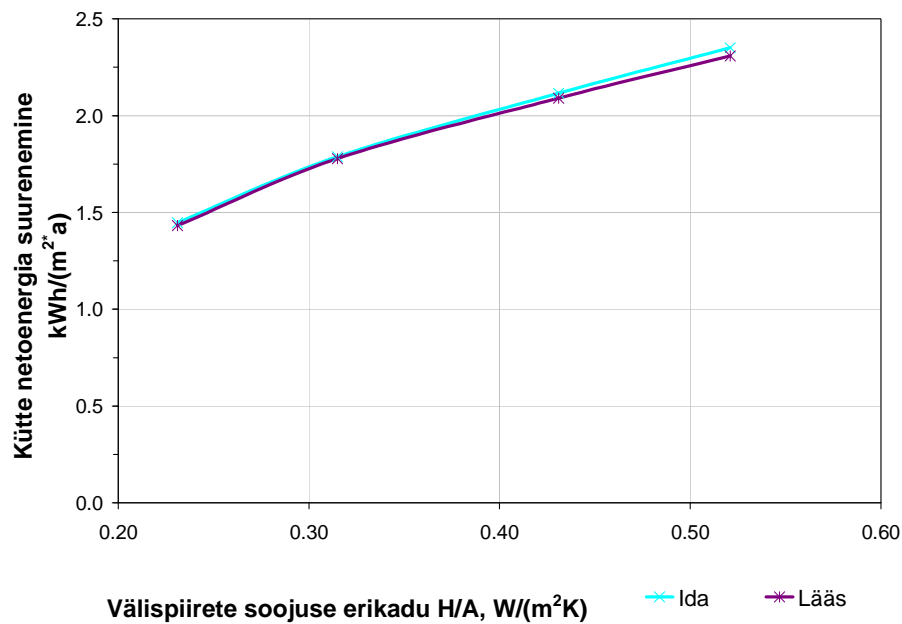
Soojuskadu läbi akna sõltub nii raami kui ka klaasi omadustest, st kui tehakse soojuskadude arvutusi ja leitakse hoone välispiirete soojuserikadu, siis tuleb lähtuda akna kui terviktarindi soojusläbivusest ( $U$ ,  $W/(m^2 \cdot K)$ ), kus on arvesse võetud akna raami/lengi, klaasiosa ja klaasiserva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

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 päikesekaitseta klaaspinnad suurendavad jahutusenergia vajadust.

Järgmisel graafikul (vt. Joonis 5.5) on võrdlushoone kütte netoenergia suurenemine, kui võrreldes põhivariandiga (pikifassaad on suunatud lõunasse/põhja) on akendega pikifassaad suunatud itta 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 soojuserikaast suureneb ida ja lääne orientatsiooniga võrdlushoone kütte netoenergia 1,5...2,5 kWh/(m²·a). Kuna selle elamu põhja- ja lõunafassaadi aknad oluliselt ei erine, suureneb küttekulu põhja orientatsiooni korral vaid kuni 0,5 kWh/(m²·a).

Päikest võivad varjutada näiteks naaberhooned, puud, korterelamu 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.

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

Täpsema päikesekiirguse mõju hindamiseks hoone kütte- ja jahutusenergiale 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 kohe kütte- või jahutuskasutust.

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

Massiivsus avaldab oluliselt suuremat mõju jahutusele ja ruumiõhu suvisele temperatuurile.

## 6 Näited

Esialguses lähenduses võib korterelamu energiatõhususarvu määramisel lähtuda eelnevates peatükkides esitatud graafikutest ja valemitest. Peatükis 6 on selle illustreerimiseks erinevad näited.

Hoone energiatõhususe tõendamiseks kasutatakse energia- ja sisekliima arvutusi.

### 6.1 Näide 1: leida hoone ligikaudne energiatõhususarv

Korterelamu on kavandatud järgmiste näitajatega:

- välispiirete soojuserikadu on  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;
- 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  $0,8$ ;
- 65 inimest;
- köetav pind  $2000 \text{ m}^2$ ;
- kütte soojusallikaks on kaugküte ja radiaatorküte;
- ventilatsiooni soojusallikaks on elekter;
- sooja tarbevee soojusallikaks on kaugküte;
- hoone klaaspinnad on enam-vähem samas proportsioonis võrdluskorterelamuga, suurima klaaspinnaga fassaad on suunatud lõunasse;
- suviste ruumiõhu temperatuuride nõue  $< 150 \text{ }^\circ\text{C}$ h on täidetud ilma mehaanilise jahutuseta.

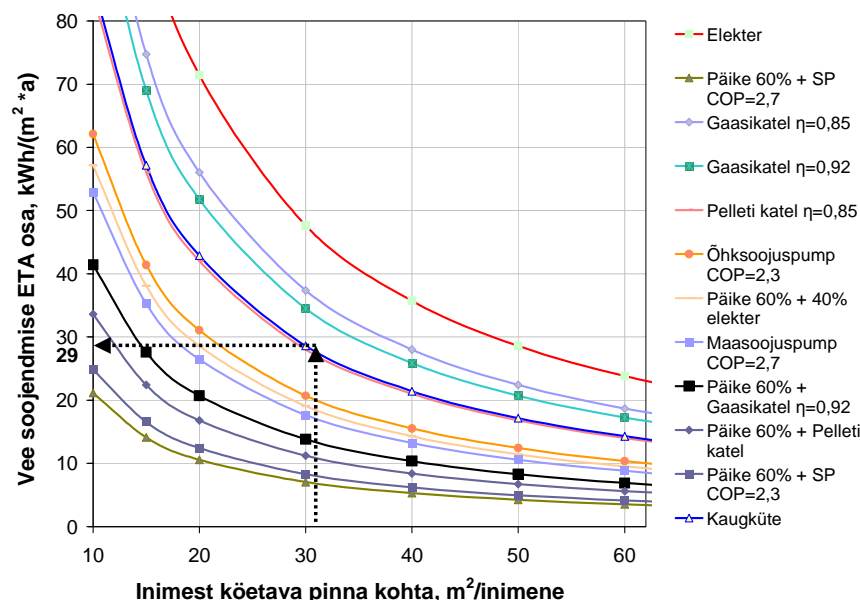
Leiame energiatõhususarvu (ETA) üksikute komponentide kaupa

#### 6.1.1 Valgustus ja elektriseadmed

Peatüki 4.5 järgi on valgustuse ja elektri summaarne ETA komponent:  $44,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

#### 6.1.2 Tarbevee soojendamine

Ühe inimese kohta on köetavat pinda  $2000/65 = 30,7 \text{ m}^2$ .

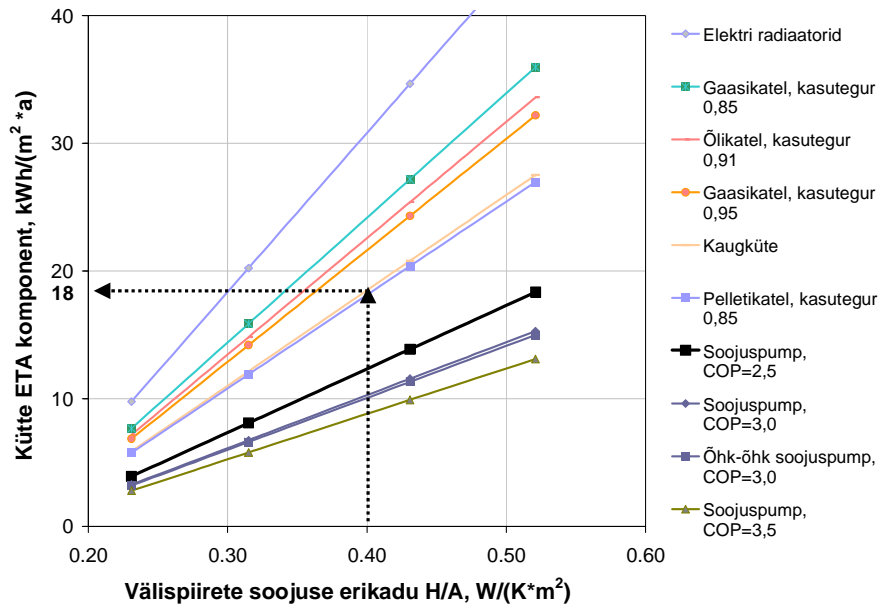


Joonis 6.1 Näide 1 sooja tarbevee ETA komponendi leidmine.

Kasutades graafikuid Joonis 4.21 ja Joonis 6.1, on soojusallika kaugküte korral sooja tarbevee ETA komponent  $29 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

### 6.1.3 Küte

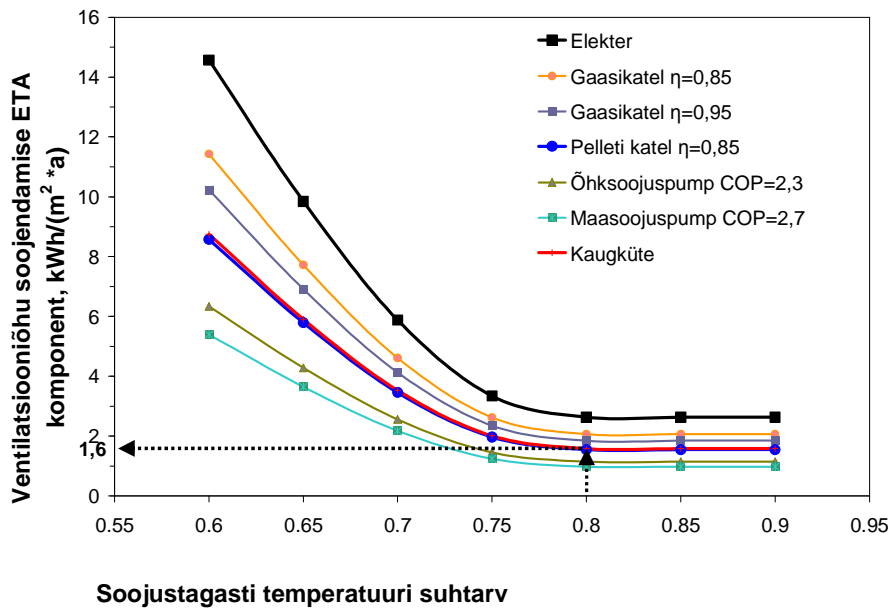
Kasutades graafikuid Joonis 4.19 ja Joonis 6.2, on kütte energiatõhususe ETA komponent 18 kWh/(m<sup>2</sup>·a).



Joonis 6.2 Näite 1 kütte ETA komponendi leidmine.

### 6.1.4 Ventilatsiooniõhu soojendamine

Kasutades graafikut Joonis 6.3, on ETA komponent 1,6 kWh/(m<sup>2</sup>·a).



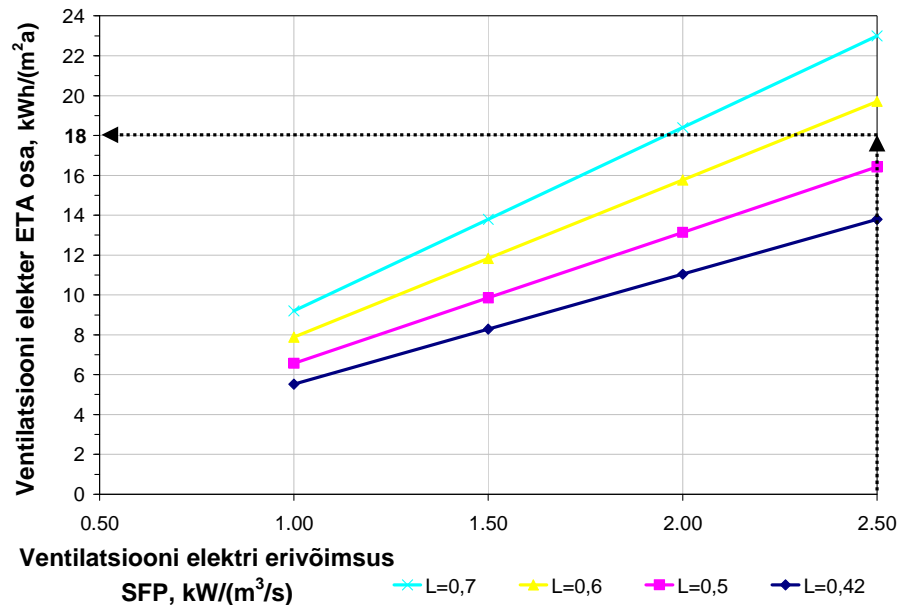
Joonis 6.3 Näite 1 ventilatsiooniõhu soojendamise ETA komponendi leidmine.

Arvestades, et tegelik õhuvooluhulk ei ole 0,47 l/(s·m<sup>2</sup>), vaid 0,55 l/(s·m<sup>2</sup>), on selle korterelamu ETA tegelik komponent  $1,6 \times 0,55/0,47 = 1,9$  kWh/(m<sup>2</sup>·a).

## 6.1.5 Tehnoseadmete elektrienergiakasutus

### Ventilatsioonielekter

Kasutades graafikuid Joonis 4.16 ja Joonis 6.4, on ventilatsiooni elektrienergia komponent ETA komponent 18 kWh/(m<sup>2</sup>·a)



Joonis 6.4 Näite 1 ventilatsioonielektri ETA komponendi leidmine.

### Ringluspumba elekter

Küttesüsteemi ringluspumba elektrikasutus on 1 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (vt peatükk 4.7).

## 6.1.6 Energiatõhususarv

Energiatõhususarv on eelnevalt leitud komponentide summa: Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Näite 1 energiatõhususarvu komponendid.

Komponent	ETA, kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	Osakaal, %
Ruumide küte	18	16
Vent. soojus	2	2
Vent. elekter	18	16
Kütte ringluspump	1	1
Tarbevee soojendamine	29	26
Valgustus + seadmed	44	39
Kokku	112	

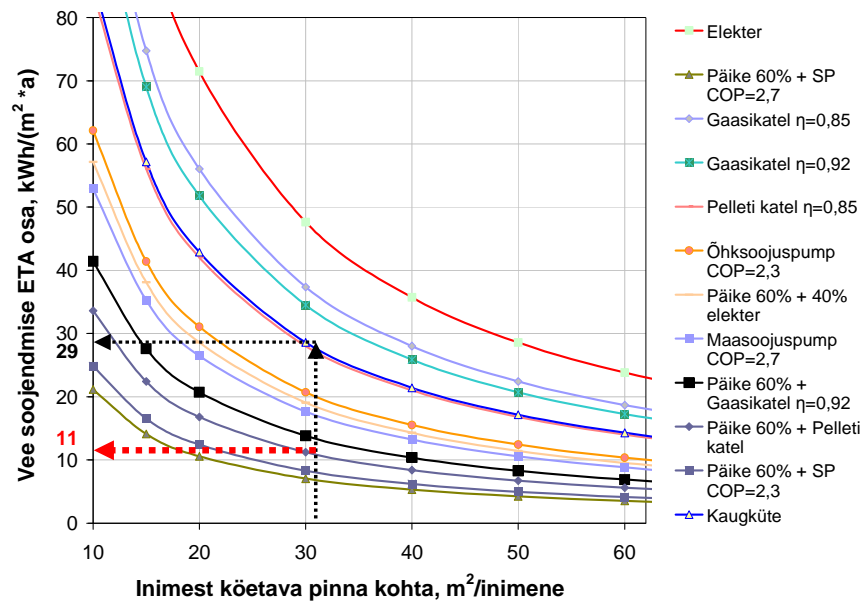
Näites toodud korterelamu vastab energiatõhususe miinimumnõudele (150 kWh/(m<sup>2</sup>·a)), kuid ei vasta madalenergiakorterelamu nõudele, sest energiatõhususarv 112 kWh/(m<sup>2</sup>·a) on suurem.

## 6.2 Näide 2: mida teha, et näite 1 hoone vastaks madalenergiahoone tingimustele ( $ETA \leq 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )

Mida tuleks ette võtta näites 1 toodu korterelamuga, et selle energiatõhususarv oleks väiksem  $110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , kui hoone välispiirdeid ei muudeta ja soojusallikaks jääb kaugküte?

Kui analüüsida näite 1 energiatõhususarvu komponente (vt Tabel 6.1), siis kõige suurema osakaaluga on tarbevee soojendamine, ruumide küte ja valgustus ning seadmed. Valgustus ja seadmete energiatõhususarvu komponent sõltub standardtingimustest ja seda ei ole võimalik vähendada. Kui hoone välispiirdeid ei muudeta ja soojusallikaks jääb kaugküte, siis kütte ETA komponenti ei ole võimalik vähendada.

Tarbevee soojendamise ETA komponendi vähendamiseks võib katusele paigaldada päikesekollektorid, mis tagavad aastasest soojatarbevee soojusest 60%.



Joonis 6.5 Näite 2 sooja tarbevee ETA komponendi vähendamine päikesekollektorite kasutamisel.

Sooja tarbevee ETA komponent väheneks võrreldes näitega 1 (vt Joonis 6.5):

$$29 - 11 = 18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

ja näite 2 korral oleks hoone ETA

$$112 - 18 = 84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

Kuna  $84 < 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , siis on püstitatud kriteerium täidetud.

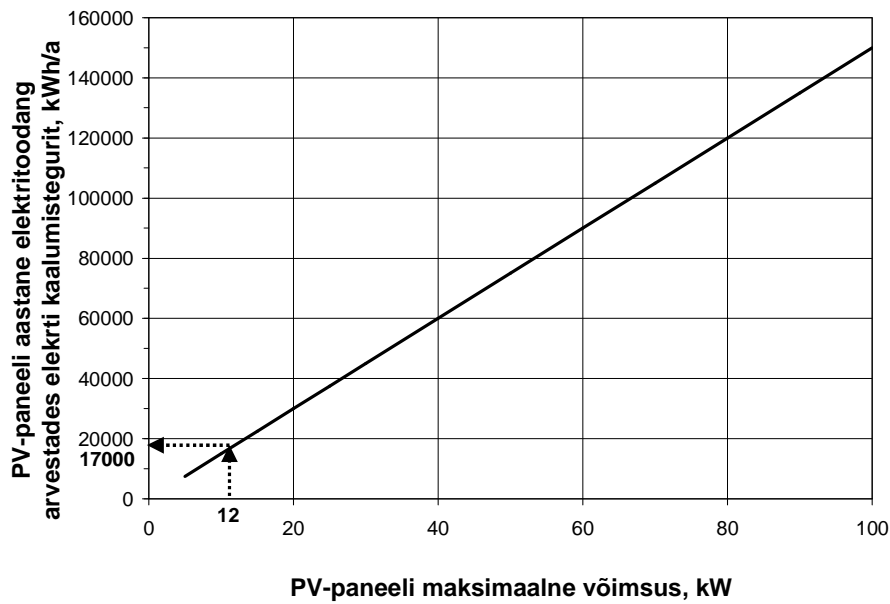
## 6.3 Näide 3: mida teha, et täita energiatõhususarvu kriteeriumi ( $ETA \leq 90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )

Kuigi näites 2 toodud hoone vastas energiatõhususarvu poolst liginullenergiakorterelamu tingimustele ( $84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) < 110 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ), ei ole tegemist liginullenergiahoonega, sest elektrit ei toodeta kohapeal taastuvast energiaallikast.

Hoone katusele saab paigaldada  $100 \text{ m}^2$  PV-paneele. Eeldame, et  $1 \text{ m}^2$  paneelist saab maksimaalselt  $120 \text{ W}$ . PV-paneelide maksimaalne võimsus on

$$100 \times 120 = 12\,000 \text{ W} = 12 \text{ kW}$$

Tänu paneelidele väheneb energiatõhususarv (vt Joonis 6.6):  $17000/2000 = 8,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .



Joonis 6.6 Näite 3 PV-paneelide aastane elektritoodang, arvestades elektrikaalumisteguriga.

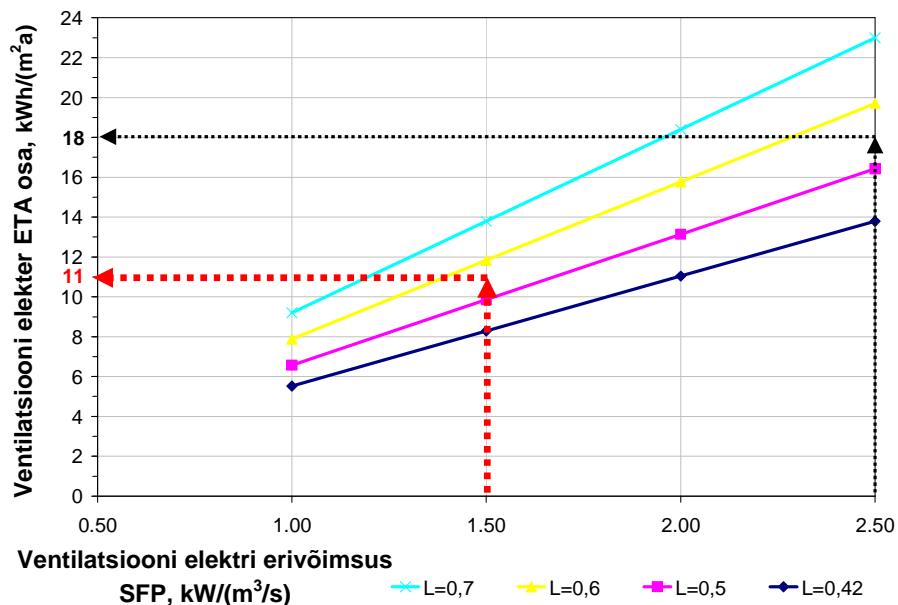
Energiaõhususarv 3 näite korral on:

$$84 - 8,5 = 76,5 \approx 77 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$

#### 6.4 Näide 4: Ventilatsioonisüsteemi SFP vähendamine 2,5-lt 1,5-ni

Kui palju on võimalik vähendada näites 3 toodud korterelamu energiaõhususarvu, kui ventilatsioonisüsteemi erivõimsus SFP oleks 1,5 kW/(m<sup>3</sup>/s)? Vähendades ventilatsiooniseadme SFP 2,5-lt 1,5-ni kW/(m<sup>3</sup>/s), väheneks ETA (vt. Joonis 6.7):

$$18 - 11 = 7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$$



Joonis 6.7 Näite 4 ventilatsioonielektri ETA komponendi vähenemine.

Hoone energiaõhususarv on:  $77 - = 70 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$



## 7 Mõisted

**Netonullenergiahoone** (*net zero energy building*: ZEB) – hoone, mille energiatõhususarv on 0 kWh/(m<sup>2</sup>·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/(m<sup>2</sup>·a) kuid korterelamute puhul mitte suurem kui 100 kWh/(m<sup>2</sup>·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 elamus tarbitavat energiat, on võimalik ülejääk tarnida (müüa) elektrivõrku;

**Madalenergiahoone** (*low energy building*): energiatõhus hoone, mille energiatõhususarv korterelamu puhul on ≤ 120 kWh/(m<sup>2</sup>·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 energivõrkudesse;

**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 energiategurid:** energiakandjate lõikes arvatud tarnitud ja eksporditud energiategurite vahede ja energiakandjate kaalumistegurite korrutiste summa;

**Energiatõhususarv** ETA, W/(m<sup>2</sup>·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 piirdetaindite lähteandmeid;

**Valideeritud tarkvara:** sisekliima ja energiaarvutuse tarkvara, mille valideerimiseks on teostatud võrdlusarvutus vastava standardi või meetoodika järgi. Käesoleva määruse mõistes aktsepteeritakse valideerimiseks vastavaid Euroopa (EVS-EN), ISO, ASHRAE ja CIBSE standardeid ning IEA BESTEST meetoodikat 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 aurutõkkehikiga, 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 õhutõkke kõige paremini niiske siseõhu konvektsiooni piirdesse. Õhutõkke õhujuhitavuse 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 õhujuhtivus 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 õhutõke), 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 soojustuskihiti, 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  $H/A$ ,  $W/(\text{m}^2\text{K})$ :** 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  $q_{50}$ ,  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ :** hoone välispiirete õhupidavust iseloomustav näitaja, mis on määratud õhulekkestega 50 paskali (Pa) rõhkude erinevusel. Hoone keskmine õhulekkearv antakse hoone välispiirete (sh. pinnasele toetuv põrand) ruutmeetri kohta. Välispiirete pindala arvutatakse sisemõõtude põhjal;

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

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

**Soojustakistus  $R$ ,  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ :** 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  $U$ ,  $W/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ :** 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)  $U$ ,  $W/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ :** piirdetarindi omadus, mis väljendab soojuse voolu (üldisemas mõttes: soojusjuhtivus + konvektsioon + kiirgus) vattides läbi 1  $\text{m}^2$  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**  $\Psi_j$ , 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**  $\chi_p$ , 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.