

**Määruse „Energiatõhususe miinimumnõuded“ täiendav
analüüs - lõpparuanne**

TTÜ keskkonnatehnika instituudi direktor Enn Loigu05.01.2010

TTÜ kütte ja ventilatsiooni õppetooli juhataja Teet-Andrus Kõiv05.01.2010

Sisukord

	Eessõna	4
1	Sissejuhatus	5
1.1	Energiakasutust mõjutavad ehitusnormid, standardid	5
1.1.1	Olemasolevad hooned	5
1.1.2	Lähiminevikus projekteeritud ja ehitatud hooned ning uued projekteeritavad hooned	6
2	Ühepereelamud	7
2.1	Ühepereelamu A	8
2.1.1	Valitud hoone kirjeldus	8
2.1.2	Arvutusmudeli kirjeldus	8
2.1.3	Tulemused	10
2.2	Ühepereelamu B	17
2.2.1	Valitud hoone kirjeldus	17
2.2.2	Tulemused	19
2.3	Ühepereelamu C	20
2.3.1	Valitud hoone kirjeldus	20
2.3.2	Tulemused	22
2.4	Kokkuvõte ühepereelamute analüüsi kohta	25
3	Korterelamud	26
3.1	Korterelamu A	26
3.1.1	Valitud hoone kirjeldus	26
3.1.2	Arvutusmudeli kirjeldus	27
3.1.3	Tulemused	29
3.2	Korterelamu B	35
3.2.1	Valitud hoone kirjeldus	35
3.2.2	Tulemused	38
3.3	Korterelamu C	45
3.3.1	Valitud hoone kirjeldus	45
3.3.2	Tulemused	48
3.4	Kokkuvõte korterelamute analüüsi kohta	53
4	Büroohooneid	54
4.1	Büroohoone A	54
4.1.1	Valitud hoone kirjeldus	54
4.1.2	Arvutusmudeli kirjeldus	54
4.1.3	Tulemused	60
4.2	Büroohoone B	68
4.2.1	Valitud hoone kirjeldus	68
4.2.2	Arvutusmudeli kirjeldus	68
4.2.3	Tulemused	74
4.3	Kokkuvõte büroohtonete analüüsi kohta	82
5	Koolimaja	84
5.1.1	Valitud hoone kirjeldus	85
5.1.2	Arvutusmudeli kirjeldus	86
5.2	Tulemused	89
5.3	Kokkuvõte koolimaja analüüsi kohta	93
6	Lasteaed	94
6.1.1	Valitud hoone kirjeldus	97
6.1.2	Arvutusmudeli kirjeldus	99
6.2	Tulemused	101

	Energiaarvutuse arvutusmudeli kalibreerimine	101
	Energiaarvutus	102
	Suviste ruumitemperatuuride arvutus	106
	Ruum A	107
	Ruum B	110
6.1	Kokkuvõtte koolimaja analüüsi kohta	113
7	Energiaarvutuse miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud meetodi arvutused väikeelamutele	115
	7.1.1 Taust	115
	7.1.2 Arvutused	115
	7.1.3 Tulemused	115
8	Märkused ja muudatusettepanekud määruse kohta	118

Eessõna

Käesolev raport võtab kokku Tallinna Tehnikaülikooli keskkonnatehnika instituudis ajavahemiku september 2008 kuni detsember 2009 läbiviidud töö „Määruse „Energiaühenduse miinimumnõuded“ täiendav analüüs“. Uurimistöö on tehtud Majandus- ja Kommunikatsiooniministeeriumi tellimusel ja finantseerimisel (esindaja Madis Laaniste).

Tallinna Tehnikaülikooli poolt osalesid uurimistöös järgmised asutused ja isikud:

Keskkonnatehnika instituut (kütte ja ventilatsiooni õppetool):
vastutav täitja: Teet-Andrus Kõiv,
põhitäitja ja uurimisraporti toimetaja: Allan Hani,
täitjad: Endrik Arumägi, Martin Thalfeldt, Kalle Kuusk; Mikk Maivel;

Ehitiste projekteerimise instituut (ehitusfüüsika ja arhitektuuri õppetool):
põhitäitja: Targo Kalamees,
täitja: Simo Ilmomets;

Uurimistöö üldiseks eesmärgiks oli analüüsida määruses „Energiaühenduse miinimumnõuded“ sätestatud nõudeid hoonete energiaühendusele ja välja selgitada olulisemad nõuete rakendamise esile kerkivad probleemid. Detailsemalt tuli välja tuua:

- olulisel määral hoonete energiaühendust mõjutava Eesti tänase ehitustava alused;
- määruses energiaühendusarvule sätestatud nõuete võrdlus tänase uute ja olemasolevate hoonete ehitustavadega;
- suvise ruumitemperatuuri piirväärtuse nõude analüüsimise vajadus ja soovituslik ulatus energiaühenduse nõuetele vastavuse tõendamise käigus;
- arvamus määruses antud hoone standardkasutuse info piisavuse ja energiaarvutuse arvutuskäigu kohta;
- parandusettepanekud määruse nõuete, tekstide ja lisade osas. Soovitavad energiaühenduse miinimumnõuetele vastavuse tõendamise menetluse lihtsustamiseks lihtsatel väikehoonetel;
- ettepanekud Eesti energiaühenduse miinimumnõuete regulaarse läbivaatuse korraldamiseks ning täiendavateks uuringuteks Eesti energiaühenduse miinimumnõuete seonduvates küsimustes.

Uurimistöös keskenduti viiele erinevale hoonetüübile: ühepereelamu, korterelamu, büroohoone, koolimaja ja lasteaed. Energiaühenduse analüüs teostati reaalsele hoonetele, millede energiaühendus oli mõõdetud. Iga hoonetüübi analüüsi juures kasutati sama meetodikat: Reaalse hoone kohta koostati arvutuslik mudel (kasutati hoonete energiaarvutustarkvara IDA Indoor Climate and Energy), arvutuslik mudel kalibreeriti mõõdetud energiaühenduse tulemuste alusel ja analüüsiti piirdetarindite ja tehnosüsteemide erinevate lahenduste mõju energiaühendusarvule.

Tulemuste analüüsi alusel on antud arvamus ja parandusettepanekud määruse nõuete, tekstide ja lisade kohta. Täiendavalt töötati välja energiaühenduse miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud menetlus lihtsatele väikehoonetele.

Täname uurimistöö tellijat ja rahastajat.

1 Sissejuhatus

1.1 Energiakasutust mõjutavad ehitusnormid, standardid

1.1.1 Olemasolevad hooned

NSVL aegsete hoonete piirete soojuspidavuse arvutuste aluseks on SNiP II-3-79* „Stroitel'naja teplotehnika“. Kuna energiahinnad olid väga madalad, siis olid toodud ajajärgul projekteeritud hoonete tarindid väikese soojustakistusega ning hooned ise energiakulukad. Oluliselt mõjutab hoonete soojuspidavust ka tollaegne madal ehituskvaliteet.

Mõningaid näitlikke suurusi elamute seinte soojuspidavuse kohta:

- 5- ja 9- kordsed paneelelamud: U-arv 0,8-1,2 W/(m²K)

Vanematel paneelmajadel kasutati soojustuseks kerge mahukaaluga fibroliiti ehk TEP-plaate enamasti 75+50mm. 70ndate aastate lõpu poole hakati kasutama nn. penoplasti (roosat värvi), kuid seda kasutati mõned aastad, kuna ta imas vett kergesti sisse. 80ndatest võeti kasutusele vahtpolüstüreen ja fenoplast ning väga harva kasutati soojustuseks ka vahtpolüuretaani, kuid viimase hind oli liiga kallis.

- 1,5cm krohv + 38cm soojustamata täissilikaattellissein + 1,5cm krohv: U~2,0 W/(m²K)
- 1,5cm krohv + 51cm soojustamata täissilikaattellissein +1,5cm krohv: U~1,6 W/(m²K)
- 1,5cm krohv + 12cm täissilikaattellis + 6cm mineraalvatt + 25cm täissilikaattellissein + 1,5cm krohv: U~1,2-1,4 W/(m²K).
- 1,5cm krohv + 12cm keraamiline õõnestellis + 6cm mineraalvatt + 25cm täissilikaattellissein + 1,5cm krohv: U~1,1 W/(m²K).
- 1,5cm krohv + 12cm täissilikaat- või keraamiline õõnestellis + 14cm mineraalvatt + 25cm täissilikaattellissein + 1,5cm krohv: U~0,8 W/(m²K).
- Põlevkivituhkgaasbetoonist väikeplokki 30cm + 1,5cm krohv sõltuvalt mahukaalust (600 või 700 kg/m³): U~0,6-0,8 W/(m²K).
- Gaassilikaltsiidist plokki (800-1000 kg/m³) („хрущовка“) 30cm + 1,5cm krohv: U~0,95 W/(m²K)

Ülaltoodud suurused kujutavad ilma külmasildadeta tarindeid. Samas on tollaegsetele piirdetarinditele iseloomulikud suured külmasillad, mistõttu piirde kui terviku keskmine soojajuhtivus on kindlasti suurem. Lisaks on sageli soojustus vajunud või võib puududa see sootuks, mistõttu on soojajuhtivus suurem.

Akende U-arvud varieerusid vahemikus 2-5 W/(m²K)

1.1.2 Lähiminevikus projekteeritud ja ehitatud hooned ning uued projekteeritavad hooned

Eesti Vabariigi Ehitusministeeriumi määrus nr. 1 (05.03.1992) „Edasilükkamatutest abinõudest energia säästmiseks ehituses“ soovitas kuni asjassepuutuvate normdokumentide väljatöötamise ja kehtestamiseni:

piirata projekteeritavates ja rekonstrueeritavates elamutes aasta arvutuslikke soojakulusid küttele ja ventilatsioonile, arvestatuna elamute köetava pinna ruutmeetritele:

- pereelamutes kuni 280 kWh/m²,
- ridaelamutes kuni 265 kWh/m²,
- teistes elamutes kuni 190 kWh/m²,

näha ette uute ja rekonstrueeritavate tootmis- ja büroohonete projektides mehaaniline ventilatsioon heitõhu soojuse ärakasutamiseks;

näha ette uute ja rekonstrueeritavate hoonete projektides tehnilised vahendid ruumide õhutemperatuuri ja tuulutusõhu hulga reguleerimiseks;

suurendada uute ja rekonstrueeritavate soojustrasside isolatsiooni kuni kahekordseks, võrreldes kehtivate nõuetega.

Eesti Vabariigi Ehitusministeeriumi käskkirjaga nr. 62 (19.06.1991) „Hoonete välispiirete soojapidavus“ kehtestati väikemajade ja mitmekorruseliste hoonete köetava osa välispiirete soojajuhtivuse piirväärtuse normid:

Väikemajade seinad	0,33 W/(m ² ·K),
Mitmekorruseliste hoonete seinad	0,45 W/(m ² ·K),
Ülemiste korruste laed ja katuslaed	0,25 W/(m ² ·K).

Vastavad Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18°C→22°C) on piirdetarindite soovituslikud piirsuurused:

Sokkel	0,41 W/(m ² ·K),
Välissein	0,23 W/(m ² ·K),
Aken, välisukse klaas	1,7 W/(m ² ·K),
Välisuks	0,57 W/(m ² ·K),
Põrand pinnasel	0,29 W/(m ² ·K),
Põrand välisõhu kohal	0,18 W/(m ² ·K),
Mitteköetava pööningu põrand	0,18 W/(m ² ·K),
Katuslagi	0,18 W/(m ² ·K),
Mitteköetava ruumiga külgnev sein	0,37 W/(m ² ·K),
Külmasild	0,49 W/(m ² ·K),

Piirdetarindite majanduslikult optimaalse soojajuhtivuse kohta on välja antud vastav arvutusjuhised (ET-2 0404-0231 Hoone piirdetarindi majanduslikult optimaalse soojajuhtivuse arvutusjuhised). Hoone soojuskoormuse määramise meetod on toodud: EVS 829:2003 „Hoone soojuskoormuse määramine“.

Lähtuvalt kõrgetest kütusehindadest maailmaturul on tendents kasutada hoonete kavandamisel ja ehitamisel väiksemate soojajuhtivustega piirdetarindeid. Tõsiseltvõetavalt tuleks kaaluda majanduslikult optimaalsete piirdetarindite soojajuhtivuste ümberhindamist.

Energiatõhususe miinimumnõuete määrusega on piirdetarindite vajaliku soojuspidavuse määramise põhimõtted muutunud: komponendi optimeerimiselt on mindud üle hoone, kui terviku optimeerimisele. See on positiivne muutus. Eriti hästi pääseb selle mõju esile oluliselt renoveeritavate hoonete (sh. miljööväärtuslikud alad jne) juures, kus eesmärgiks ei ole enam mitte piirdetarindi soojajuhtivuse piirsuuruse tagamine vaid hoone kui terviku energiatõhususe tagamine.

2 Ühepereelamud

Ühepereelamute analüüs on tehtud kolme hoone näitel. Kõik analüüsitud hooned on ühekorruselised, kuna see annab tulemused tagavara kasuks, sest kahekorruselised elamud on kompaktsemad ja muude näitajate samasuse korral annab kahekorruseline hoone väiksema energiatõhususarvu.

Energiakuluarvutused on tehtud erinevate hoonepiirete lahenduse kohta (vt. Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	A	B	C	F	P
Soojajuhtivus, W/(m ² ·K)					
Välissein	0,36	0,23	0,23	0,17	0,07
Katuslagi	0,28	0,18	0,18	0,09	0,06
Põrand	0,28	0,18	0,18	0,16	0,08
Aken: klaas / raam (raami osakaal 10%)	2,7 / 2,0	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,0 / 1,1	0,5 / 1,1
Päikesefaktor, g	0,76	0,58	0,58	0,53	0,50
Välisuks	1,0	0,7	0,7	0,7	0,4
Õhulekkearv q ₅₀ , m ³ /(h·m ²) / l/(s·m ²)	9 / 2,5	3 / 0,83	3 / 0,83	3 / 0,83	0,6 / 0,167
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0	0	0,8	0,8	0,8
Ventilaatori summaarne kasutegur	0,2	0,2	0,116	0,116	0,116
Heitõhu miinimumtemperatuur, °C	-	-	0 °C	0 °C	0 °C
Ventilaatori poolt arendatav rõhk sissepuhe/väljatõmme, Pa	200 / 230	200 / 230	75 / 100	75 / 100	75 / 100

Variant A on valitud vastama keskpärast 80...90-aastate väikeelamu. Variant C hoonepiirded vastavad Eesti projekteerimismisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18°C→22°C). Variant B esindab Eesti projekteerimismisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele vastavate välispiiretega hoonet, mille ventilatsiooni õhu eelsoojendamiseks ei kasutata soojustagastit. Variant F hoonepiirded on valitud vastama Soome ehitusmääruse C3 (2010) nõudeid. Variant P puhul on hoonepiirete juures energiatõhususele pööratud veel rohkem tähelepanu.

Hoonetes on radiaatorküte ja ei ole jahutussüsteemi. Suvel avatakse elutoa, magamistoa ja pesuruumi aknaid, kui temperatuur tõuseb üle 24°C (temperatuuride erinevusest tingitud konvektsioon). Ventilatsiooniõhu sissepuhketemperatuur on +18 °C. Õhu temperatuuri tõus ventilaatoris ja torustikus on 1 °C. Sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsiooni korral on sissepuhke ja väljatõmbe õhuhulgad võrdsed. Magamistubade ukсед on päeval lahti, vannituba ja WC õhuvahetus ülejäänud ruumidega toimub siirdeõhuresti kaudu.

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn. Hoonest 20m kaugusel asuvad 3m kõrgused naaberhooned.

Temperatuur 1 m sügavusel pinnases on +8°C.

2.1 Ühepereelamu A

2.1.1 Valitud hoone kirjeldus

Hoones on 5 tuba (3 magamistuba, elutuba ja kabinet-külalistetuba), köök ning saun koos majapidamisruumiga (vt. Joonis 2.1). Hoone on valitud majapaketi pakkuja kataloogist esindama tüüpilist ühekorruselist väikemaja. Antud hoone kohta mõõdetud energiatarbimise andmed puuduvad.



Joonis 2.1 Analüüsitud ühepereelamu A plaan

Üksikelamu peamised tehnilised näitajad:

Suletud netopind = köetav pind: 127,6m²;

Laius × pikkus: 15,15x11,25m;

Siseruumide kõrgus: 2,6m;

Magamistubade arv: 3;

Elanike arv: 4 (veekasutus), 3,2 (vabasoojused);

Kütte temperatuuriseade: 21°C, sauna ja pesuruumides : 23°C;

Hoone kompaktsus (välispiirete pindala ja ruumala suhte): $A_{\text{piirded}} / V_{\text{sise}} = 1,2$;

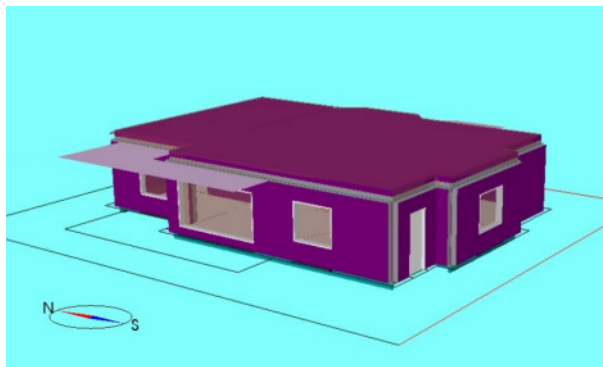
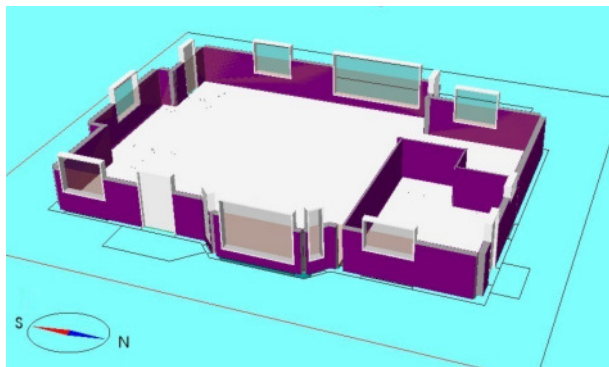
Suletud netopinna suhe välispiirete pinda on: $A_{\text{piirded}} / A_{\text{neto}} = 3,15$.

Ventilatsiooni õhuvooluhulk: 68 l/s, 0,53l/(s·m²), õhuvahetuskordsus 0,74.

2.1.2 Arvutusmudeli kirjeldus

Hoone on jaotatud kaheks tsooniks erineva kütte temperatuuriseade alusel:

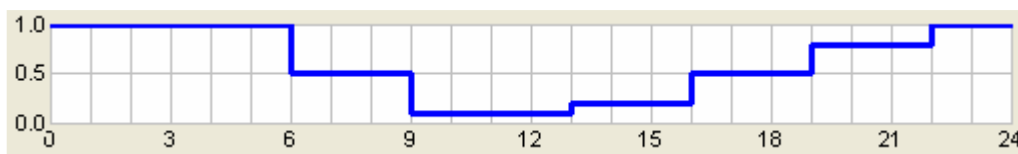
magamistoad, elutuba ja köök: 21°C;
saun, pesuruumid ja majapidamisruum: 23°C.



Joonis 2.2 Hoone tsoonideks jaotus (vasakul) ja välisvaade edelast (paremal)

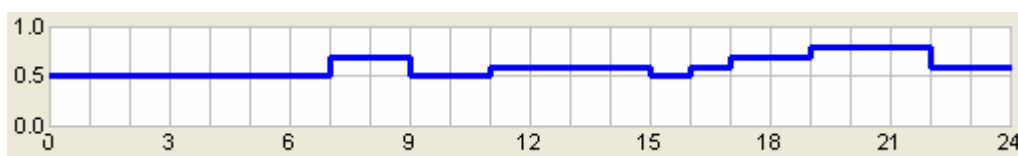
Läänefassaadil olevate akende ja hoone peaukse kohal on varikatus (vt. Joonis 2.2 paremal). Hoone on väikese soojusliku massiga (kergekarkass) seintega ja katuslaega ning pinnasele toetatud betoonpõrandaga.

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud 2 W/m^2 so. $2 \times 127,6 = 255 \text{ W}$. Arvestades inimese soojuseraldusega 80 W (ei sisalda varjatud soojust) on arvestatud 3,2 inimesega kelle soojaeraldus on arvatud vastavalt ISO 7730 standardile (1,2 met, 0,7 clo). Kasutusaste on 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.3. Ruumide kasutusprofiil on aasta ja nädala lõikes sama.



Joonis 2.3 Elanike kohalolek

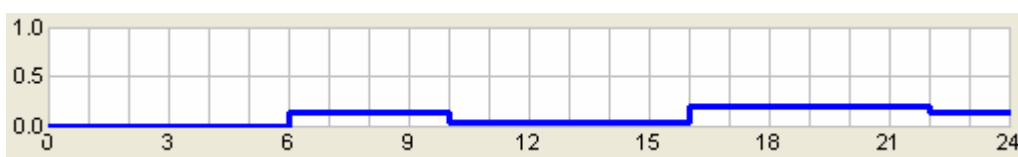
Seadmete vabasoojus on $2,4 \text{ W/m}^2$ so. $2,4 \times 127,6 = 306 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,6 (12,6 kWh/(m²·aastas), 1610 kWh/aastas). Seadmete elektritarve $184/0,7 = 262 \text{ W}$ (18 kWh/(m²·aastas), 2299 kWh/aastas). Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.4.



Joonis 2.4 Seadmete töögraafik

Majandusruumis on vabasoojusena arvesse võetud 10% tarbevee soojendamise netoenergiavajadusest, teisendades selle püsivaks aastaringseks võimsuseks ($4245 \text{ kWh}/8760 \text{ h} \times 10\% = 48,5 \text{ W}$).

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m^2 so. $8 \times 127,6 = 1021 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,1 (7 kWh/(m²·aastas), 894 kWh/aastas). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.5.



Joonis 2.5 Valgustite töögraafik

Sooja tarbevee kulu on 50 l inimese kohta ööpäevas ja on arvestatud 4 inimesega (3 magamistuba) so. 0,002894 l/s. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C.

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot 35} [l/s], \text{ mis on arvutatud hoonepiirete õhulekkearvu ja hoonepiirete pindala (402,3m}^2\text{)}$$

abil.

2.1.3 Tulemused

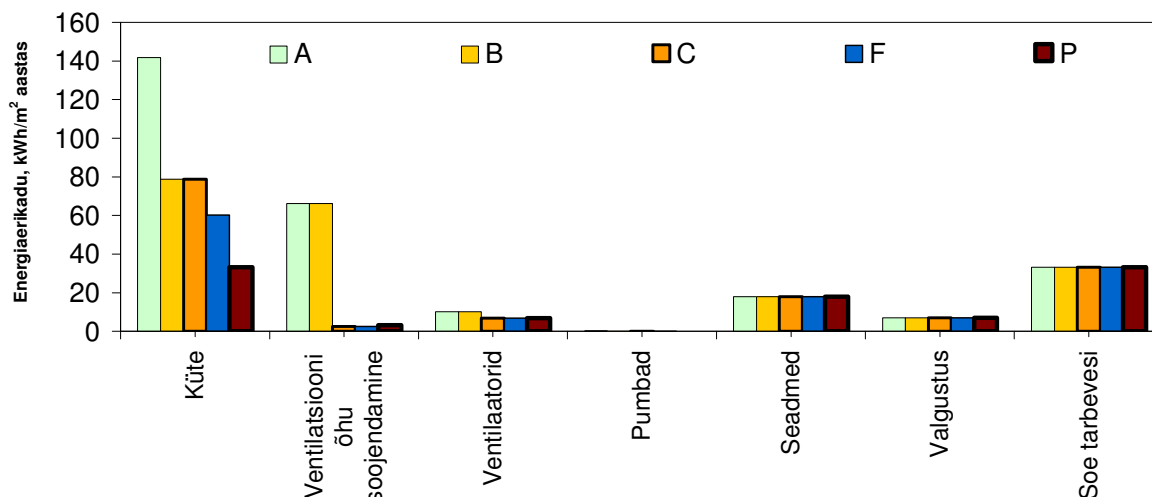
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva energia kohta vt. Tabel 2.1. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 2.2 Energiakulu arvutustulemused

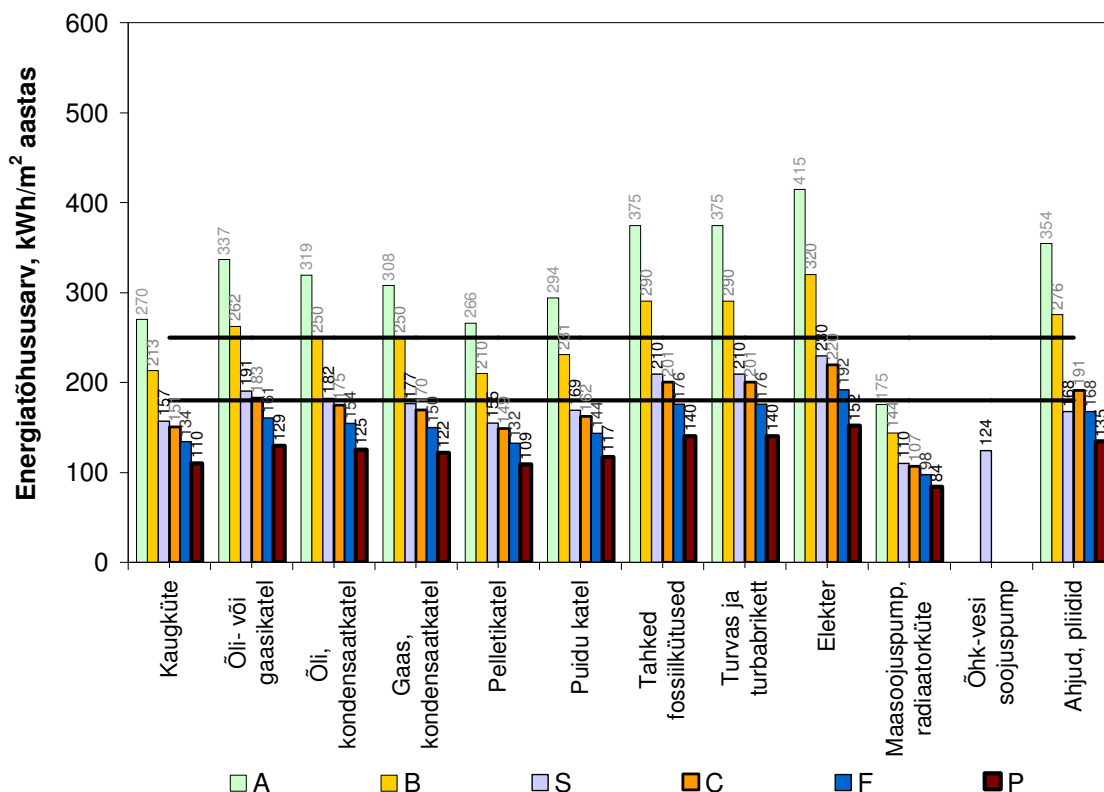
Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojagatagastus	Ventilaatorid, pumbad	Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
A, kWh	35286	18097	-	8442	-	0	1309	2299	894	4245
A, kWh/m ²	277	141	-	66	-	0	10	18	7,0	33
A, võimsus, W (-22°C)		7898		3236						
B, kWh	27234	10055	-	8442	-	0	1299	2299	894	4245
B, kWh/m ²	213	79	-	66	-	0	10	18	7,0	33
B, võimsus, W (-22°C)		6262		1836						
C, kWh	18688	10053	-	331	-	8117	867	2299	894	4245
C, kWh/m ²	146	79	-	2,6	-	64	9	18	7,0	33
C, võimsus, W (-22°C)		5055		1590						
F, kWh	16314	7689	-	323	-	8135	863	2299	894	4245
F, kWh/m ²	128	60	-	2,5	-	64	7	18	7,0	33
F, võimsus, W (-22°C)		4961								
P, kWh	12925	4226	-	400	-	8048	861	2299	894	4245
P, kWh/m ²	101	33	-	3,1	-	63	7	18	7,0	33
P, võimsus, W (-22°C)		3070		1430						

Tulemuste paremaks visualiseerimiseks on ühepereelamu A aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone kätava pinna ruutmeetri kohta esitatud ka Joonisel 2.6.



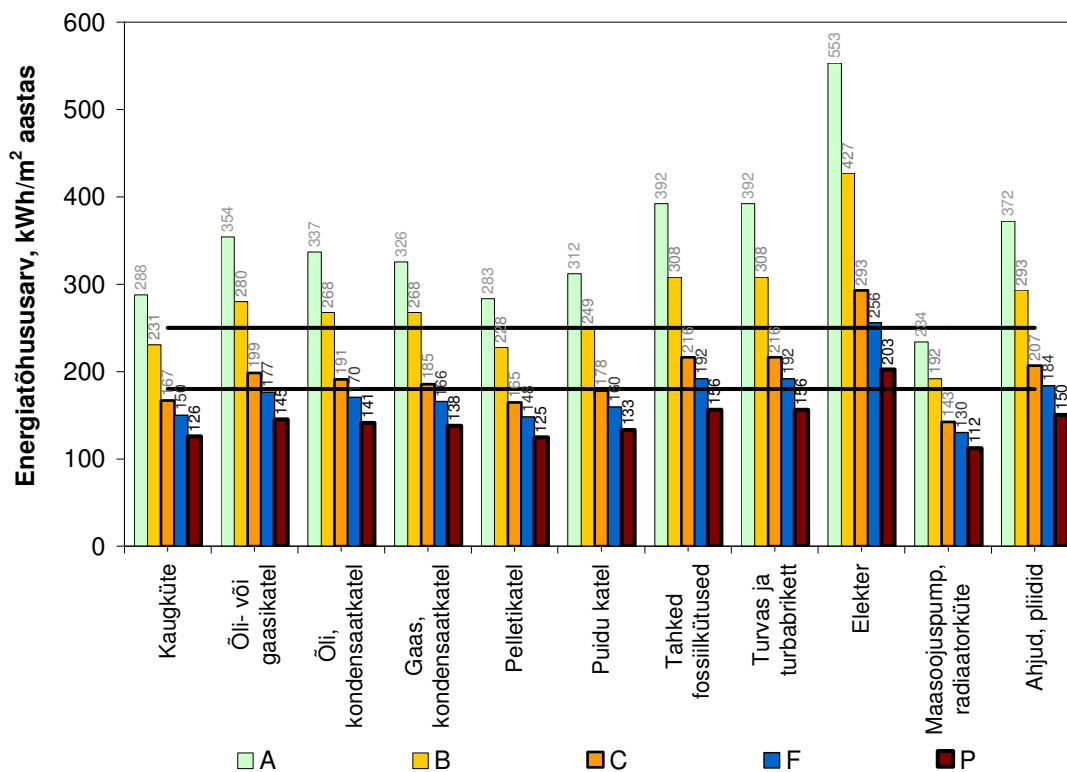
Joonis 2.6 Ühepereelamu A energiätõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud, vt. Joonis 2.7. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 2.7 Ühepereelamu A energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral

Lisaks on arvatud ka energiatõhususarvud kasutades elektri kaalumistegurit 2,0, Joonis 2.8.



Joonis 2.8 Ühepereelamu A energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral (elektri kaalumistegur 2,0)

Tulemused on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil, vt. Tabel 2.3 ja Tabel 2.4. maasoojapumbaga varustatud hoonele (variant C).

Tabel 2.3 Hoone A energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Ühepereelamu	×	Uusehitus
Aadress	Anonüümne	□	Rekonstrueeritav
Ehitusaasta	2009	□	Olemasolev
Köetav pind	127,6 m ²		hoone
Suletud netopind	127,6 m ²		
Energiaõhususarv (ETA)	107 kWh/m² (kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)		
	Ostetud kütused	Tarnitud energia	Kaalumis- tegur, -
Energiakandja	kogus/a	massi või mahuühik	Kaalutud energia- kasutus kWh/a
Elekter kütteks + tarbevesi	kWh/a	5033	1,5 7550
Elekter muud	kWh/a	4060	1,5 6090
Summa		9093	13640
	Hoone tehnosüsteemide energiakasutus		
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a
Küttesüsteem	10		5033
Ventilatsioonisüsteem	857		
Jahutussüsteem	-		
Elektrisüsteem	3193		
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	4060		5033
	Netoenergiavajadus, kWh/a		
Ruumide küte		3351	
Ventilatsiooniõhu soojendamine		110	
Tarbevee soojendamine		1572	
Kütteenergia kokku		5033	
Utiliseeritavad vabasoojused		2928	
Jahutus		-	
	Tehnosüsteemide võimsused		
	Elekter, kW		Soojus, kW
Küttesüsteem			6,7
Jahutussüsteem			-
Elektrisüsteem			

Tabel 2.4 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutussoonide arv	2					
Küttesüsteemi tüüp						
-soojusallikas ja kütus	Maasoojuspump					
-soojuse jaotamine	Veeradiaator					
Vent.süsteemi tüüp	Rootorsoojusvahetiga sissepuhke- väljatõmbe ventilatsioonisüsteem					
Jahutussüsteem	Ei ole					
Infiltratsiooni õhuvahetus	9,6 l/s					
Soojaerikadu	1,0 W/(K·m ²)					
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K			
Välissein	102,1	0,23	22,0			
Katuslagi	137,2	0,18	24,7			
Põrand pinnasel	137,2	0,18	24,7			
Aknad	25,3	1,4	25,3			
Uksed	6,3	0,7	4,4			
Summa/kaalutud keskmine	401,8	0,25	101,1			
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K			
Välissein/vahelagi	0,05					
Välissein/vahesein	0,03					
Välissein/välissein	0,08					
Akna ümbrus	0,03					
Ukse ümbrus	0,03					
Katus/välissein	0,09					
Põrand/välissein	0,1464					
Rõdu/välissein	0,2					
Välisseinad	0					
Summa, W/K			17,3			
Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikese-faktor g, -
Lõunasse	2,24	1,2	1,4	1,2	2,7	0,58
Läände	10,78	1,2	1,4	1,2	13,1	0,58
Itta	10,12	1,2	1,4	1,2	12,3	0,58
Põhja	2,12	1,2	1,4	1,2	2,6	0,58
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	25,26	1,2	1,4	1,2	30,8	0,58
Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat., Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sissepuhke temp., °C	Soojus-tagastus temperatuuri-suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilatsioonimasin 1	70/100	12/12		+18	80	0
Küttesüsteem						
	Süsteemi kasutegur, %	Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmine soojustegur), -		Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri koosseisus), kWh/a		
Ruumide küte	0,98	3				
Ventilatsiooniseade	0,12	3				
Soe tarbevesi		2,7				

Puudub	Külma tootmise jahutustegur, -		Jahutussüsteem		Abiseadmete elektritarbimisetegur, -	
			Süsteemikaotegur, -			
Sooja vee tarbimine						
	l/(d inim.)	Inimeste arv	l/(d·m ²)	m ²	kokku, m ³ /a	
	50	4			73	
Ahjud, kaminad ja elektrikerised						
Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)				Elektrikerise tarbimine, kWh/a		
Ahjud, W puudub		Kaminad, W puudub		810		
Vabasoojused						
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h		
Inimesed	2	60	7	24		
Seadmed	2,4	60	7	24		
Tarbevesi	0,4	100	7	24		
Valgustus	8	10	7	18		

Suviste ruumitemperatuuride arvutus

Hoone suviste temperatuuride analüüs on tehtud elutoa-esiku alusel, kuna selle ruumi suured aknad on suunatud lääne poole. Väikemajad on temperatuurikontrollist vabastatud järgmiste tingimuste samaaegsel täitmisel:

lääne ja lõunapoolsete välisseinte üle ühe ruutmeetri suurustel aknapindadel kasutatakse päikesekaitseklaase päikesefaktoriga $g \leq 0,4$ või muid vastavatoimelisi lahendusi; elu- ja magamistubade lääne- ja lõunapoolsete akende klaasiosa pind on maksimaalselt 30% ruumi lääne- ja lõunapoolsete välisseinte pinnast; elu- ja magamistubades on avatavate akende pind vähemalt 5 % nende ruumide põrandapinnast.

Tabel 2.5 Ühepereelamu A suvise ruumitemperatuuri kontrolli vabastus vastavalt VVm 258 lisas 22 esitatud tabelile

Ruum	Elutuba-esik		
Põrandapind	38,1 m ²		
Välisseinte pind	15,3 m ²		
Aken	Klaasiosa pind m ²	Ilmakaar	Päikesefaktor g, -
1	6,3	lääs	0,58
2	1,6	põhi	0,58
Summa	7,9	-	-
Akende klaasiosa pinna ja välisseinte pinna suhe		6,3×0,9/15,3=0,37	
Avatavate akende pinna ja põrandapinna suhe		0,04	

Kuna hoonel ei ole temperatuurikontrollist vabastatuse tingimustest täidetud esimene ja teine nõue (vt. ka Tabel 2.5), tuleb teostada suviste temperatuuride kontroll.

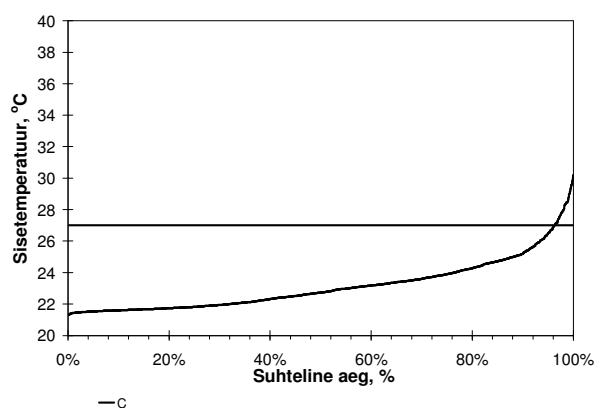
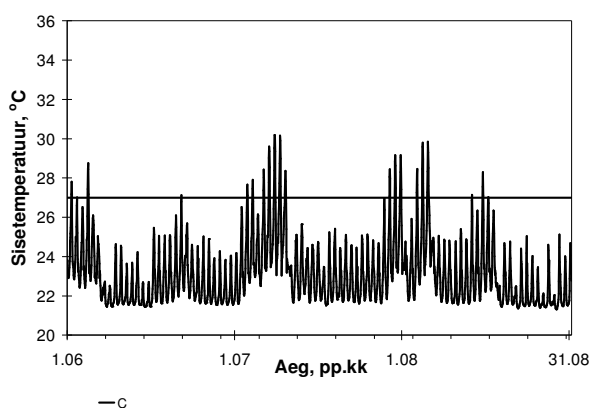
Elutoas on arvestatud 3,2 inimese soojakoormusega, kellede soojuseralduseks on arvatud vastavalt ISO 7730 standardile (1,2 met, 0,7 clo). Inimesed on toas 24×0,6×38,1/127,6=4,3h ööpäevas: 17:00...21:18. Seadmete vabasoojus on 2,4 W/m² so. 2,4×38,1=91,44 W ja seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.4. Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m² so. 8×38,1=304,8 W ja valgustid on sisse lülitatud jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.5. Ruumi sissepuhke õhuhulk on 15l/s ja väljatõmbe õhuhulk on 10l/s. Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn. Hoonest 20m

kaugusel asuvad 3m kõrgused naaberhooned. Elutoa aken-ust avatakse tuulutuseks maksimaalselt kolmandiku laiuses, kui temperatuur tõuseb üle 24 °C.

Arvutustulemused ja elutoa kasutusprofiil vastavalt VVm 258 lisa 21 esitatud tabelile vt. Tabel 2.6 ja Joonis 2.9.

Tabel 2.6 Ühepereelamu A suvise ruumitemperatuuri kontrolli tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisa 21 esitatud tabelile

Ruum	Elutuba		
Piirtemperatuur	27°C		
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv	102°C·h		
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
17:00-21:18	6,7		
0:00-7:00		1,2	
7:00-9:00		1,7	
9:00-11:00		1,2	
11:00-15:00		1,4	
15:00-16:00		1,2	
16:00-17:00		1,4	
17:00-19:00		1,7	
19:00-22:00		1,9	
22:00-24:00		1,4	
6:00-10:00			1,2
10:00-16:00			0,4
16:00-22:00			1,6
22:00-24:00			1,2



Joonis 2.9 Ühepereelamu A elutoa sisetemperatuur (vasakul) ja sisetemperatuuri jaotusfunktsioon (paremal) ajavahemikul 01.06-31.08

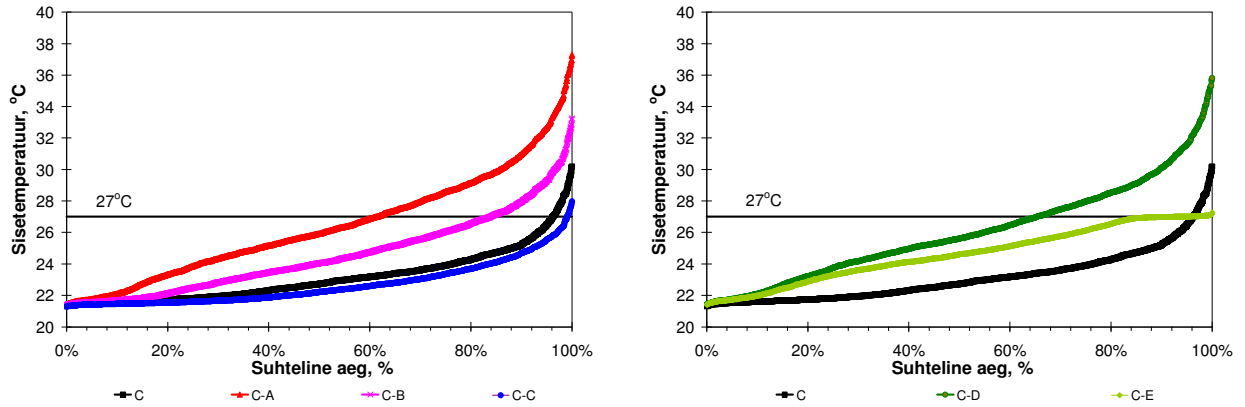
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 102°C·h. Suvise ruumitemperatuuri nõue on täidetud, kuna ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 27 °C rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august.

Lisaks on analüüsitud suviseid sisetemperatuure erinevates olukordades:

C võrdlusolukord (vt. eelmine arvutus)

- C-A puudub varikatus elutoa akna kohal ja akent ei avata;
- C-B varikatus on elutoa akna kohal, aga akent ei avata;
- C-C puudub varikatus elutoa akna kohal ja akent ei avata, kuid kasutatakse päikesekaitseklasse (Pilkington 6Csm-15Ar-SN6: $g=0,16$, $U=1,1$ W/(m²·K));
- C-D puudub varikatus elutoa akna kohal ja akent ei avata, kuid ruumiõhku jahutatakse ventilatsiooniõhu abil, mis rakendub, kui $t>24$ °C;
- C-E puudub varikatus elutoa akna kohal ja akent ei avata, kuid ruumiõhku jahutatakse, kui $t>24$ °C.

Tulemustest (vt. Joonis 2.10) on näha, et suletud akende ja ilma päikesekaitseta hoone korral tõuseb sisetemperatuur suvel väga kõrgele. Ligi pool suvekuude ajast püsib temperatuur üle 27 °C kraadi. Temperatuuri on võimalik alandada nii ehituslike lahendustega (päikesevari, aknatuulutus, päikesekaitseklaasid) kui ka mehaanilise jahutusega. Konstantse õhuvooluhulgaga ventilatsiooni korral ei piisa õhuvooluhulgast, et ruumitemperatuuri alandada (41% ajast on temperatuur >27 °C). Energiakulu suvekuudel mehaanilise jahutuse korral (C-E), mis tagab sisetemperatuur alla 27 °C on 10 kWh/m² aastas.

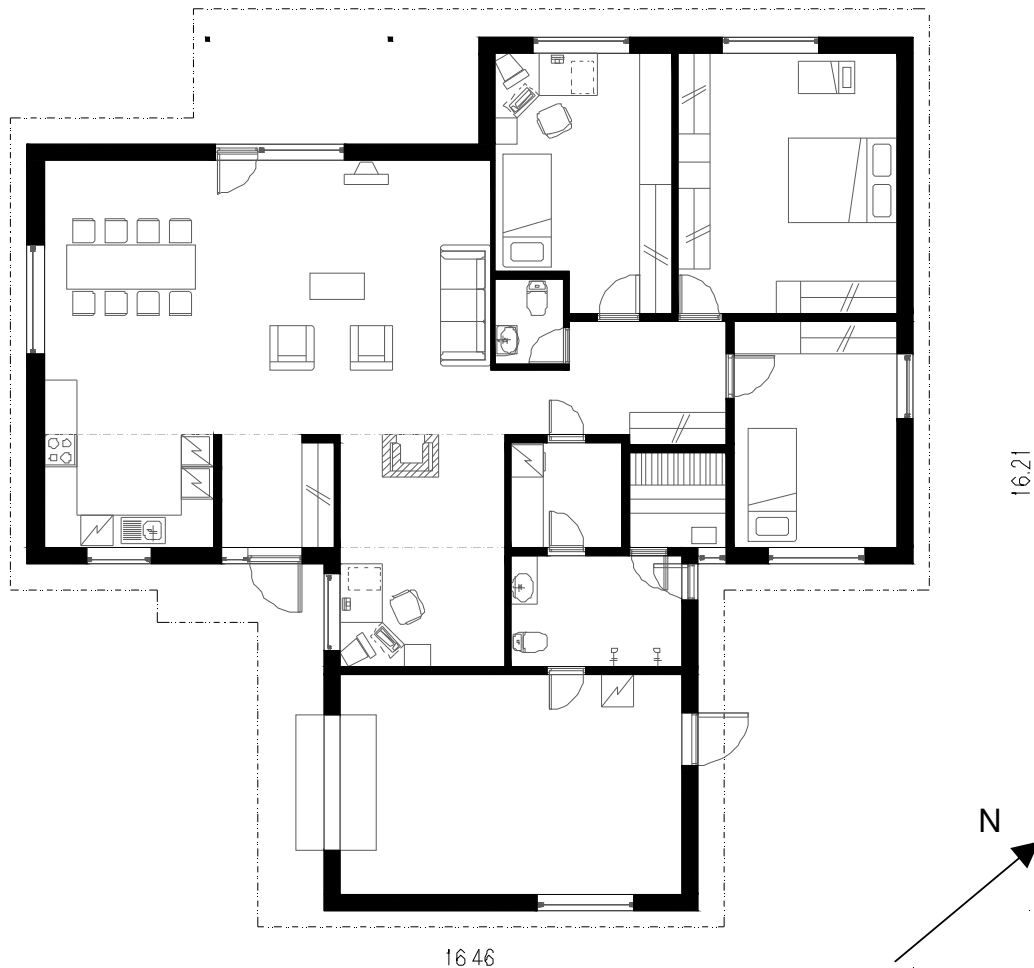


Joonis 2.10 Sisetemperatuur jaotusfunktsioon erinevate ehituslike lahenduste korral ilma jahutusega (vasakul) ja erinevate jahutuse seadistuste korral (paremal)

2.2 Ühepereelamu B

2.2.1 Valitud hoone kirjeldus

Hoones on 5 tuba (3 magamistuba, elutuba ja kabinet-külalistetuba), köök, saun ja garaaž (vt. Joonis 2.11). Kuna antud hoone on alles ehitusjärgus, siis selle kohta mõõdetud energiatarbimise andmed puuduvad.



Joonis 2.11 Analüüsitud ühepereelamu B plaan

Üksikelamu peamised tehnilised näitajad:

Suletud netopind = köetav pind: 164m²;

Laius × pikkus: 16,21x16,46m;

Siseruumide kõrgus: 2,8m;

Magamistubade arv: 3;

Elanike arv: 4 (veekasutus), 4,1 (vabasoojused);

Kütte temperatuuriseade: 21°C, sauna ja pesuruumides: 23°C;

Hoone kompaktsus (välispiirete pindala ja ruumala suhte): $A_{\text{piirded}} / V_{\text{sise}} = 1,2$;

Suletud netopinna suhe välispiirete pinda on: $A_{\text{piirded}} / A_{\text{neto}} = 3,38$;

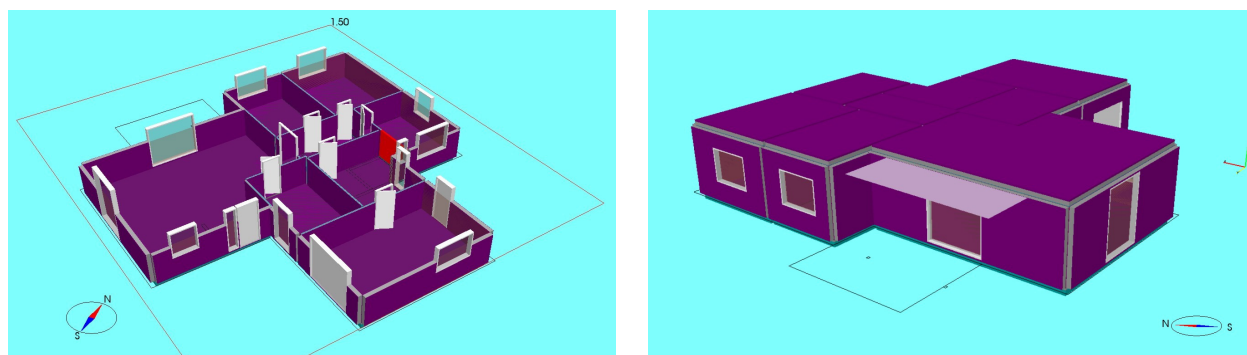
Ventilatsiooni õhuvooluhulk: 90 l/s, 0,55l/(s·m²), õhuvahetuskordsus 0,70.

Arvutusmodeli kirjeldus

Hoone on jaotatud kaheksaks tsooniks erineva kütte temperatuuriseade alusel:

saun, pesuruumid ja majapidamisruum: 23°C.

kõik muud ruumid: magamistoad, elutuba ja köök, koridor, garaaž: 21°C;



Joonis 2.12 Ühepereelamu B tsoonideks jaotus (vasakul) ja välisvaade läänest (paremal)

Läänefassaadil olevate akna kohal on varikatus (vt. Joonis 2.12 paremal). Hoone on väikese soojusliku massiga (kergekarkass) seintega ja katuslaega ning pinnasele toetatud betoonpõrandaga.

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud 2 W/m^2 so. $2 \times 164 = 328 \text{ W}$. Arvestades inimese soojuseraldusega 80 W (ei sisalda varjatud soojust) on arvestatud 4,1 inimesega kelle soojaeraldus on arvatud vastavalt ISO 7730 standardile (1,2 met, 0,7 clo). Kasutusaste on 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.3. Ruumide kasutusprofiil on läbi aasta sama.

Seadmete vabasoojus on $2,4 \text{ W/m}^2$ so. $2,4 \times 164 = 393,6 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,6 (12,6 kWh/(m²·aastas), 2069 kWh/aastas)). Seadmete elektritarve $184/0,7 = 262 \text{ W}$ (18 kWh/(m²·aastas), 2955 kWh/aastas). Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.4. Seadmete vabasoojus on jaotatud võrdselt vastavalt ruumide pindalale.

Majandusruumis on vabasoojusena arvesse võetud 10% tarbevee soojendamise netoenergiavajadusest, teisendades selle püsivaks aastaringseks võimsuseks ($4245 \text{ kWh}/8760 \text{ h} \times 10\% = 48,5 \text{ W}$).

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m^2 so. $8 \times 164 = 1312 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,1 (7 kWh/(m²·aastas), 1149 kWh/aastas)). Valguste vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.5.

Sooja tarbevee kulu on 50 l inimese kohta ööpäevas ja on arvestatud 4 inimesega (3 magamistuba) so. 0,002894 l/s. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C.

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka

$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot 35} [l/s]$, mis on arvatud hoonepiirete õhulekkearvu ja hoonepiirete pindala abil.

2.2.2 Tulemused

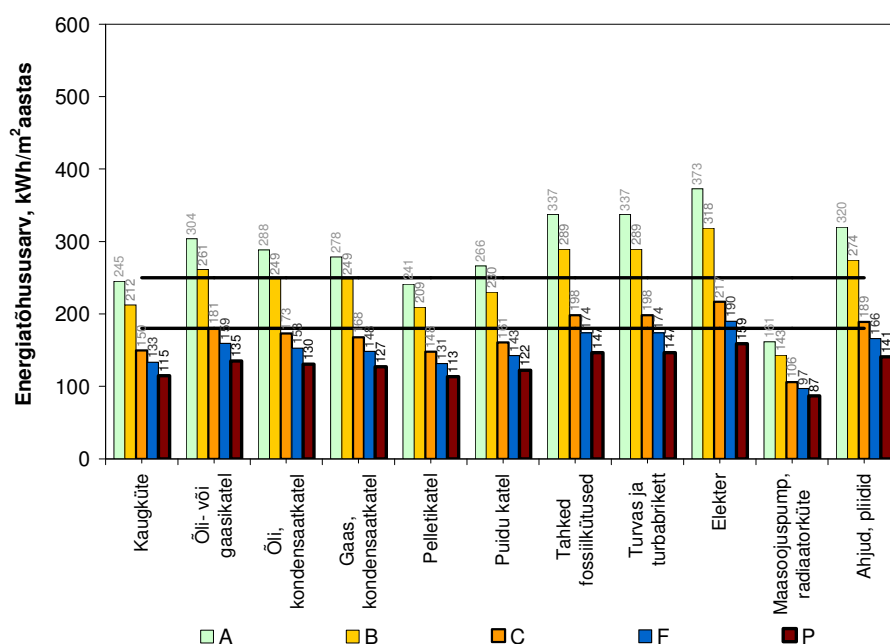
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva energia kohta vt. Tabel 2.7. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 2.7 Ühepereelamu B energiakulu arvustulemused

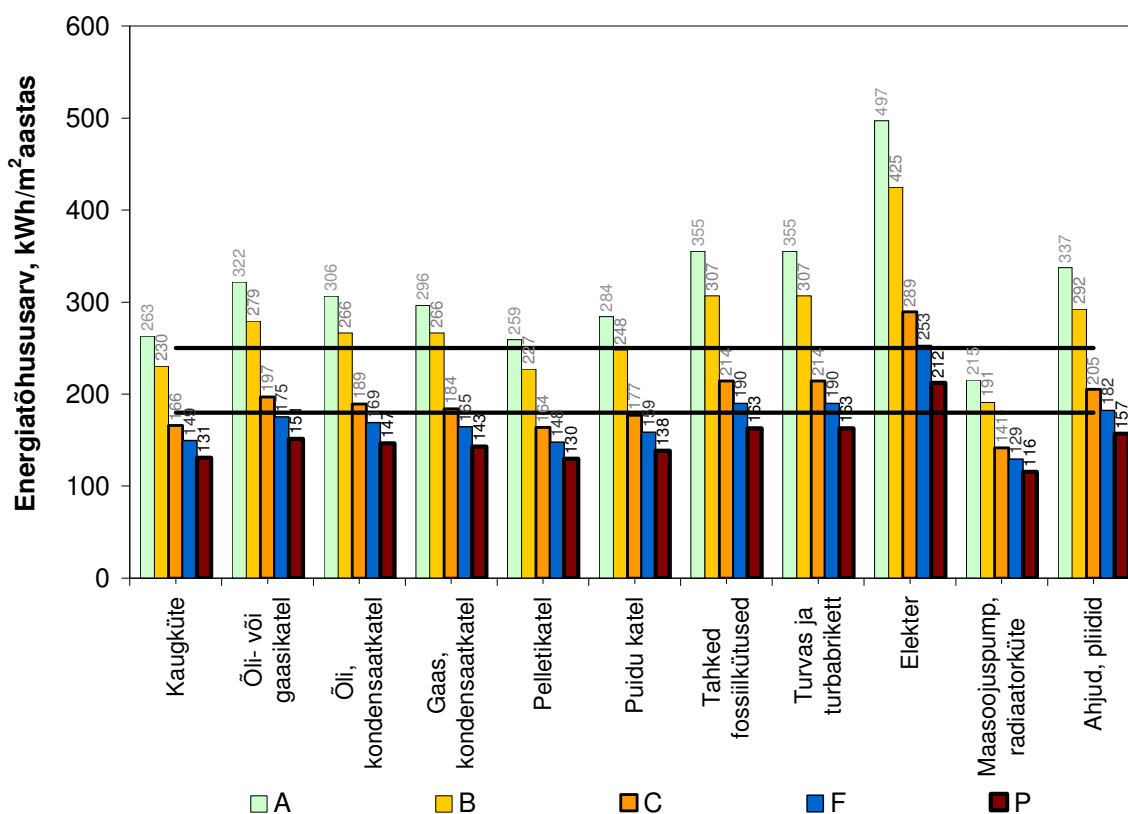
Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojagastus	Ventilaatorid, pumbad	Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
A, kWh	40771	19494	-	11161	-	0	1752	2963	1153	4245
A, kWh/m ²	249	119	-	68	-	0	11	18	7,0	26
A, võimsus, W/m ² (-22°C)		56		26						
B, kWh	34833	13579	-	11161	-	0	1728	2963	1153	4245
B, kWh/m ²	212	83	-	68	-	0	11	18	7,0	26
A, võimsus, W/m ² (-22°C)		40		26						
C, kWh	23731	13576	-	602	-	10565	1189	2963	1153	4245
C, kWh/m ²	145	83	-	3,7	-	64	7	18	7,0	26
C, võimsus, W/m ² (-22°C)		40		12						
F, kWh	20739	10615	-	571	-	10598	1181	2963	1153	4245
F, kWh/m ²	129	65	-	3,5	-	65	7	18	7,0	26
F, võimsus, W/m ² (-22°C)		33		12						
P, kWh	17392	7298	-	546	-	10621	1165	2963	1153	4245
P, kWh/m ²	106	44	-	3,3	-	65	7	18	7,0	26
P, võimsus, W/m ² (-22°C)		24		12						

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud, vt. Joonis 2.13. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 2.13 Ühepereelamu B energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral

Lisaks on arvatud ka energiatõhususarvud kasutades elektri kaalumistegurit 2,0, (vt. Joonis 2.14).



Joonis 2.14 Ühepereelamu B energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral (elektri kaalumistegur 2,0)

2.3 Ühepereelamu C

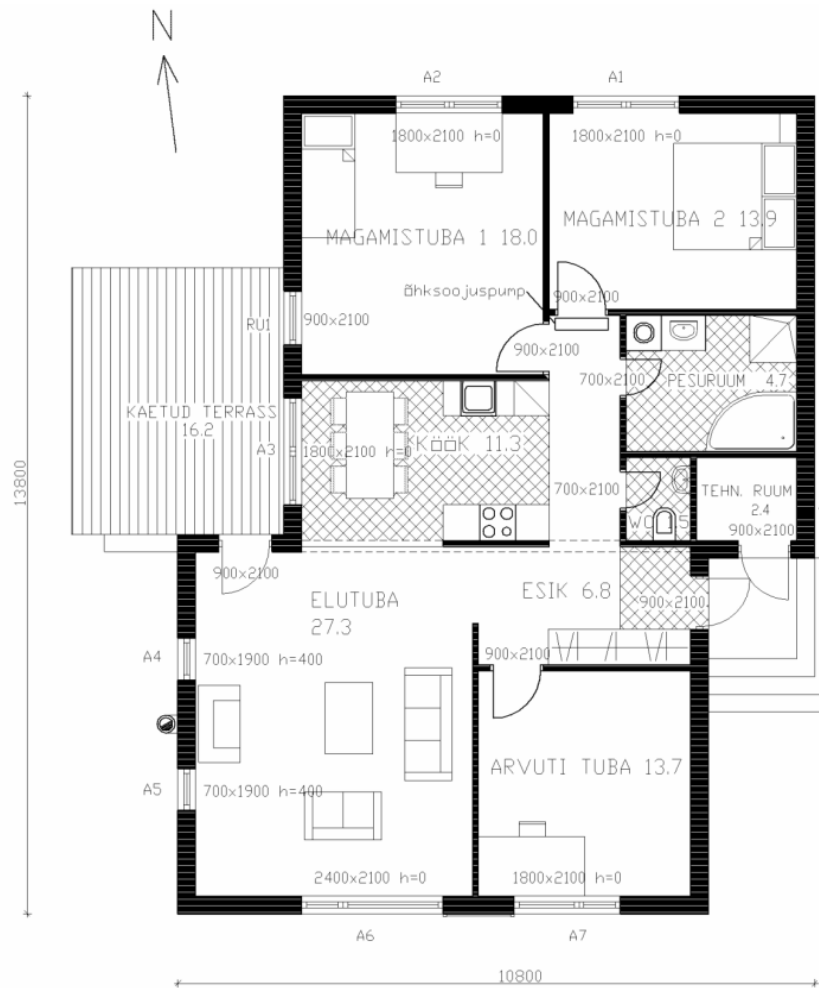
2.3.1 Valitud hoone kirjeldus

Ühepereelamu kolmas energiatõhususe analüüs määruuses toodud standardkasutusel on tehtud olemasoleva paarismaja ühe korteri baasil. Majaosade vahel on 2 kütmata garaaži, mistõttu on vaadeldav hoone käsitletav üksikelanuna. Hoone on väikese soojusliku massiga (kergekarkass) seintega ja katuslaega ning pinnasele toetatud betoonpõrandaga. Hoone on mittekompaktne, väikese kōetava pinnaga ühekorruseline hoone. Need näitajad annavad energiarvutustulemused tagavara kasuks.



Joonis 2.15 Fotod hoonest C

Hoones on elutuba avatud köögiga, 2 magamistuba, arvuti tuba, vannituba, WC ning tehnruum (vt. Joonis 2.16).



Joonis 2.16 Analüüsitud ühepereelamu C plaan

Üksikelamu peamised tehnilised näitajad:

Suletud netopind = kasulik pind = köetav pind: 110,5 m²;

Laius × pikkus: 13,80 x 10,80 m;

Siseruumide kõrgus: 2,5 m;

Magamistubade arv: 2;

Elanike arv (veekasutus ja vabasoojused): 3;

Kütte temperatuuriseade elutubades 21°C, vannitoas 23°C;

Hoone kompaktsus (välispiirete pindala ja ruumala suhe): $A_{\text{piirded}} / V_{\text{sise}} 1,22$;

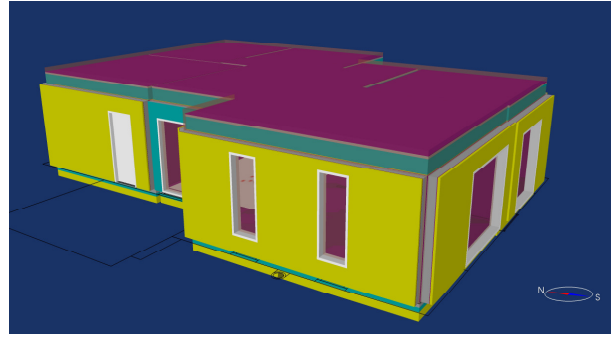
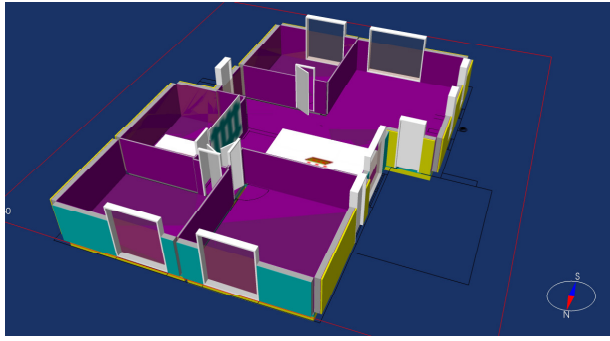
Suletud netopinna suhe välispiirete pinda: $A_{\text{piirded}} / A_{\text{neto}} 3,06$;

Avatäiteid koos raamidega on kokku 30,4 m², millest 63% on suunatud lõunasse või läände;

Ventilatsiooni õhuvooluhulk: 73 l/s, 0,66l/(s·m²), õhuvahetuskordsus 0,95.

Arvutusmudeli kirjeldus

Arvutusmudel on koostatud reaalse hoone alusel. Hoone on jaotatud tubade alusel viieks omaette tsooniks, vt Joonis 2.17.



Joonis 2.17 Ühepereelamu C tsoonideks jaotus (vasakul) ja välisvaade edelast (paremal).

Eraldi tsoonid moodustavad:

Elutuba koos avatud köögi, esiku ja koridoriga;
 Magamistuba 1;
 Magamistuba 2;
 Arvuti tuba;
 Vannituba koos WC ja tehnilise ruumiga.

Standardkasutuse korral on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud 2 W/m^2 so. $2 \times 110,5 = 221 \text{ W}$, kelle soojaeraldus on arvutatud vastavalt ISO 7730 standardile (1,2 met, 0,7 clo) ja kasutusaste 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.3. Ruumide kasutusprofiil on läbi aasta sama.

Seadmete vabasoojus on $2,4 \text{ W/m}^2$ so. $2,4 \times 110,5 = 265,2 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,6 ($12,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 1394 kWh/aastas). Seadmete elektritarve $159,1/0,7 = 227 \text{ W}$ ($18,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 1991 kWh/aastas). Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.4.

Majandusruumis on vabasoojusena arvesse võetud 10% tarbevee soojendamise netoenergiavajadusest, teisendades selle püsivaks aastaringseks võimsuseks ($3206 \text{ kWh}/8760 \text{ h} \times 10\% = 36,6 \text{ W}$).

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on $8 \times 0,1 \times 110,5 = 88 \text{ W}$ ($7,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 774 kWh/aastas). Valguste vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 2.5.

Hoonest idas asuvad 2 kütmata garaaži ning paarismaja teine pool. Ühe- või 1,5-kordsed naaberhood asuvad põhjas, lõunas ja läänes ca 30 m kaugusel.

Sooja tarbevee kulu on 50 l inimese kohta ööpäevas so. $0,001736 \text{ l/s}$ (3 inimest). Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C .

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka,

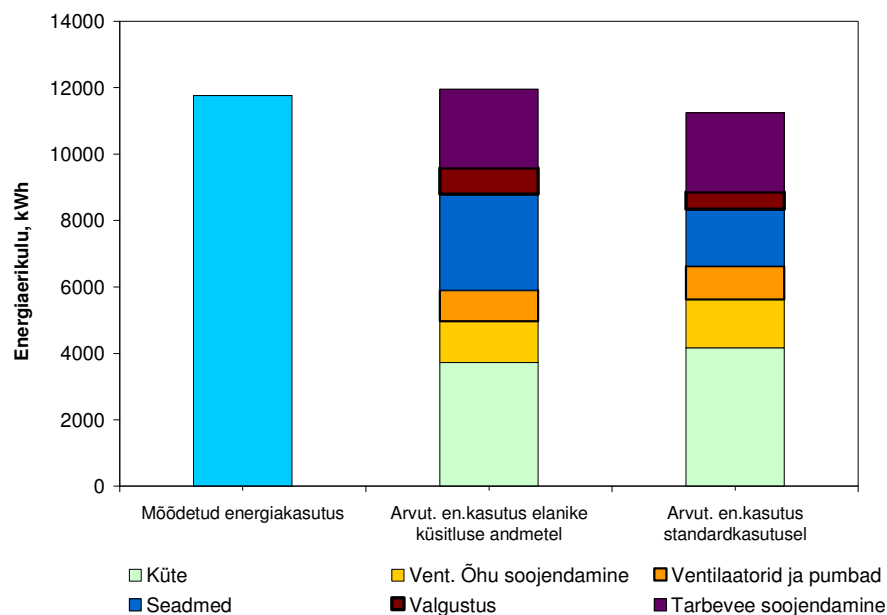
$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot 35} [l/s] \text{ mis on arvutatud hoonepiirete õhulekkearvu ja hoonepiirete pindala (338,0 m}^2\text{) abil.}$$

2.3.2 Tulemused

Energiaarvutus

Sisetemperatuuri ja energiakulu mõõtmised viidi antud eramus läbi perioodil 5.11.2007 kuni 6.07.2008. Elanike energiakasutuse profiil selgitati küsitluse teel. Mõõteperioodi jooksul mõõdetud energiatarbimise võrdlus arvutusliku energiatarbimisega vt. Joonis 2.18. Arvutuslik energiakasutus on esitatud nii määruse standardkasutuse, kui ka elanike küsitluse alusel saadud kasutusprofiili järgi arvatuna. Mõõdetud ja arvatud energiakasutuse erinevus

küsitlusejärgse kasutusprofiili korral oli 2% ja mõõdetud energiakasutuse ja arvutatud energiakasutuse erinevus määruse järgse kasutusprofiili korral oli 5%



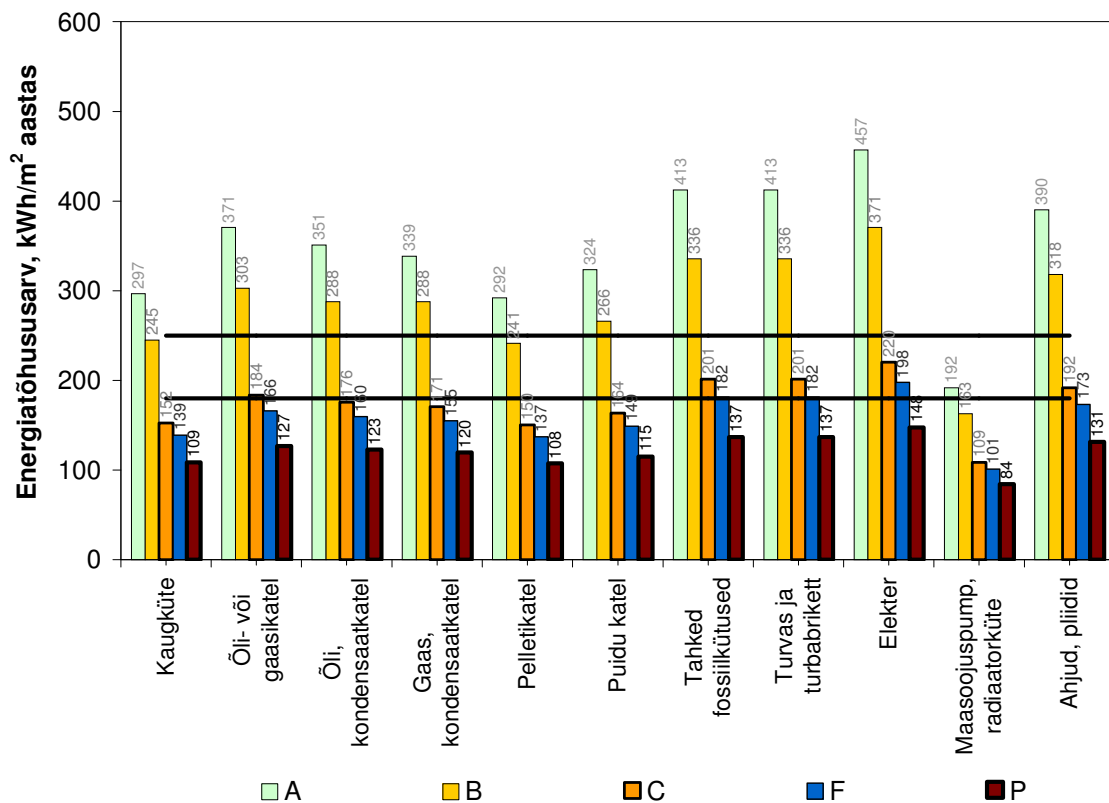
Joonis 2.18 Ühepereelamu C energia erikulu erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva energia kohta vt. Tabel 2.8. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 2.8 Ühepereelamu C energiakulu arvutustulemused

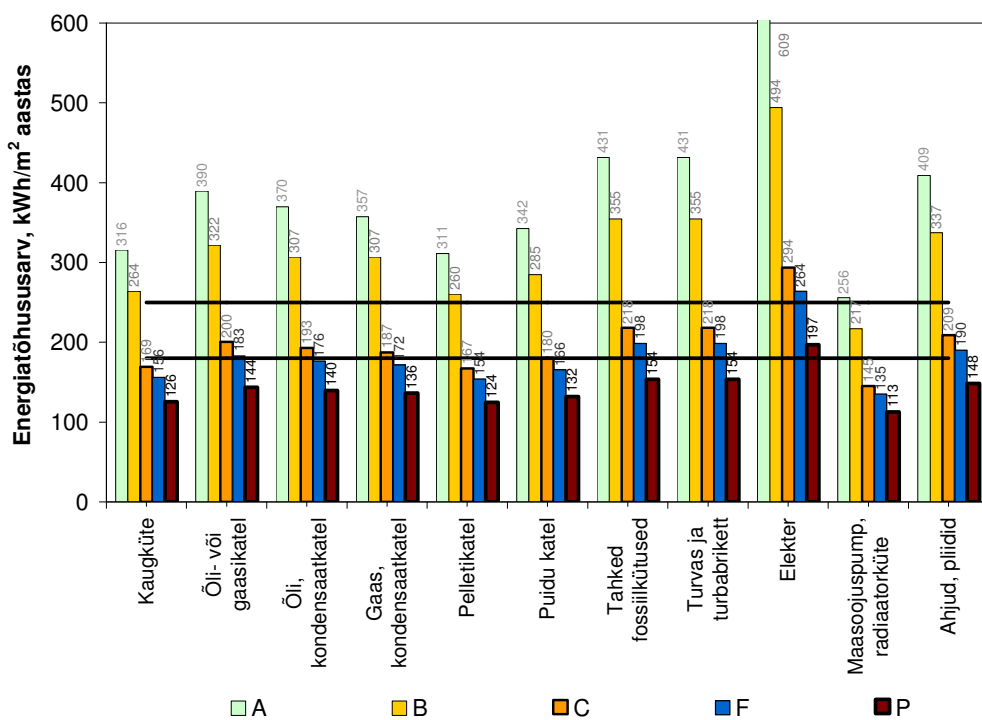
Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojagastus	Ventilaatorid, pumbad	Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
A, kWh	33665	17301	-	8986	-	0.8	1407	1991	774	3206
A, kWh/m ²	305	156.6	-	81.3	-	0.0	12.7	18.0	7.0	29.0
A, võimsus, W/m ² (-22°C)		65		31						
B, kWh	27307	10957	-	8985	-	0.8	1394	1991	774	3206
B, kWh/m ²	247	99.2	-	81.3	-	0.0	12.6	18.0	7.0	29.0
B, võimsus, W/m ² (-22°C)		45		31						
C, kWh	16221	8924	-	372	-	8619	954	1991	774	3206
C, kWh/m ²	147	80.8	-	3.4	-	78.0	8.6	18.0	7.0	29.0
C, võimsus, W/m ² (-22°C)		40		14						
F, kWh	14580	7279	-	377	-	8614	953	1991	774	3206
F, kWh/m ²	132	65.9	-	3.4	-	78.0	8.6	18.0	7.0	29.0
F, võimsus, W/m ² (-22°C)		32		14						
P, kWh	10882	3614	-	351	-	8640	946	1991	774	3206
P, kWh/m ²	98	32.7	-	3.2	-	78.2	8.6	18.0	7.0	29.0
P, võimsus, W/m ² (-22°C)		20		14						

Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 2.19 Ühepereelamu C energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral

Lisaks on arvatud ka energiatõhususarvud kasutades elektri kaalumistegurit 2,0, (vt.Joonis 2.20).



Joonis 2.20 Ühepereelamu C energiatõhususarv erinevate kütte- ja tarindilahenduse korral (elektri kaalumistegur 2,0)

2.4 Kokkuvõte ühepereelamute analüüsi kohta

Käesolevas osas on analüüsitud ühekorruseliste väikemajade energiatõhusust erinevate välispiirete, ventilatsioonilahenduste ja soojavarustuste korral.

Eesti standardis (EVS 837-1:2003) toodud piirdetarindite soojajuhtivuse soovituslike maksimaalsuuruste ja soojatagastiga ventilatsiooni korral on võimalik täita energiatõhususe miinimumnõuete määruises sätestatud energiatõhususarvu senist nõuet ka mittekompaktse hoone korral.

Standardis toodud soojajuhtivuse piirsuurused kehtestati Eestis juba 1995 aastal toonase projekterimisnormi eelnõuga. Seega 14 aasta taguste soovitude täitmisega ei teki suuri probleeme. Suurendamiseks hoonete energiatõhusust võiks määruises toodud energiatõhusarvu piirsuurusi väikemajade osas pigem vähendada. Soojapidavamate välispiirete korral ei ole enamuse küttelahenduste korral näiteks energiatõhususarvu 160 kWh/m² aastas saavutamine probleemne.

Valitud küttelahenduse efektiivsus mõjutab olulisest hoone energiatõhususarvu. Näiteks elektrikütte korral on otsese elektrikütte ja maakütte korral energiatõhususarvudel ligi kahekordne erinevus.

Väikemajas on võimalik suviseid sisetemperatuure hoida alla piirsuuruse 27 °C kraadi nii ehituslike lahendustega (päikesevari, aknatuulutust, päikesekaitseklaasid), kui ka mehaanilise jahutuse abil. Mehaaniline jahutus suurendab energiatõhususarvu ~10 kWh/m². Kuna alati ei ole võimalik kasutada aknatuulutust, on lõuna ja lääne pool päikesekaitseklaaside kasutamine otstarbekas. Ilma suviste temperatuuridele tähelepanu pööramata võivad temperatuurid tõusta kõrgele ja võib tekkida vajadus jahutuse järele. See võib suurendada hoone energiatõhususarvu.

3 Korterelamud

3.1 Korterelamu A

3.1.1 Valitud hoone kirjeldus

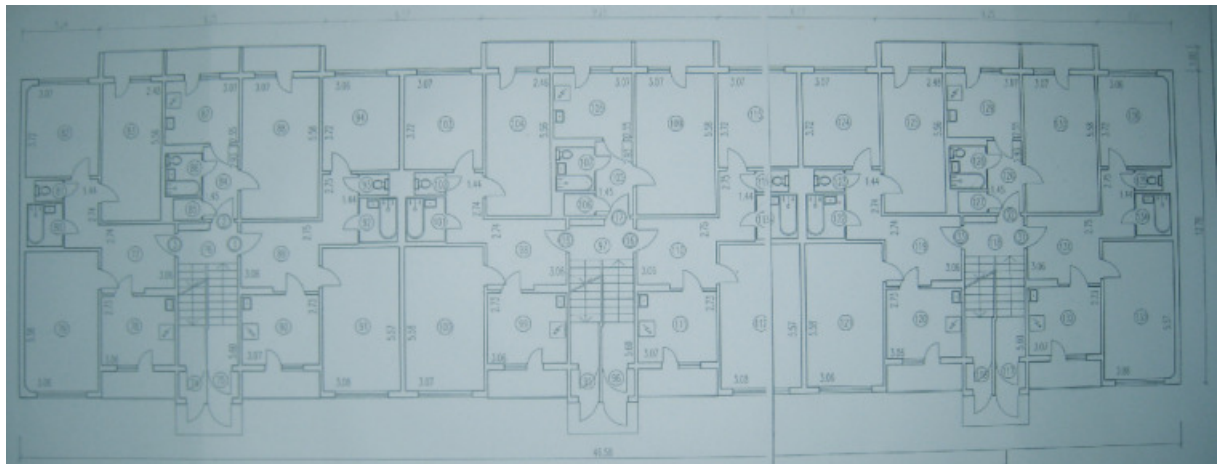
Hooneks on valitud kasutuses olev 1991 a. ehitatud 5-korruseline korterelamu (vt. Joonis 3.1). Antud hoone kohta on olemas energia- ja veetarbimise andmed, millest antud töös kasutati aastate 2005-2007 energiatarbimisi. Lisaks on oluline asjaolu, et antud hoonele on teostatud sisekliima uuringuid ning tehtud energiaaudit.

Hoone on ülesehituselt kompaktne, suhteliselt väikese välispiirete pindalaga, hoone ruumala ja netopinna suhtes. Viimatimainitu on iseloomulik enamikele korterelamutele.

Korterelamu peamised tehnilised näitajad:

- Kortrite arv: 45;
- Korruste arv: 5;
- Suletud netopind 2948,1m²;
- Kõetav pind: 2458,5m²;
- Eluruumide pind: 2275,0m²;
- Ehitisealune pindala: 646m²;
- Hoone maht: 10 122 m³;
- Laius × pikkus: 46,58 x 12,78m;
- Siseruumide kõrgus: 2,55m;
- Keldri kõrgus: 2,4m;
- Elanike arv: 85,3 (vabasoojuse arvestusel), hoones elab ca 100 inimest.

Hoones on ühetoalisi kortereid 15, kahetoalisi kortereid 15 ja kolmetoalisi 15. Lisaks korteritele on hoones kolm trepikoda, keldrikorrus panipaikade ning veemõõdu-soojussõlme, kilbiruumiga.



Joonis 3.1 Analüüsitud korterelamu tüüpkorruse plaan

Enamik piirdetarindid ei täida Eesti standardi kohaseid soojajuhtivuse miinimumsuurusi. Osaliselt (13-nes korteris) on vahetatud vanad puitaknaid plastikakende vastu, samuti on vahetatud välisukseid. Hoone katuseks on katuslagi. Tarindite külmasillad on suhteliselt suured (va. vahetatud akende ja välisuste puhul). Piirdetarindite U-arvud mudeli kalibreerimisel on võetud energeetilise auditeerimise materjalidest (soovitused olemasolevate hoonetele piirdetarindite U-arvude kohta). Sealjuures on arvestatud aasta keskmise U-arvu halvenemist konstruktsioonide niiskumisest ning soojustuse vananemisest.

Küttesüsteemi automaatreguleerimine toimub vaid soojussõlmes, puuduvad termostaatventiilid ning küttesüsteem on häälestamata. Hoone on ülekõetud (kortrite keskmine sisetemperatuur on 23 °C). Kalibreerimisel on kasutatud hoone keskmist sisetemperatuuri 21,0 °C (lähtuvalt kaalutud keskmisest temperatuurist, mida alandavad kelder ning trepikojad).

Hoones on loomulik ventilatsioon, mille toimimist mõjutavad kliimaatilised tingimused, samuti akende vahetus ning avamine. Ventilatsiooni õhuvahetus ei ole praeguste normide kohane. Infiltratsiooni arvutamisel on kasutatud vastavaid rõhukoefitsiente.

Jahutus puudub hoones.

Soe tarbevesi valmistatakse hoone soojussõlmes ning kulumõõtmised toimuvad korterite kaupa eraldi.

Hoone elektritarbimist mõõdetakse AS Jaotusvõrgu kauglugemissüsteemiga peaarvesti kaudu. Kortertes on eraldi elektriarvestid.

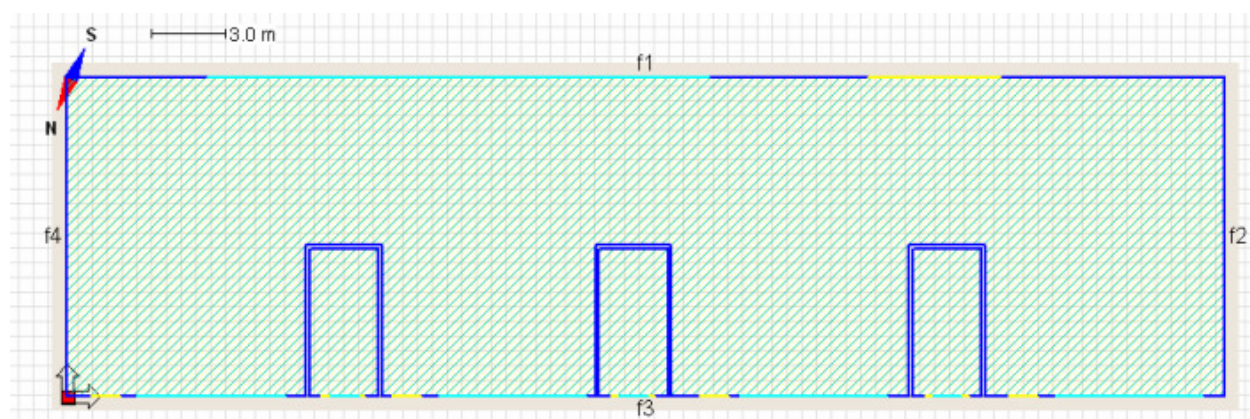
Eelpooltoodud hoone iseärasusi on arvestatud arvutusmodeli kalibreerimisel.

3.1.2 Arvutusmodeli kirjeldus

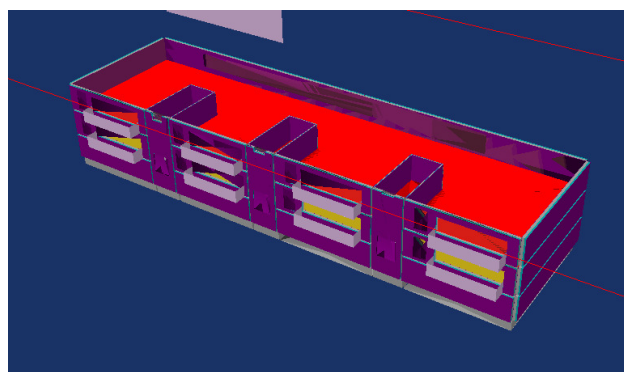
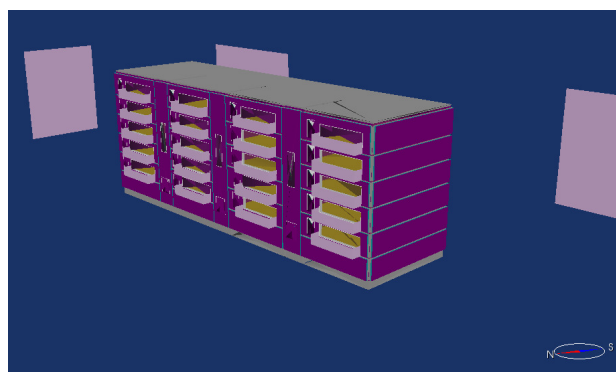
Arvutusmodeli kalibreerimiseks kasutati arvutusprogrammi IDA ICE 4.0 Build 15. Arvustulemusi võrreldi 2005-2007 aasta tegelike energiatarbe andmetega. Soojusenergia arvestusel hoone kütteks võeti arvesse ka erinevus 2005-2007 a. kraadpäevade ja Eesti energiaarvutuse baasaasta Test Reference Year (TRY) kraadpäevade vahel.

Hoone on jaotatud üheksaks tsooniks korruste ning erineva kütte temperatuuriseadega ruumide alusel:

- Eluruumid korrustel: 21°C;
- Trepikojad: 17°C,
- Kelder: 5°C.



Joonis 3.2 Analüüsitud korterelamu tsoonideks jaotamise põhimõtted



Joonis 3.3 Hoone välisvaade loodest (vasakul) ja tsoonideks jaotus (paremal)

Aknad jäävad loode ning kagu suunda. Korterte akendele tekitavad päikesekaitse hoone rõdud. Hoone on keskmise soojusliku massiga (paneel) seintega ja katuslaega ning maa sisse ulatuva keldriga. Energiakuluarvutused on tehtud viie erineva hoonepiirete lahenduse ja kolme ventilatsioonilahenduse kohta (vt. Tabel 3.1).

Tabel 3.1 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	A	B	C	D	E
Soojajuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$					
Külgsein	1,0	1,0	0,3	0,24	0,1
Otsasein	1,0	0,3	0,3	0,24	0,1
Katuslagi	0,8	0,27	0,27	0,19	0,08
Keldri põrand	0,6	0,6	0,6	0,31	0,13
Olemasolevad aknad	2,5	1,7	1,7		
Päikesefaktor, g	0,76	0,69	0,69		
Aken: klaas / raam (raam osakaal 10%)				1,2 / 1,4	0,51 / 0,59
Päikesefaktor, g				0,58/0,53	0,50/0,40
Välisüksed	0,8	0,8	0,8	0,6	0,4
Rõduüksed	1,7	1,7	1,7	1,7	0,6
Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2) / l/(s \cdot m^2)$	4 / 1,1	3 / 0,83	3 / 0,83	3 / 0,83	0,6 / 0,167
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/s	680,0	1165,0	1165,0	1165,0	1165,0
Ventilatsiooni õhuvahetuskordsus, 1/h	0,3	0,42	0,42	0,42	0,42
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0	0	0,6	0,6	0,85
Ventilaatori summaarne kasutegur	-	0,45	0,45	0,45	0,45
Heitõhu miinimum-temperatuur, °C	-	-	+5 °C	+5 °C	+0 °C
Ventilaatori poolt arendatav rõhk sissepuhe/väljatõmme, Pa	-	- / 280	300 / 300	300 / 300	590 / 580

Variant A – olemasolev kalibreeritud olukord hoones (Tänapäevastele nõuetele mittevastavad välisseinad, katuslagi, soojustamata keldri põrand. Osaliselt vahetatud aknad – rõduüksed. Välisüksed vahetatud. Ilma termostaatventiilideta radiaatorküte. Loomulik ventilatsioon. Jahutus puudub).

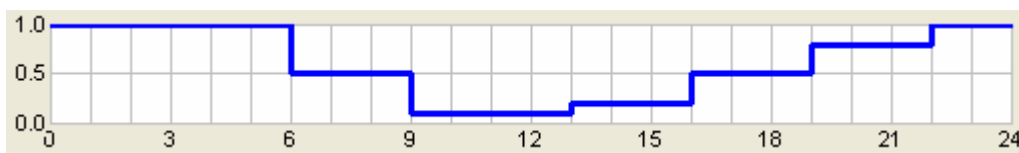
Variant B – osaliselt renoveeritud hoone standardkasutusel (Soojustatud otsaseinad, katuslagi. Vahetatud aknad – rõduüksed, küttesüsteem reguleeritakse radiaatorite tasemel, mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon õhu kompenseerimisega läbi piiretesse tekitatud ebatiheduste. Jahutus puudub).

Variant C – täielikult renoveeritud hoone standardkasutusel (Soojustatud kõik seinad, katuslagi. Vahetatud aknad – rõduüksed (võrreldes esialges hoonega), küttesüsteem reguleeritakse radiaatorite tasemel, detsentraalne mehaaniline ventilatsioon plaatsoojustagastiga. Jahutus puudub).

Variant D – Energiatõhususe miinimumnõuetele vastav hoone standardkasutusel.

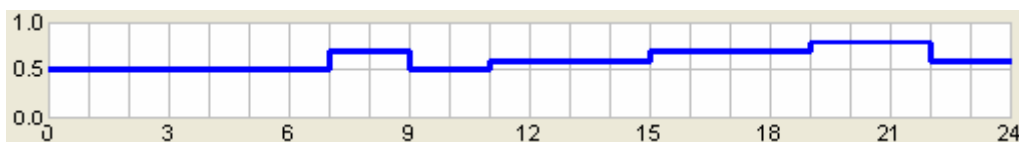
Variant E – Eriti väikese soojusjuhtivusega piirdetarindite ja miinimumnõuetes toodud sisekliima tagamisega hoone standardkasutusel (tsentraalse rootorsoojustagastusega ventilatsiooniga).

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud $3 W/m^2$ (eluruumide pinna kohta) so. $3 \times 2275,0 = 6825 W$. Arvestades inimese soojuseraldusega 80W (ei sisalda varjatud soojust) on arvestatud 85,3 inimesega kelle soojaeraldus on arvatud vastavalt ISO 7730 standardile (1,2 met, 0,7 clo). Kasutusaste on 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 3.4. Ruumide kasutusprofiil on aasta ja nädala lõikes sama.



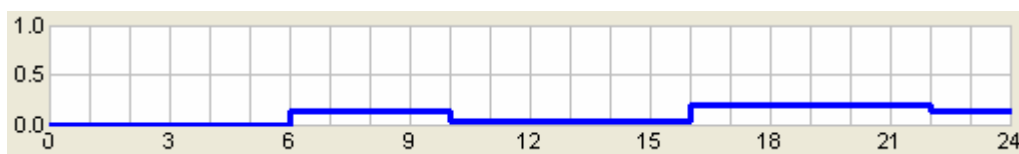
Joonis 3.4 Elanike kohalolek

Seadmete vabasoojus on $3,0 \text{ W/m}^2$ (eluruumide pinna kohta) so. $3,0 \times 2275,0 = 6825 \text{ W}$ ja kasutusaste $0,6$ ($15,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $35872,2 \text{ kWh/aastas}$). Seadmete elektritarve $6825 \times 0,6 / 0,7 = 5859 \text{ W}$ ($22,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $51324,8 \text{ kWh/aastas}$). Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 3.5.



Joonis 3.5 Seadmete töögraafik

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m^2 (kõetava pinna kohta) so. $8 \times 2458,5 = 19668 \text{ W}$ ja kasutusaste $0,1$ ($7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $17229,2 \text{ kWh/aastas}$). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile, vt. Joonis 3.6



Joonis 3.6 Valgustite töögraafik

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn. Hoonest ca 10m kaugusel asuvad 15m kõrgused naaberhooned.

Hoone ümbrus on soojustamata ja temperatuur 1.1m sügavusel pinnases on $+8^\circ\text{C}$.

Sooja tarbevee kulu on 50 l inimese kohta ööpäevas ja on arvestatud 85,3 inimesega so. $0,04936 \text{ l/s}$. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C .

Infiltratsiooni õhuvooluhulga (99 l/s , $0,042 \text{ l/s m}^2$) määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka $q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot 20} [\text{l/s}]$, mis on arvatud hoonepiirete õhulekkearvu ja

hoonepiirete pindala ($2376,1 \text{ m}^2$) abil. vastavalt VVm. 258 lisale 9

Pumpade elektritarbe määramiseks on kasutatud VVm. 258 lisas 12 esitatud suurusi. Hoone tüüp on korterelamu, küttevõis, radiaatorid, veeküttesüsteemi tsirkulatsioonipumba elektritarbimine on $0,1 \text{ W/m}^2$ kõetava pinna kohta ($0,1 \times 2458,5 = 245,9 \text{ W}$; $0,876 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $2154,1 \text{ kWh/aastas}$).

Ventilaatorite elektritarbe määramiseks on kasutatud VVm. 258 lisas 14-16 esitatud suurusi.

3.1.3 Tulemused

Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuluva energia kohta vt. Tabel 3.2. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

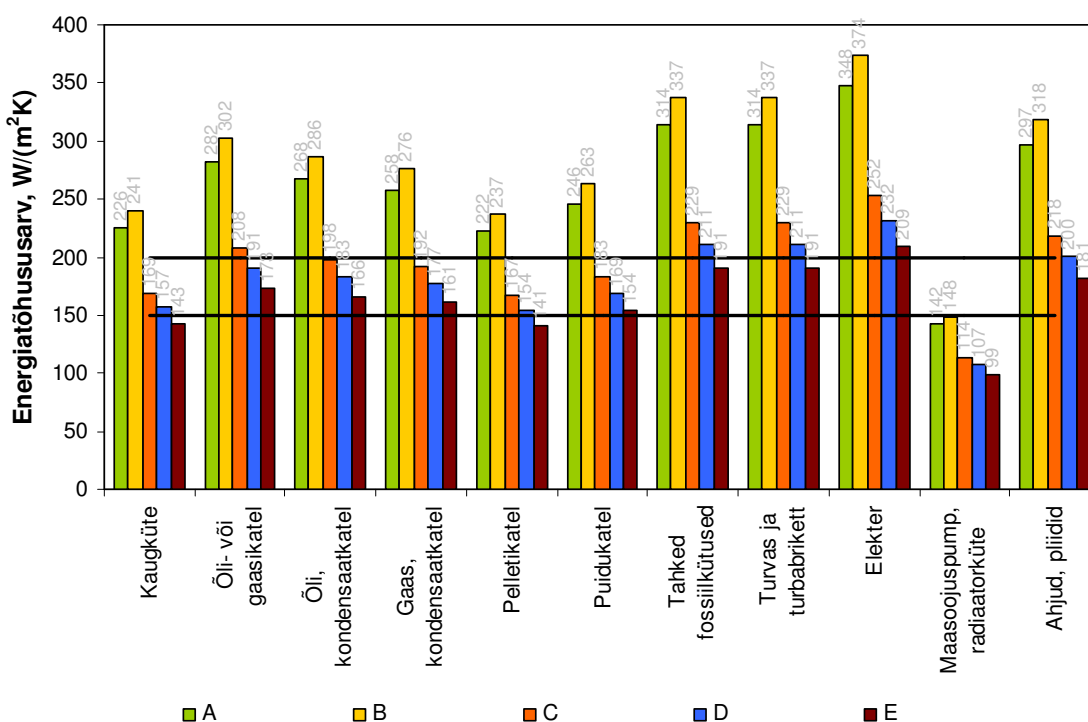
Eritarbimised on välja toodud kõetava pinna kohta.

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise

Tabel 3.2 Energiakulu arvutustulemused

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahu-tus	Küte	Jahu-tus	Sooja-tagas-tus	Ventilaatorid, pumbad	Sead-med	Valgus-tus	Soe tarbe-vesi
A, kWh	570648	289661	-	122164	-	0	4308	44580	19411	90524
A, kWh/m ²	232	163	-	43	-	0	1,8	18,1	7,9	36,8
A, võimsus, W (-22°C)	75184			19901						
B, kWh	613083	257517	-	198893	-	0	2158	44580	19411	90524
B, kWh/m ²	249	105	-	81	-	0	0,9	18,1	7,9	36,8
B, võimsus, W (-22°C)	52642			46650						
C, kWh	413800	196708	-	53932	-	108703	8645	44580	19411	90524
C, kWh/m ²	168	80	-	22	-	44	3,5	18,1	7,9	36,8
C, võimsus, W (-22°C)	25561			23155						
D, kWh	379612	158345	-	58120	-	110398	8645	44580	19411	90524
D, kWh/m ²	154	64	-	24	-	45	3,5	18,1	7,9	36,8
D, võimsus, W (-22°C)	18027			23078						
E, kWh	342316	99545	-	79700	-	141029	8645	44580	19411	90524
E, kWh/m ²	139	41	-	32	-	57	3,5	18,1	7,9	36,8
E, võimsus, W (-22°C)	18025			23078						

ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud, vt. Joonis 3.7. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 3.7 Korterelamu energiatõhususarv erineva kütte- ja tarindilahenduse korral

Tulemused on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil.

Tabel 3.3 Variant D energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Korterelamu			<input type="checkbox"/>	Uusehitus
Aadress	Anonüümne			<input type="checkbox"/>	Rekonstr.
Ehitusaasta	1991			<input checked="" type="checkbox"/>	Olemasolev
Köetav pind	2458,5	m ²			hoone
Suletud netopind	2948,1	m ²			
Energiatõhususarv (ETA)	157	kWh/m²	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)		
	Ostetud kütused		Tarnitud	Kaalumis-	Kaalutud
Energiakandja	kogus/a	massi või mahuühik	energia kWh/a	tegur, -	energia-kasutus kWh/a
Kaugküte	kWh/a		379612	0,9	341650
Elekter	kWh/a		72623	1,5	108935
Summa			452235		450585
Hoone tehnosüsteemide energiakasutus					
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a		
Küttesüsteem	2154				
Ventilatsioonisüsteem	6491				
Jahutussüsteem	-		-		
Elektrisüsteem	63991				
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	72636				
Netoenergiavajadus, kWh/a					
Ruumide küte			158345		
Ventilatsiooniõhu soojendamine			58120		
Tarbevee soojendamine			90524		
Kütteenergia kokku			306989		
Utiliseeritavad vabasoojused			110398		
Jahutus			-		
Tehnosüsteemide võimsused					
	Elekter, kW		Soojus, kW		
Küttesüsteem			41,1		
Jahutussüsteem	-		-		
Elektrisüsteem					

Tabel 3.4 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutustsoonide arv	9		
Küttesüsteemi tüüp	Vesikeskküte radiaatoritega		
-soojusallikas ja kütus	Kaugküte, gaaskütus kaugkütte katlamajas		
-soojuse jaotamine	Veeradiaatorid		
Vent.süsteemi tüüp	Plaatsoojustagastiga detsentraalsed sissepuhke- väljatõmbe ventilatsioonisüsteemid		
Jahutussüsteem	Ei ole		
Infiltratsiooni õhuvahetus	99 l/s		
Soojaerikadu	0,6 W/(K·m ²)		
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K
Välissein	1316,3	0,24	315,9
Katuslagi	567,3	0,19	107,8
Põrand	567,3	0,31	175,9
Aknad	298,7	1,22	388,3

Uksed	5,9	0,6	3,5			
Rõduked	132,0	1,7	224,4			
Summa/kaalutud keskmine	2887,5	0,42	1215,8			
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(m K)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K	Summa, W/K		
Välissein/vahelagi	0,05	534,2		26,7		
Välissein/vahesein	0,03	450,0		13,5		
Välissein/välissein	0,08	60,0		4,8		
Akna ümbrus	0,03	862,2		25,9		
Ukse ümbrus	0,03	36,0		1,1		
Katus/välissein	0,09	118,7		10,7		
Põrand/välissein	0,15	118,7		17,8		
Rõdu/välissein	0,2	228,8		45,8		
Välisseinad (lisa)						
Summa, W/K				146,2		
Aknad/Rõduuste klaasosad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(m ² K)	Raamiosa U, W/(m ² K)	Summaarne U, W/(m ² K)	U×A, W/K	Päikesefaktor g, -
Loodesse	164,4	1,2	1,4	1,22	200,6	0,58
Kagusse	187,7	1,2	1,4	1,22	229,0	0,58
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	352,1	1,2	1,4	1,22	429,6	0,58
Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sisepuhke temp., °C	Soojustagastus temperatuurisuhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilatsioonimasin 1	300/300	45/45	1,33	+18	60	+5
Küttesüsteem						
	Süsteemi kasutegur, %	Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmine soojustegur), -	Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri koosseisus), kWh/a			
Ruumide küte	98	-	2154,0			
Ventilatsiooniseade		-	6491,0			
Soe tarbevesi		-	2154,0			
Jahutussüsteem						
	Külma tootmise jahutustegur, -	Süsteemikaotegur	Abiseadmete elektritarbimisetegur			
Puudub						
Sooja vee tarbimine						
	l/(d inim.)	Inimeste arv	l/(d.m ²)	m ²	kokku, m ³ /a	
	50	85,3	1,73	2458,5	1557	
Ahjud, kaminad ja elektrikerised						
	Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)	Elektrikerise tarbimine, kWh/a				
	Ahjud, W puudub	Kaminad, W puudub	Elektrikerise tarbimine, kWh/a puudub			
Vabasoosused						
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h		
Inimesed	3	60	7	24		

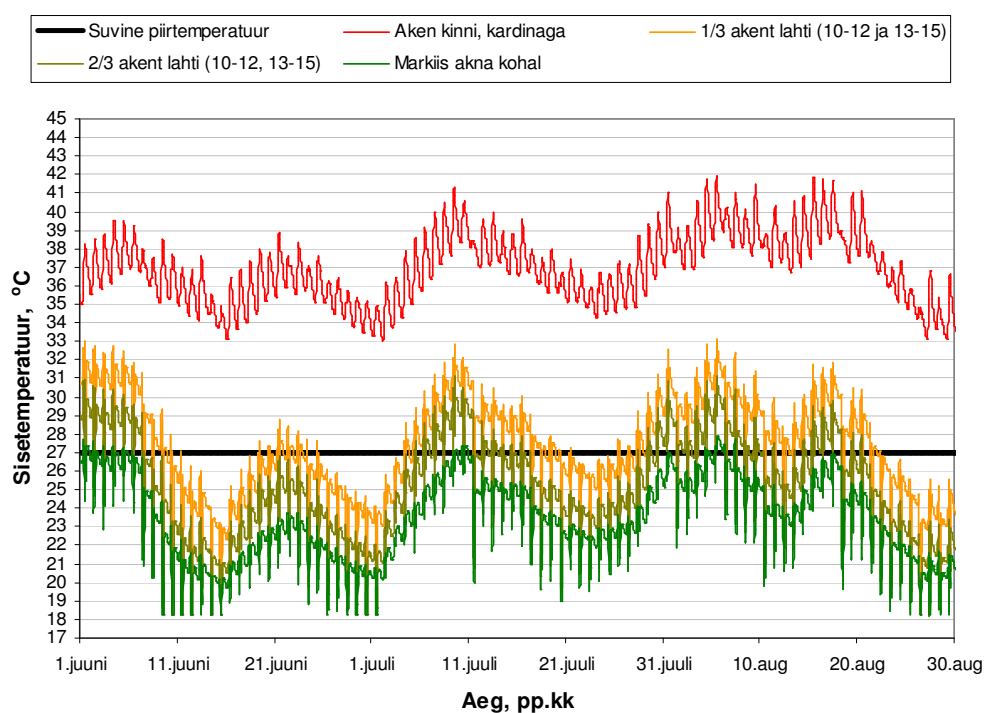
Seadmed	3	60	7	24
Tarbevesi	36,8	100	7	24
Valgustus	8	10	7	24

Suviste ruumitemperatuuride arvutus

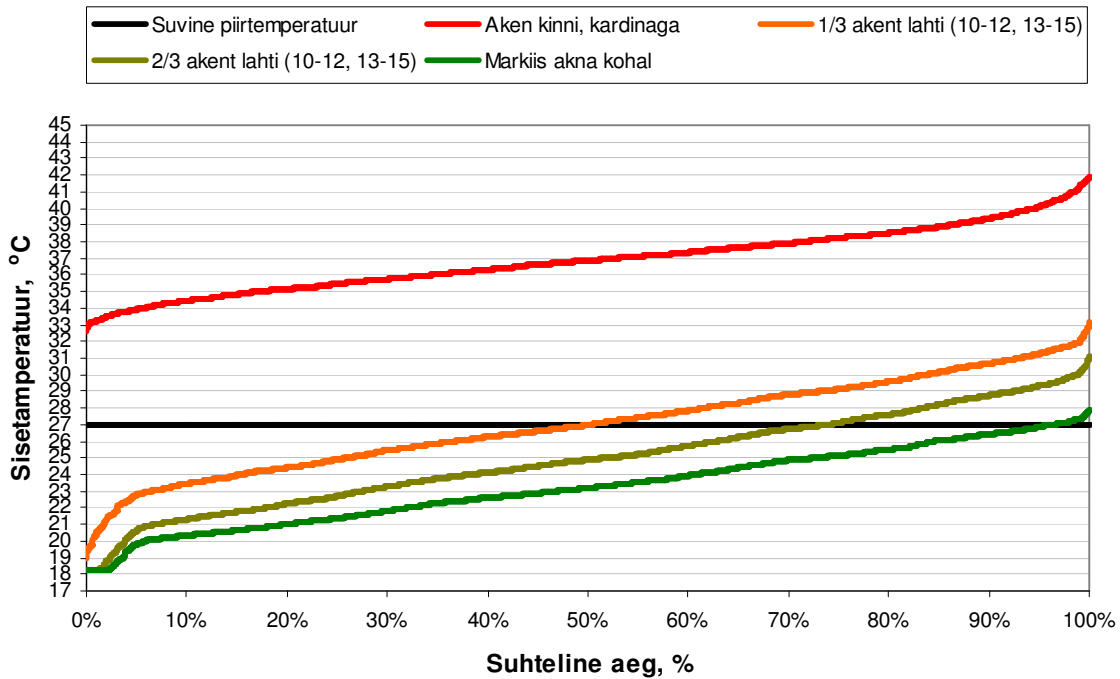
Hoone suviste temperatuuride analüüs on tehtud V korruse elutoa alusel, kuna selle ruumi aknad on suunatud kagu suunda ning akende kohal puudub järgmise korruse rõdu.

Inimeste kohalolek ja soojuseraldus ruumis, seadmete töötamine ja valgustuse kasutus on arvutatud vastavalt VVm. 258 lisades esitatud profiilidele. Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn.

Arvutustulemused ja elutoa kasutusprofiilid on esitatud vastavalt VVm 258 lisas 21 toodud tabelile 3.4 ja joonisele 3.9.



Joonis 3.8 Elutoa sisetemperatuur ajavahemikul 01.06-31.08



Joonis 3.9 Elutoa sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06-31.08

Esitatud on 4 erinevat varianti ruumi suvise sisetemperatuuri simulatsioonist, millest esimesed kolm ei vasta VVm. 258 toodud nõuetele.

Akna SHGC=0,58 ja T=0,53.

Sobivaks variandiks osutus akna kohale paigaldatava välise markiisi (varikatuse) kasutamine, mille korral ületati piirtemperatuuri 27 °C 85 °C·h võrra ajavahemikul 01. juuni – 31. august.

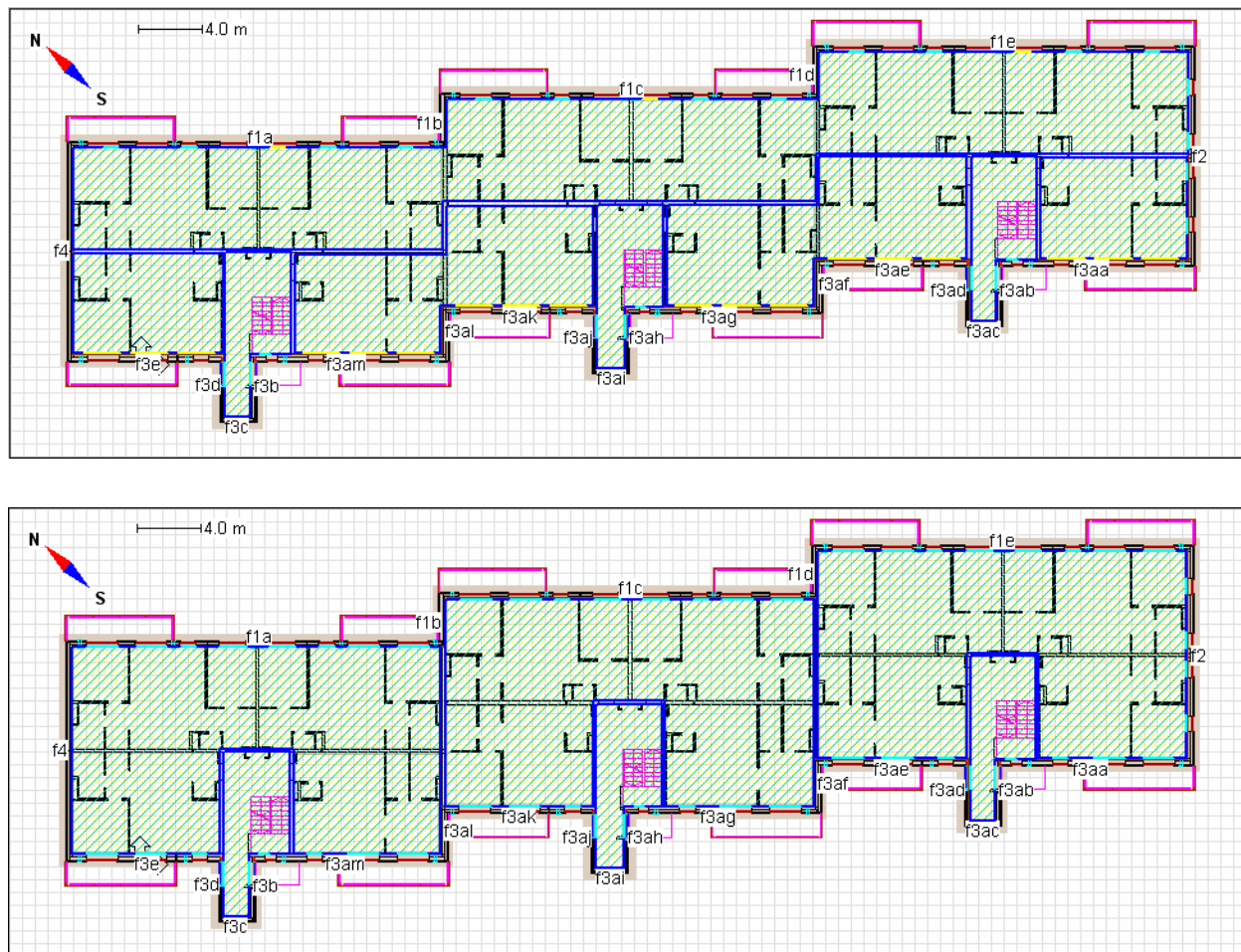
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 102°C·h. Suvise ruumitemperatuuri nõue on täidetud, kuna ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 27 °C rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august.

Tulemustest (Joonis 3.9) on näha, et suletud akende korral tõuseb sisetemperatuur suvel väga kõrgele. Kogu suvekuude jooksul püsib temperatuur üle 27 °C kraadi. Temperatuuri on võimalik alandada nii ehituslike lahendustega (päikesevari, aknatuulutus, päikesekaitseklaasid) kui ka mehaanilise jahutusega. Eriti efektiivne on kasutada arhitektuurses lahenduses elutubade ja magamistubade akende kohal järgmise korruse rõdusid, mis varjavad ära kõige intensiivsema päikese, samuti tuleb tagada eluruumides avatavaid aknaid.

3.2 Korterelamu B

3.2.1 Valitud hoone kirjeldus

Valitud on kaheksakorruseline, kolme trepikojaga hoone. Hoones on 84 korterit, panipaigad ning garaažid. (vt. Joonis 2.11).



Joonis 3.10 Analüüsitud korterelamu esimese korruse plaan (üleval) ja tüüpkorruse plaan (all)

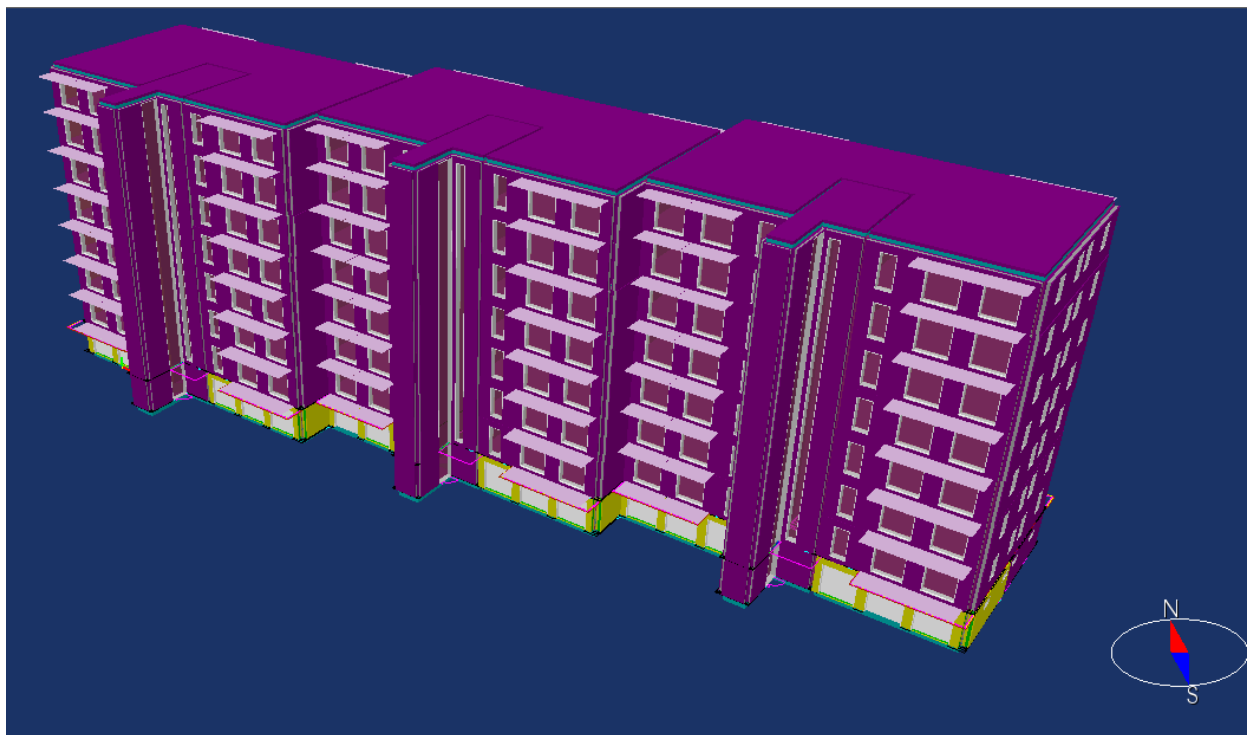
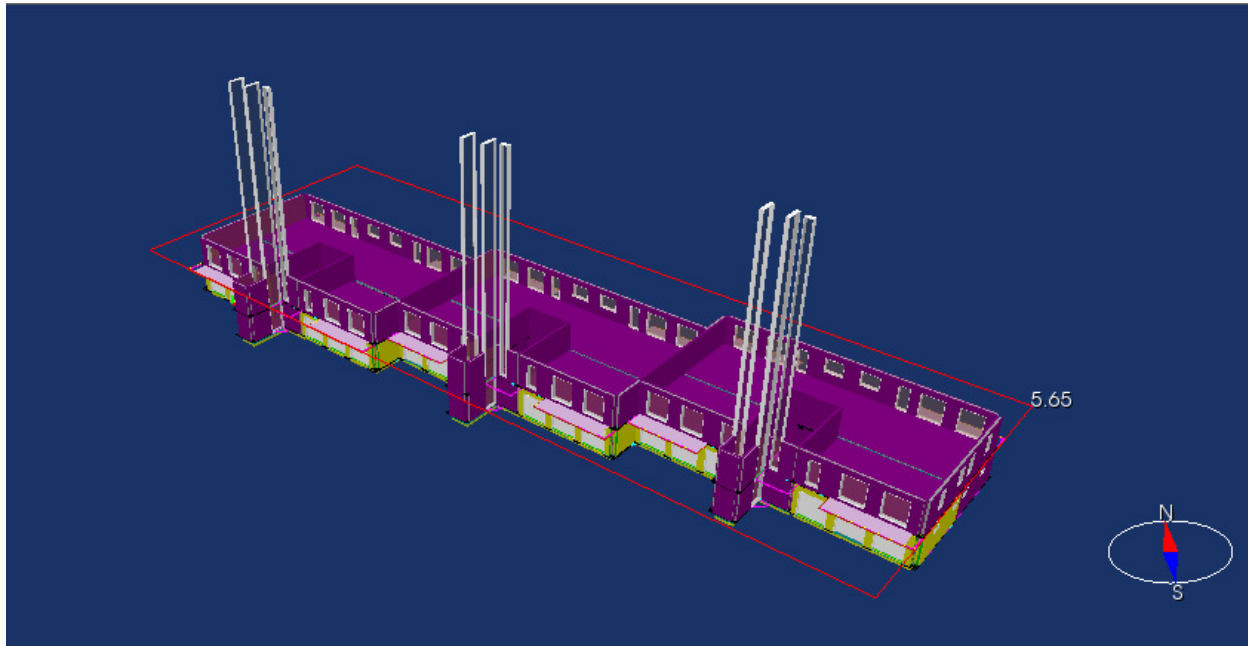
Korterelamu peamised tehnilised näitajad:

- Suletud netopind = köetav pind: 6682 m²; sellest korterid 5271 m²
- Laius × pikkus × kõrgus: 13,9 × 70,8 × 25,0
- Siseruumide kõrgus: 2,7 m;
- Kortrite arv: 84;
- Kütte temperatuuriseade:
 - korterites 21°C
 - trepikodades 17°C
 - panipaikades ja garaažides 10°C

Arvutusmudeli kirjeldus

Hoone on jaotatud tsoonideks erineva kütte temperatuuriseade ja kasutusprofiilide alusel:

- korterites 21°C
- trepikodades 17°C
- panipaikades ja garaažides 10°C



Joonis 3.11 Hoone tsoonideks jaotus (üleval) ja välisvaade lõunast (all).

Lõuna- ja põhjafassaadil olevate akende kohal on päikesekatteks järgmise korruse rõdu. Otsaseintes akendel välised päikesekatted puuduvad. (vt. Joonis 3.11 paremal). Hoone on raudbetoonist monteeritud paneelidest seinte ja õõnespaneelidest katuslaega ning pinnasele toetatud põrandaga. Energiakuluarvutus on tehtud erinevate piirdetarindite ja ventilatsiooni lahenduste kohta (vt. Tabel 2.1). Külmasildade lisakonduktantsideks on kasutatud VVm. 258 lisas 10 esitatud suurusi.

Tabel 3.5

Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	A	B	C	F	P
Soojajuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$					
Välissein	0,26	0,23	0,23	0,17	0,07
Katuslagi	0,21	0,18	0,18	0,09	0,06
Põrand	1,34	0,18	0,18	0,16	0,08
Aken: klaas / raam (raami osakaal 10%)	1,8 / 2,0	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,0 / 1,1	0,5 / 1,1
Päikesefaktor g	0,58/0,46	0,58/0,53	0,58/0,53	0,53/0,46	0,50/0,40
Välisuks	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4
Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2) / l/(s \cdot m^2)$	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0	0	0,6	0	0,8
Ventilaatori summaarne kasutegur	0,35	0,35	0,35	0,35	0,2
Heitõhu miinimumtemperatuur, °C	0 °C	5 °C	5 °C	5 °C	0 °C
Rõhutõus sissepuhe/väljatõmme, Pa	- / 300	- / 300	590 / 550	- / 150	320 / 250

Variant A on olemasolev kortermaja.

Variant B hoonepiirded vastavad Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine $18^{\circ}C \rightarrow 22^{\circ}C$).

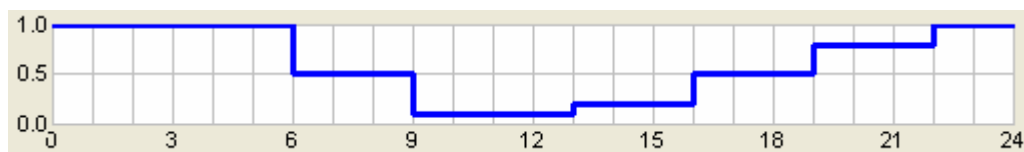
Variant C korral on piirdetarindid samad, mis variant B korral, kuid ventilatsioonisüsteemiks on soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe süsteem.

Variant F hoonepiirded on valitud vastama Soome ehitusmääruse C3 (2010) nõudeid.

Variant P puhul on hoonepiirete juures energiatõhususele pööratud veel rohkem tähelepanu.

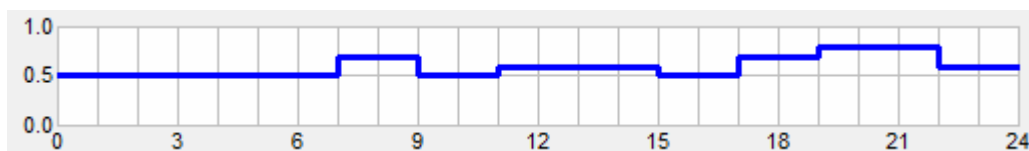
Hoones on radiaatorküte. Hoonel ei ole jahutussüsteemi. Ventilatsioonisüsteemiks on ainult väljatõmbe torustikud, värske õhk saadakse seinas asuvate värske õhu klappide kaudu. Standardkasutuses on hoone ventilatsioonihulgaks arvestatud elu- ja magamistubades $1,0 l/sm^2$ ning üldruumides $0,42 l/sm^2$.

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud $3 W/m^2$ so. $3 \times 5271 = 15813 W$ ja kasutusaste 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.12). Ruumide kasutusprofiil on läbi aasta sama.



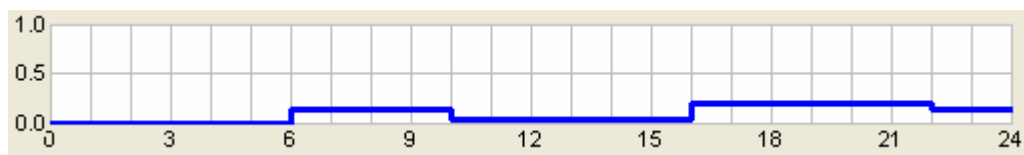
Joonis 3.12 Elanike kohalolek

Seadmete vabasoojus on $3 W/m^2$ so. $3 \times 5271 = 15813 W$ ja kasutusaste 0,6. Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.5).



Joonis 3.13 Seadmete töögraafik

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on $8 W/m^2$ so. $8 \times 6682 = 53456 W$ ja kasutusaste 0,1. Valguste vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.6) Joonis 3.5.



Joonis 3.14 Valgustite töögraafik

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks linn. Hoonest 30m kaugusel asub 6m kõrgune parkimismaja.

Sooja tarbevee kulu olemasolevas hoones on 0,08 l/s. Teiste arvutusvariantide korral on arvestatud 50 l inimese kohta ööpäevas ja inimeste arvuks on arvestatud magamistubade arv pluss 1 so. 0,1215 l/s. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C.

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka 0,0415 l/s ($q_i = \frac{n_{50}}{3,6 \cdot 20} [l/s]$), mis on arvatud hoonepiirete õhulekkearvu 3 ja hoone kordsuse teguri 20 abi.

3.2.2 Tulemused

Energiaarvutus

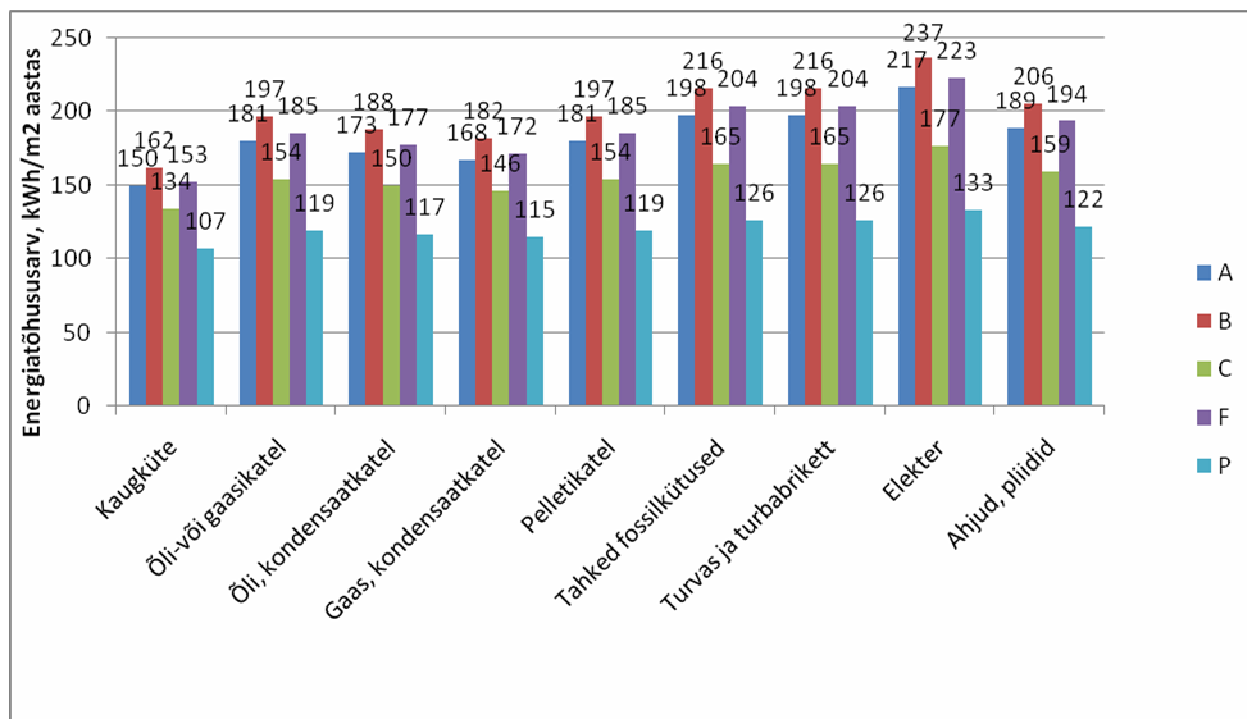
Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide ja ventilatsiooniõhuküte ning tehnosüsteemide, seadmete, valgustuse ja tarbevee soojendamiseks kuluv energia (vt. Tabel 3.6).

Tabel 3.6

Energiakulu arvutustulemused.

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahu- tus	Küte	Jahu- tus	Sooja- tagas- tus	Ventilaatorid, pumbad	Sead- med	Valgus- tus	Soe tarbe- vesi
A, kWh	965715	342515	-	240303	-	0	27006	88785	102055	165051
A, kWh/m ²	145	52	-	36	-	0	4	13	15	25
A, võimsus, W _(-22°C)	133748	121689								
B, kWh	1055660	308201	-	300079	-	0	33724	88785	102054	222817
B, kWh/m ²	158	46	-	45	-	0	5	13	15	33
B, võimsus, W _(-22°C)	114037	151956								
C, kWh	787499	145890	-	102366	-	409498	125587	88785	102054	222817
C, kWh/m ²	118	22	-	15	-	61	19	13	15	33
C, võimsus, W _(-22°C)	81482	73638								
F, kWh	994317	260819	-	300082	-	0	19760	88785	102054	222817
F, kWh/m ²	149	39	-	45	-	0	3	13	15	33
F, võimsus, W _(-22°C)	96964	151956								
P, kWh	594054	41234	-	29448	-	482607	109716	88785	102054	222817
P, kWh/m ²	88	6	-	4	-	72	16	13	15	33
P, võimsus, W _(-22°C)	36468	72738								

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud (vt. Joonis 3.15).



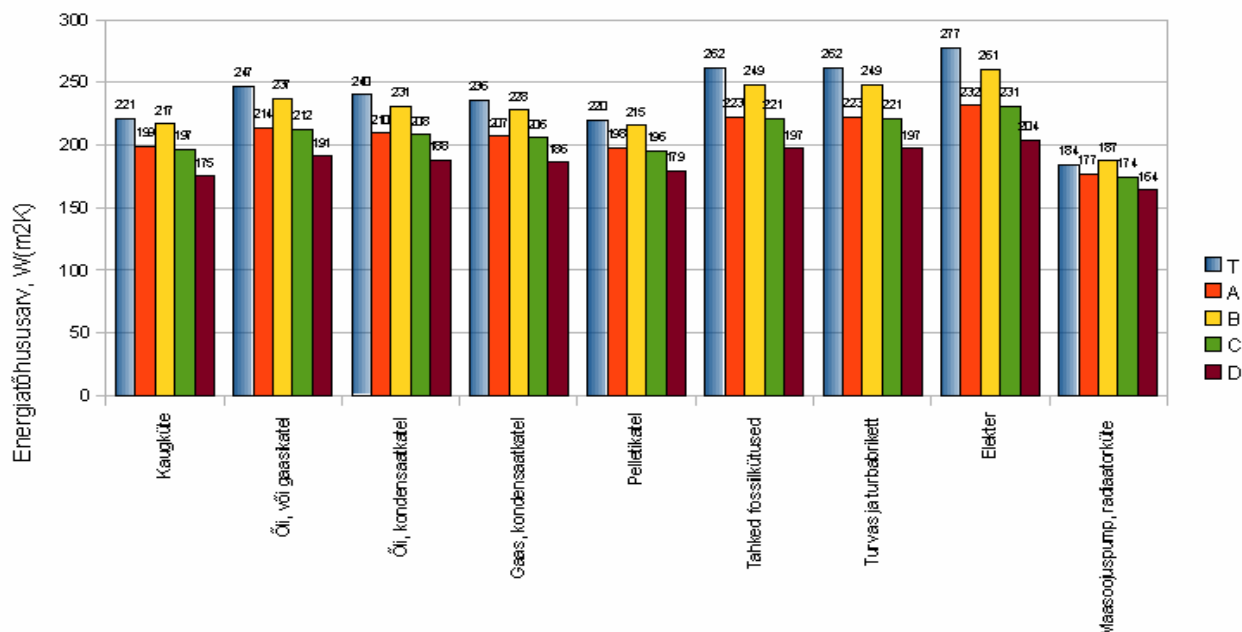
Joonis 3.15 Erinevate variantide energiatõhususarvud

Tulemused on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil variant A-le (vt. Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva energia kohta vt. Tabel 2.7. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia ja tasakaalutemperatuur (temperatuur, millest kõrgemal kütet ei olnud vaja).

Tabel 4.3 Energiakulu arvutustulemused

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahu-tus	Küte	Jahu-tus	Sooja-tagas-tus	Ventilaatorid, pumbad	Sead-med	Valgus-tus	Soe tarbe-vesi
T, kWh	1107594	550993	41618	52080	15992	612957	157665	96358	181289	11600
T, kWh/m ²	200	99	7,5	9,4	2,9	110	29	17,4	49	2,1
T, võimsus, W _(-22°C)		241131		171840						
A, kWh	902995	323634	36812	30908	14012	555157	136893	158385	173551	28800
A, kWh/m ²	163	58	6,6	5,6	2,5	100	25	29	31	5,2
A, võimsus, W _(-22°C)		223893		204062						
B, kWh	1027027	339762	40732	134271	16030	469013	135496	158385	173551	28800
B, kWh/m ²	185	61	11	24	2,9	85	24	29	31	5,2
B, võimsus, W _(-22°C)		229524		204171						
C, kWh	895777	299957	48320	32627	19902	54197	134235	158385	173551	28800
C, kWh/m ²	163	54	9	5,9	3,6	99	24	29	31	5,2
C, võimsus, W _(-22°C)		206912		204162						
D, kWh	782491	197016	40651	29504	17633	556376	136951	158385	173551	28800
D, kWh/m ²	142	36	7,4	5,4	3,2	101	25	29	32	5,2
D, võimsus, W _(-22°C)		173783		204639						

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvutatud energiatõhususarvud, vt. Joonis 2.13. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 4.10 Hoone energiatõhusus arv erineva kütte- ja tarindilahenduse korral

Tabel

4.4

ja Tabel 4.5).

Tabel 3.8 Energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Korterelamu		×	Uusehitus
Address	Anonüümne		□	Rekonstr.
Ehitusaasta	2007		□	Olemasolev
Kõetav pind	6682	m ²	hoone	
Suletud netopind	6682	m ²		
Energiatõhusus arv (ETA)	162	kWh/m²	(kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)	
Energiakandja	Ostetud kütused kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Kaalumis-tegur, -	Kaalutud energia-kasutus kWh/a
Elekter		224563	1,5	336845
Kaugküte	kWh/a	831097	0.9	747987
Summa		1055660		1084832
Hoone tehnosüsteemide energiakasutus				
	Elektrir, kWh/a		Soojus, kWh/a	
Küttesüsteem	215		608280	
Ventilatsioonisüsteem	33509		-	
Jahutussüsteem	-		-	
Elektrisüsteem	224563		-	
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	258287		608280	
Netoenergiavajadus, kWh/a				
Ruumide küte		308201		
Ventilatsiooniõhu soojendamise		300079		

Tarbevee soojendamine	222817
Kütteenergia kokku	831097
Utiliseeritavad vabasoojused	421926
Jahutus	-

Tehnosüsteemide võimsused		
	Elekter, kW	Soojus, kW
Küttesüsteem		831097
Jahutussüsteem		-
Elektrisüsteem	XXX	

Tabel 3.9 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutustsoonide arv	2		
Küttesüsteemi tüüp			
-soojusallikas ja kütus	Kaugküte		
-soojuse jaotamine	Veeradiaator		
Vent.süsteemi tüüp	Väljatõmbe ventilatsioonisüsteem		
Jahutussüsteem	Ei ole		
Infiltratsiooni õhuvahetus	0,0415 l/s m ² välispinna kohta		
Soojaerikadu	XXX W/(K·m ²)		
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K
Välissein	4535	0,23	1043,1
Katuslagi	985	0,18	177,3
Põrand pinnasel	985	0,18	177,3
Aknad ja ukсед	1343	1,4	1880,2
Summa/kaalutud keskmine	7848	0,25	3277,9

Külmasillad				
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K	Summa, W/K
Välissein/vahelagi	0,05			
Välissein/vahesein	0,03			
Välissein/välissein	0,07			
Akna ümbrus	0,03			
Ukse ümbrus	0,03			
Katus/välissein	0,08			
Põrand/välissein	0,11			
Rõdu/välissein	0,2			
Välisseinad	0			
Summa, W/K	-			

Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikesefaktor g, -
Lõunasse	508	1,4	1,7	1,43	726	0,58
Läände	113	1,4	1,7	1,43	162	0,58
Põhja	564	1,4	1,7	1,43	806	0,58
Itta	159	1,4	1,7	1,43	227	0,58
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	1343	1,4	1,7	1,43	1921	0,58

Ventilatsiooniseade						
Rõhutõus sissep./väljat,	Ventilaatori kasutegur	Süsteemi SFP,	Sissepuhke	Soojus-tagastus	Väljaviske min. temp.,	

	Pa/Pa	sissep./väljat., %/%	kW/(m ³ /s)	temp., °C	temperatuuri- suhe, %	°C
Ventilatsioonimasin	0/300	0/35	XXX	-	-	+5
Küttesüsteem						
	Süsteemi kasutegur, %		Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmine soojustegur), -		Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri koosseisus), kWh/a	
Ruumide küte	0.98				62	
Ventilatsiooniseade	0.35				33509	
Soe tarbevesi	-					
Jahutussüsteem						
	Külma tootmise jahutustegur, -		Süsteemikaotegur, -		Abiseadmete elektritarbimisetegur, -	
Puudub						
Sooja vee tarbimine						
	l/(d inim.)	Inimeste arv	l/(d·m ²)	m ²		kokku, m ³ /a
	50	210				3832
Ahjud, kaminad ja elektrikerised						
	Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a		
	Ahjud, W puudub	Kaminad, W puudub		puudub		
Vabasoojused						
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h		
Inimesed	3,0	60	7	24		
Seadmed	3,0	60	7	24		
Valgustus	8,0	10	7	24		

Suviste ruumitemperatuuride arvutus

- Hoone suviste temperatuuride analüüs on tehtud kaheksanda korruse ühe magamistoas (pindalaga 11,2 m²) ja ühe elutoa (pindalaga 31,4 m²) alusel.

Elutoas on arvestatud 2 inimesega, kellede soojuseralduseks on arvestatud 125 W/in (vastab 1,2 soojuseraldusühikule (met) keha pindala 1,8 m² korral) so. 2×125=250 W. Inimesed on toas vastavalt ruumi kasutusprofiilile (vt. Joonis 3.12). Seadmete vabasoojus on 3.0 W/m² so. 3.0×31.4=94,2 W ja seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.5). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m² so. 8×31,4=251,2 W ja valgustid on sisse lülitatud jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.6)Joonis 3.5.

Magamistoas on arvestatud 1 inimesega, kellede soojuseralduseks on arvestatud 125 W/in (vastab 1,2 soojuseraldusühikule (met) keha pindala 1,8 m² korral) so. 1×125=125 W. Inimesed on toas vastavalt ruumi kasutusprofiilile (vt. Joonis 3.12). Seadmete vabasoojus on 3.0 W/m² so. 3.0×11,2=33,6 W ja seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.5). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m² so. 8×11,2=89,6 W ja valgustid on sisse lülitatud jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.6)Joonis 3.5.

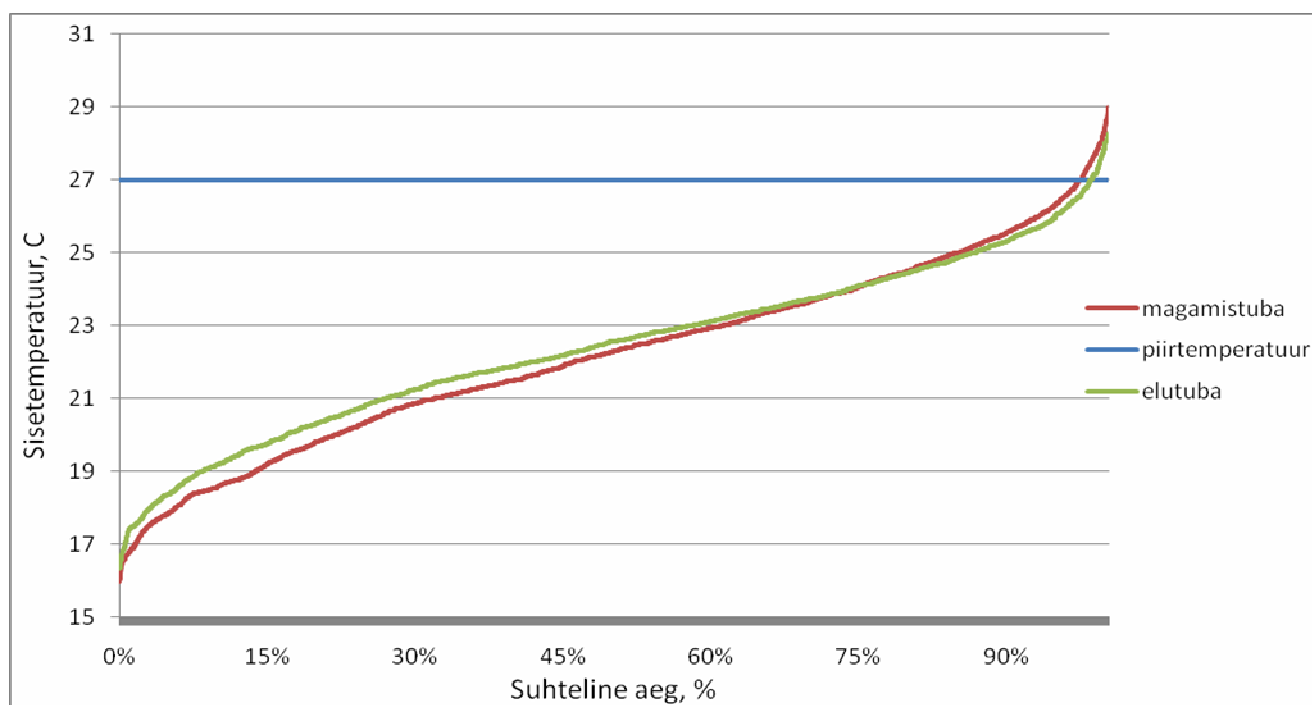
Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn.

Arvustulemused ja elutoa kasutusprofiil vastavalt VVm 258 lisas 21 esitatud tabelile (vt.

Tabel 3.10 ja Joonis 3.16).

Tabel 3.10 Elutoa suvise ruumitemperatuuri kontrolli tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisa 21 esitatud tabelile

Ruum	Elutuba		
Piirtemperatuur	27 °C		
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv	21 °C·h		
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
22:00-06:00	8,0		
06:00-09:00	4,0		
09:00-13:00	0,8		
13:00-16:00	1,6		
16:00-19:00	4,0		
19:00-22:00	6,4		
0:00-7:00		1,5	
7:00-9:00		2,1	
9:00-11:00		1,5	
11:00-15:00		1,8	
15:00-16:00		1,5	
16:00-17:00		1,5	
17:00-19:00		2,1	
19:00-22:00		2,4	
22:00-24:00		1,8	
6:00-10:00			1,2
10:00-16:00			0,4
16:00-22:00			1,6
22:00-24:00			1,2



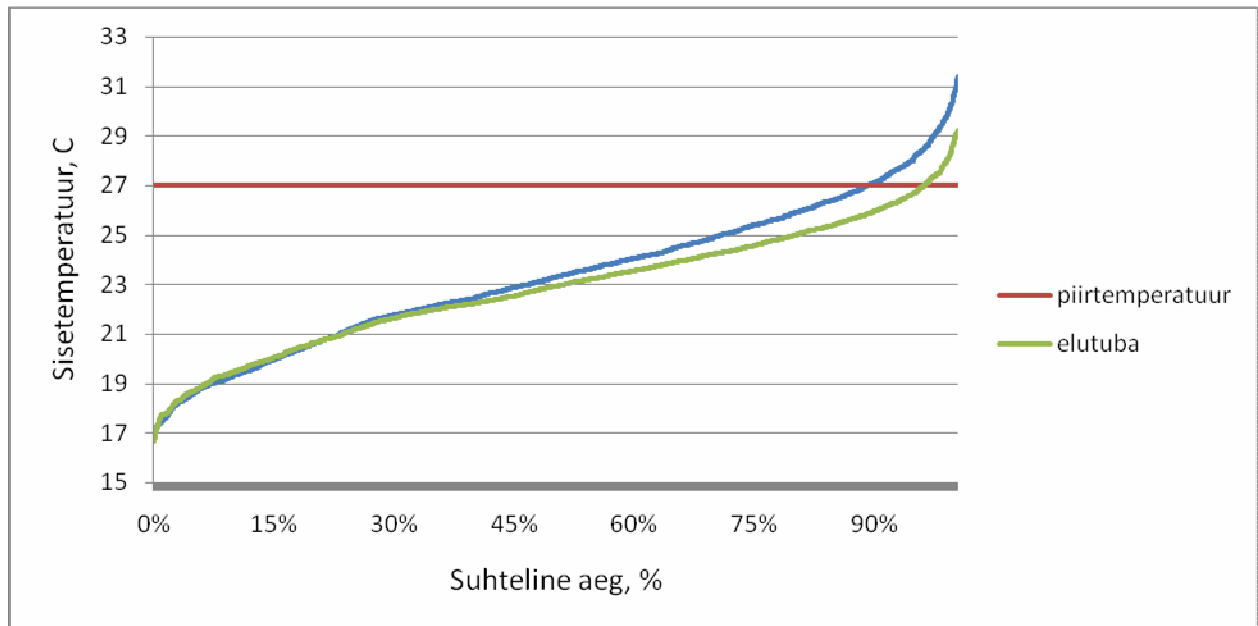
Joonis 3.167 Magamistoa ja elutoa sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06-31.08

Magamistoa piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 47 °C·h.

Elutoa piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 21 °C·h.

Suvised ruumitemperatuuri nõue on täidetud, kuna ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 27 °C rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august.

Lisaks on analüüsitud suvised sisetemperatuure olukorras kus hoonel puuduvad rõdud.



Joonis 3.17 Magamistoa ja elutoa sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06-31.08

Magamistoa piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 335 °C·h.

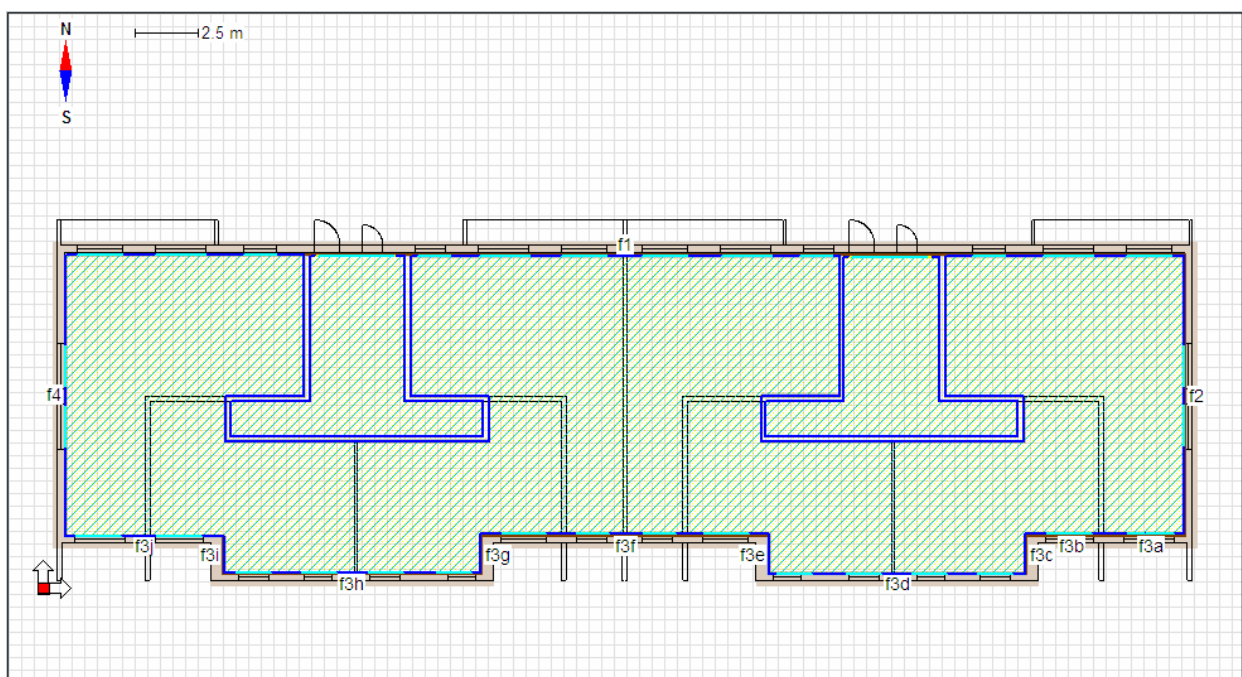
Elutoa piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 75 °C·h.

Suvised ruumitemperatuuri nõue ei ole täidetud magamistoaas, kuna ruumitemperatuur ületab jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 27 °C rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august.

3.3 Korterelamu C

3.3.1 Valitud hoone kirjeldus

Valitud on üheksakorruseline, kahe trepikojaga hoone. Hoones on 72 korterit ja kütmata kelder.



Joonis 3.18 Analüüsitud korterelamu tüüpkoruse plaan.

Korterelamu peamised tehnilised näitajad:

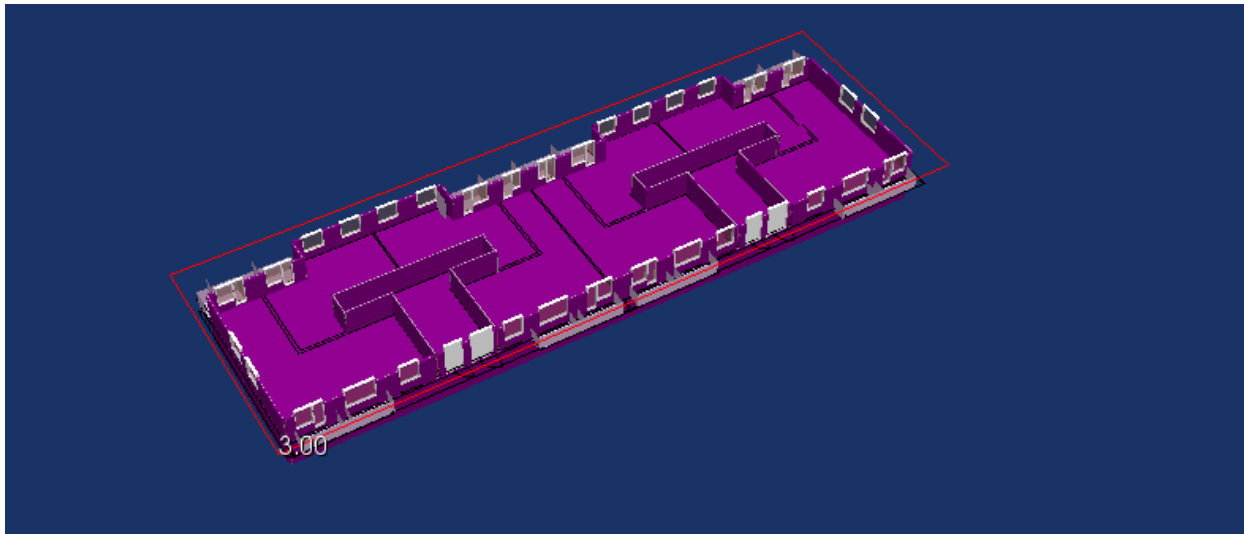
- Suletud netopind = köetav pind: 4534 m²;
- Laius × pikkus × kõrgus: 13,3 x 45,0 x 26,2 m
- Siseruumide kõrgus: 2,52 m;
- Kortrite arv: 72;
- Kütte temperatuuriseade:
korterites 21°C
trepikodades 17°C

Arvutusmodeli kirjeldus

Hoone on jaotatud tsoonideks erineva kütte temperatuuriseade ja kasutusprofiilide alusel:

- korterites 21°C

- trepikodades 17°C
- keldris küttekehad puuduvad



Joonis 3.20 Hoone tsoonideks jaotus (üleval) ja välisvaade põhjast (all).

Lõuna- ja põhjafassaadil olevate akende kohal on päikesekatteks järgmise korruse rõdu. Otsaseintes akendel välised päikesekatted puuduvad. (vt. Joonis 3.20 all). Hoone on raudbetoonist monteeritud paneelidest seinte ja raudbetoonist katuslaega ning pinnasele toetatud põrandaga. Energiakuluarvutus on tehtud erinevate piirdetarindite ja ventilatsiooni lahenduste kohta (vt. Tabel 3.7). Külmasildade lisakonduktantsideks on kasutatud VVm. 258 lisas 10 esitatud suurus.

Tabel 3.7 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	A	B	C	F	P
Soojajuhtivus, W/(m ² ·K)					
Välissein	1,03	0,23	0,23	0,23	0,07
Katuslagi	0,55	0,18	0,18	0,18	0,06
Põrand	1,91	0,18	0,18	0,18	0,08
Aken: klaas / raam (raami osakaal 10%)	1,8 / 2,0	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	0,5 / 1,1
Päikesefaktor g	0,76/0,67	0,58/0,53	0,58/0,53	0,58/0,53	0,50/0,40
Välisuks	0,7	0,7	0,7	0,7	0,4
Öhulekkearv q ₅₀ , m ³ /(h·m ²) / l/(s·m ²)	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415	3 / 0,0415
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0	0	0,6	0	0,8
Ventilaatori summaarne kasutegur	-	-	0,35	0,35	0,4
Heitõhu miinimumtemperatuur, °C	-	-	5 °C	5 °C	0 °C
Rõhutõus sissepuhe/väljatõmme, Pa	-	-	590 / 550	-400	320 / 250

Variant A on olemasolev kortermaja. Piirdetarinditest on aknad 90% osas vahetatud uute vastu ja katus renoveeritud. Välisseinte lisasoojustamist tehtud ei ole.

Variant B hoonepiirded vastavad Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18°C→22°C).

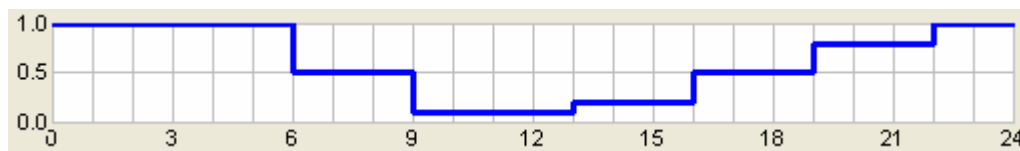
Variant C korral on piirdetarindid samad, mis variant B korral, kuid ventilatsioonisüsteemiks on soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe süsteem.

Variant F korral on piirdetarindid samad, mis variant B korral, kuid ventilatsioonisüsteemiks on sundväljatõmbe süsteem, kus värske õhk saadakse värske õhu klappide kaudu.

Variant P puhul on hoonepiirete juures energiatõhususele pööratud veel rohkem tähelepanu.

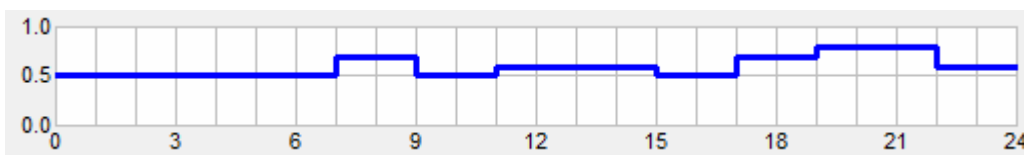
Hoones on radiaatorküte. Hoonel ei ole jahutussüsteemi. Ventilatsioonisüsteemiks on loomulik ventilatsioon. Sundventilatsiooniga standardkasutuses on hoone ventilatsioonihulgaks arvestatud elu- ja magamistubades 1,0 l/sm² ning üldruumides 0,42 l/sm².

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Elanike soojuseraldusena on arvestatud 3 W/m² so. 3 × 5271=15813 W ja kasutusaste 0,6. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.19). Ruumide kasutusprofiil on läbi aasta sama.



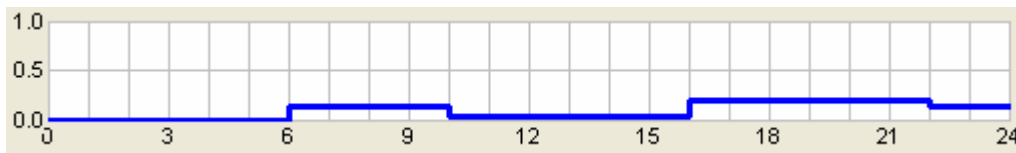
Joonis 3.19 Elanike kohalolek

Seadmete vabasoojus on 3 W/m² so. 3×5271=15813 W ja kasutusaste 0,6. Seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.20).



Joonis 3.20 Seadmete töögraafik

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m^2 so. $8 \times 6682 = 53456 \text{ W}$ ja kasutusaste 0,1. Valguste vabasoojus ja elektritarve on jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.21) Joonis 3.5.



Joonis 3.21 Valgustite töögraafik

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks linn.

Sooja tarbevee kulu olemasolevas hoones on 0,089 l/s. Teiste arvutusvariantide korral on arvestatud 50 l inimese kohta ööpäevas ja inimeste arvuks on arvestatud magamistubade arv pluss 1 so. 0,104 l/s. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C .

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka $0,0415 \text{ l/s}$ ($q_i = \frac{n_{50}}{3,6 \cdot 20} [l/s]$), mis on arvatud hoonepiirete õhulekkearvu 3 ja hoone kordsuse teguri 20 abil.

3.3.2 Tulemused

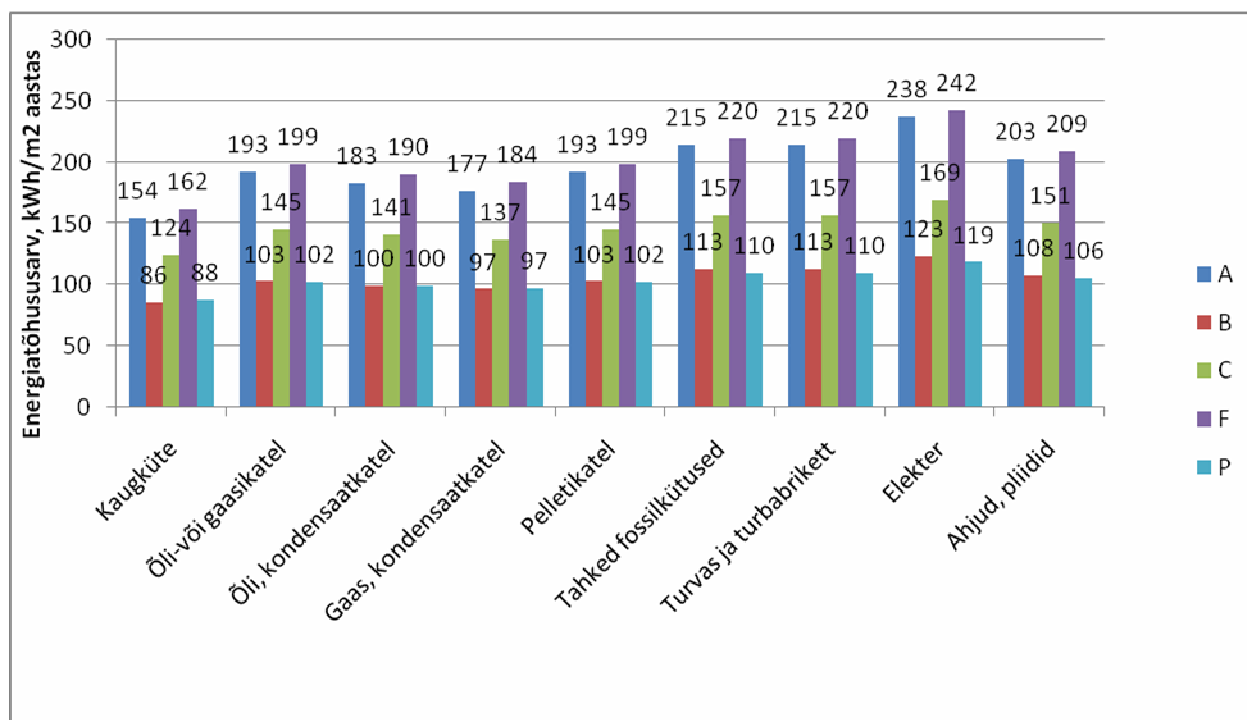
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide ja ventilatsiooniõhuküte ning tehnosüsteemide, seadmete, valgustuse ja tarbevee soojendamiseks kuluv energia (vt. Tabel 3.8).

Tabel 3.8 Energiakulu arvutustulemused.

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahu-tus	Küte	Jahu-tus	Sooja-tagas-tus	Ventilaatorid, pumbad	Sead-med	Valgus-tus	Soe tarbe-vesi
A, kWh	718446	471057	-	-	-	0	37	61578	28058	157716
A, kWh/m ²	158	104	-	-	-	0	0,01	14	6	34
A, võimsus, W (-22°C)	180148									
B, kWh	372507	92106	-	-	-	0	37	61578	28058	190728
B, kWh/m ²	82	20	-	-	-	0	0,01	14	6	42
B, võimsus, W (-22°C)	43807									
C, kWh	512064	82037	-	67780	-	256922	81883	61578	28058	190728
C, kWh/m ²	113	17	-	15	-	57	18	14	6	42
C, võimsus, W (-22°C)	56019			48298						
F, kWh	732234	415598	-	-	-	0	36272	61578	28058	190728
F, kWh/m ²	161	91	-	-	-	0	8	14	6	42
F, võimsus, W (-22°C)	56014									
P, kWh	358760	23377	-	19245	-	314561	35774	61578	28058	190728
P, kWh/m ²	79	5	-	4	-	69	8	14	6	42
P, võimsus, W (-22°C)	30330			47946						

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud (vt. Joonis 3.22).



Joonis 3.22 Erinevate variantide energiatõhususarvud

Tulemused on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil variant A-le (vt. Tabel 3.9 ja Tabel 3.10).

Tabel 3.9 Energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Korterelamu		<input type="checkbox"/>	Uusehitus
Aadress	Anonüümne		<input type="checkbox"/>	Rekonstr.
Ehitusaasta	1974		<input checked="" type="checkbox"/>	Olemasolev
Köetav pind	4534	m ²	hoone	
Suletud netopind	4534	m ²		
Energiatõhususarv (ETA)	154	kWh/m²	(kWh köetava pinna ruutmeetri kohta)	
Energiakandja	Ostetud kütused kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Kaalumis-tegur, -	Kaalutud energia-kasutus kWh/a
Elekter		89673	1,5	134509
Kaugküte	kWh/a	628773	0.9	565896
Summa		718446		700405
Hoone tehnosüsteemide energiakasutus				
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a	
Küttesüsteem	37		628773	
Ventilatsioonisüsteem	-		-	
Jahutussüsteem	-		-	
Elektrisüsteem	89636		-	
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	89673		628773	

Netoenergiavajadus, kWh/a	
Ruumide küte	471057
Ventilatsiooniõhu soojendamine	-
Tarbevee soojendamine	157716
Kütteenergia kokku	628773
Utiliseeritavad vabasoojused	-
Jahutus	-

Tehnosüsteemide võimsused		
	Elekter, kW	Soojus, kW
Küttesüsteem		628773
Jahutussüsteem		-
Elektrisüsteem	XXX	

Tabel 3.10 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutussoonide arv	12
Küttesüsteemi tüüp	
-soojusallikas ja kütus	Kaugküte
-soojuse jaotamine	Veeradiaator
Vent.süsteemi tüüp	Loomulik ventilatsioon
Jahutussüsteem	Ei ole
Infiltratsiooni õhuvahetus	0,0415 l/s m ² välispinna kohta
Soojaerikadu	XXX W/(K·m ²)

Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K
Välissein	3346	1,03	3446
Katuslagi	524	0,55	288
Põrand pinnasel	524	1,91	996
Aknad ja ukсед	750	1,8	1350
Summa/kaalutud keskmine	5144	1,32	6080

Külmasillad			
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K
Välissein/vahelagi	0,4		
Välissein/vahesein	0,4		
Välissein/välissein	0,8		
Akna ümbrus	0,4		
Ukse ümbrus	0,4		
Katus/välissein	0,8		
Põrand/välissein	0,8		
Rõdu/välissein	1,2		
Välisseinad	0		
Summa, W/K	-		

Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikese-faktor g, -
Lõunasse	342	1,8	2,0	1,82	622	0,76
Läände	41	1,8	2,0	1,82	75	0,76
Põhja	326	1,8	2,0	1,82	593	0,76
Itta	41	1,8	2,0	1,82	75	0,76
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	750	1,8	20,	1,82	1365	0,76

Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sisse- puhke temp., °C	Soojus- tagastus temperatuuri- suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilatsioonimasin	-	-	XXX	-	-	-
Küttesüsteem						
	Süsteemi kasutegur, %	Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmine soojustegur), -		Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri koosseisus), kWh/a		
Ruumide küte	0.98			37		
Ventilatsiooniseade	-			-		
Soe tarbevesi	-			-		
Jahutussüsteem						
	Külma tootmise jahutustegur, -	Süsteemikaotegur, -		Abiseadmete elektritarbimisetegur, -		
Puudub						
Sooja vee tarbimine						
	l/(d inim.)	Inimeste arv	l/(d·m ²)	m ²	kokku, m ³ /a	
	50	180			3285	
Ahjud, kaminad ja elektrikerised						
	Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a		
	Ahjud, W	Kaminad, W		puudub		
	puudub	puudub		puudub		
Vabasoojused						
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h		
Inimesed	3,0	60	7	24		
Seadmed	3,0	60	7	24		
Valgustus	8,0	10	7	24		

Suviste ruumitemperatuuride arvutus

- Hoone suviste temperatuuride analüüs on tehtud üheksanda korruse kahe magamistoa (pindalaga 16,8 m² ja 9,5 m²) ja ühe elutoa (pindalaga 16,0 m²) alusel.

Elutoas on arvestatud 2 inimesega, kellede soojuseralduseks on arvestatud 125 W/in (vastab 1,2 soojuseraldusühikule (met) keha pindala 1,8 m² korral) so. 2×125=250 W. Inimesed on toas vastavalt ruumi kasutusprofiilile (vt. Joonis 3.19). Seadmete vabasoojus on 3.0 W/m² so. 3.0×16,0=48,0 W ja seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.20). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m² so. 8×16,0=128,0 W ja valgustid on sisse lülitatud jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.21) Joonis 3.5.

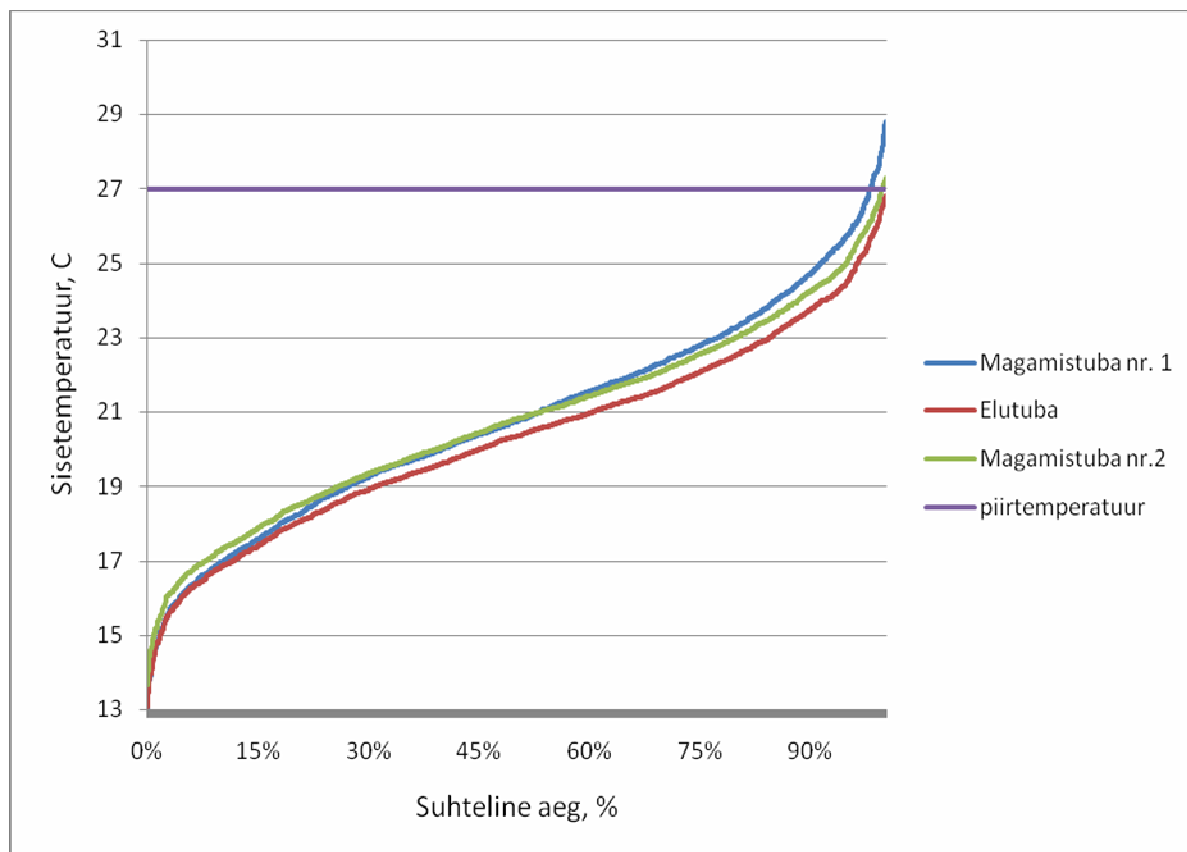
Magamistubades on arvestatud 2 inimesega, kellede soojuseralduseks on arvestatud 125 W/in (vastab 1,2 soojuseraldusühikule (met) keha pindala 1,8 m² korral) so. 2×125=250 W. Inimesed on toas vastavalt ruumi kasutusprofiilile (vt. Joonis 3.19). Seadmete vabasoojus on 3.0 W/m² so. 3.0×16,8=50,4 W ja 3,0×9,5=28,5 W, seadmed töötavad vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.20). Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 8 W/m² so. 8×16,8=134,4 W ja 8×9,5=76 W, valgustid on sisse lülitatud jaotunud vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (vt. Joonis 3.21) Joonis 3.5.

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn.

Arvutustulemused ja magamistoa kasutusprofiil vastavalt VVm 258 lisas 21 esitatud tabelile (vt. Tabel 3.11 ja Joonis 3.23).

Tabel 3.11 Magamistoa nr 1 suvise ruumitemperatuuri kontrolli tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 21 esitatud tabelile

Ruum	Magamistuba nr 1		
Piirtemperatuur	27 °C		
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv	50 °C·h		
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
22:00-06:00	14,9		
06:00-09:00	7,5		
09:00-13:00	1,5		
13:00-16:00	3,0		
16:00-19:00	7,5		
19:00-22:00	11,9		
0:00-7:00		1,5	
7:00-9:00		2,1	
9:00-11:00		1,5	
11:00-15:00		1,8	
15:00-16:00		1,5	
16:00-17:00		1,5	
17:00-19:00		2,1	
19:00-22:00		2,4	
22:00-24:00		1,8	
6:00-10:00			1,2
10:00-16:00			0,4
16:00-22:00			1,6
22:00-24:00			1,2



Joonis 3.23 Magamistoa nr 1, elutoa ja magamistoa nr 2 sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06-31.08

Magamistoa nr 1 piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 34 °C·h.

Elutoa piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 0 °C·h.

Magamistoa nr 2 piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv on 2 °C·h.

Suvised ruumitemperatuuri nõue on täidetud, kuna ruumitemperatuur ei ületa jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 27 °C rohkem kui 150 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august.

3.4 Kokkuvõte korterelamute analüüsi kohta

Kokkuvõte korterelamu A analüüsi kohta

Antud osas on uuritud ja analüüsitud uutele korterelamutele esitatud nõudeid VVm. 258 kontekstis, samuti on analüüsitud vanade kortermajade olulise renoveerimise korral tekkivat olukorda.

Määruses esitatud energiatõhususarvud on ehitatavatele hoonetele hästi saavutatavad, kuid oluliselt renoveeritavatele korterelamutele samas raskesti saavutatavad (vastavalt 150 kWh/(m²a) ning 200 kWh/(m²a)). Viimatimainitu tänu soojustagastusega ventilatsiooni kasutuselevõtu nõudest, mis tehniliselt on keerukas ning majanduslikult pika tasuvusajaga.

Kuna analüüsiks kasutati suhteliselt kompaktselt hoonet, siis oleks otstarbekas teostada uuring ka vähemkompaktse korterelamu kohta, arvestades juba uusi ventilatsiooni normarve.

Tulemustes on selgesti näha kütuste põletamise kasutegurite ning kaalumistegurite mõju energiatõhususarvule.

Suvel tekkivaid kõrgeid ruumide sisetemperatuure korterelamutes (eriti lääne ning lõuna suunas) on otstarbekas vältida kasutades ehituslikke (markiisid, rõdud, päikesekaitseklaasid) ning kasutusest tulenevaid (akende avamine, kardinade kasutamine) meetmeid. Mehaanilise jahutuse kasutuselevõttu korterelamutes tuleks vältida ning selle otstarbekas kasutamine vajab eraldi uurimist.

Kokkuvõte korterelamute B ja C analüüsi kohta

Ehitatavatele hoonetele ettenähtud piirväärtus korterelamutes 150 kWh aastas ruutmeetri kohta ületati sel põhjusel, et hoones on ilma soojustagastusega ventilatsiooni süsteem, mis kasutab värske õhuna külma välisõhku. Kasutades hoones soojustagastusega ventilatsioonisüsteemi (soojustagasti kasuteguriga 0,6) väheneb energiatarve 25%. Piirdetarindite U-arvude parandamine andis 6% energiatarbe vähenemise.

Suvised ruumitemperatuuri nõude täitmisel probleeme ei ole kuna rõduplaad toimib päikesevarjuna allpool olevale aknale. Kui akandel väliseid päikesekatteid ei ole, siis lõunapoolsete akendega ruumides ületatakse sisetemperatuuri nõuet.

4 Büroohooned

4.1 Büroohoone A

4.1.1 Valitud hoone kirjeldus

Büroohoonete osas valiti arvutuseks panga- ja büroohoone. Tegemist on tänapäeva tüüpilise büroohoonega, millel on 6 korrust, klaasfassaad ja katuseaknaga aatrium. Hoone kütmine toimub gaasikatlaga, jahutamiseks kasutakse külmakompressorit või vabajahutust ja soe tarbevesi soojendatakse elektri boileritega. Hoones on rootorsoojustagastiga varustatud sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem. Serveriruumide jahutamiseks kasutatakse split-jahuteid. Hoone koe tav pind on 5500 m².

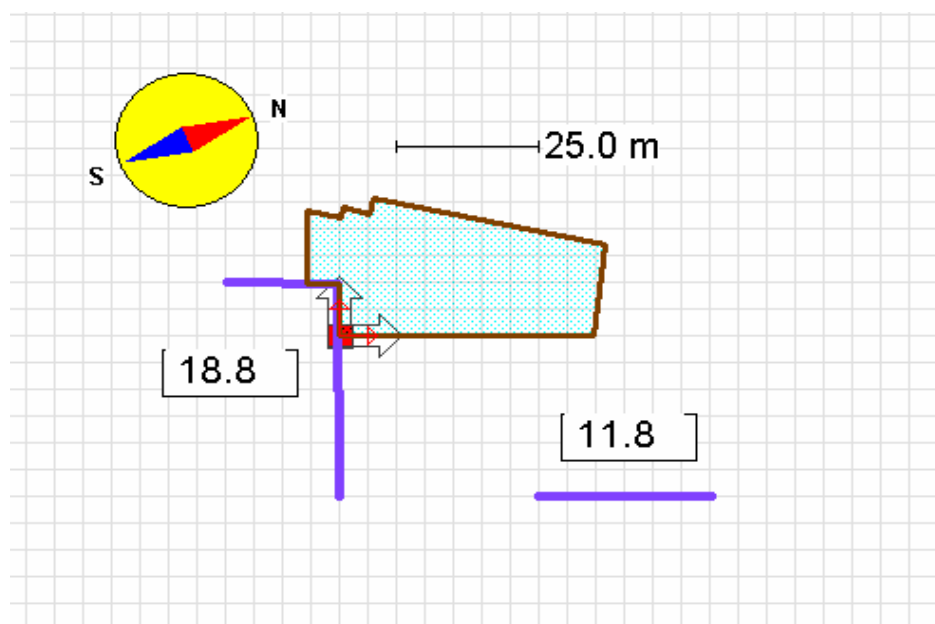
Info hoone arhitektuuri kohta on saadud hoone haldaja arhiivis olevatest kaustadest ning arhitektuurbüroo arhiivist. Hoone konstruktsioonide kohta on info saadud vastava projektbüroo arhiivist. Info kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide kohta on saadud tehnosüsteemide inseneribüroo arhiivist, hoone haldaja arhiivis olevast ventilatsioonisüsteemi passist ning kohapealsetest vaatlustest. Hoone sisekliima parameetrid sisemised soojuskoormused on leitud kohapealsete mõõtmiste ja vaatluste abil.

4.1.2 Arvutusmudeli kirjeldus

Antud hoone kanti arvutusprogrammi sisse 5 erineva mudelina: 1. korrus, 2. korrus, 3.-5. korrus ühe korrusena (energiatarbimise andmed võeti arvesse 3-kordselt), 6. korrus ja 7. korrus. Gaasikatlamaja soojuseralduste tõttu sai 7. korruse kütteenergia ja elektrienergia kulu sai arvutatud erinevate mudelitena, kus gaasikatla soojuseraldused vähendasid küttekulusid, aga elektrikulu arvutades jäeti see arvestamata. Arvutusmudelisse on kantud ka kaks lähedalasuvat hoonet (vt Joonis 4.1 Ümbritsevate hoonete plaan). Üks on hoone lõunapoolses nurgas ja teine asub 30 m kaugusel hoone idafassaadist.

Hoone kalibreerimise käigus arvutati keldrikorruse ja soklikorruse energiatarve jahutusseadmete puudumise tõttu käsitsi. Keldri- ja soklikorruse plaanid on antud alljärgnevatel joonistel. Serveriruumid jäeti arvutusmudelitest välja ja nende töötamise ning jahutamise elektritarve arvutati käsitsi.

Kõik gaasihulgad on antud energiahulkadena, mis saadakse antud gaasikoguse põletamisel alumisel kütteväärtusel 33.6 MJ/m³.



Joonis 4.1 Ümbritsevate hoonete plaan

Energiaakuarvutused on tehtud viie erineva lahenduse kohta (vt tabel 4.1).

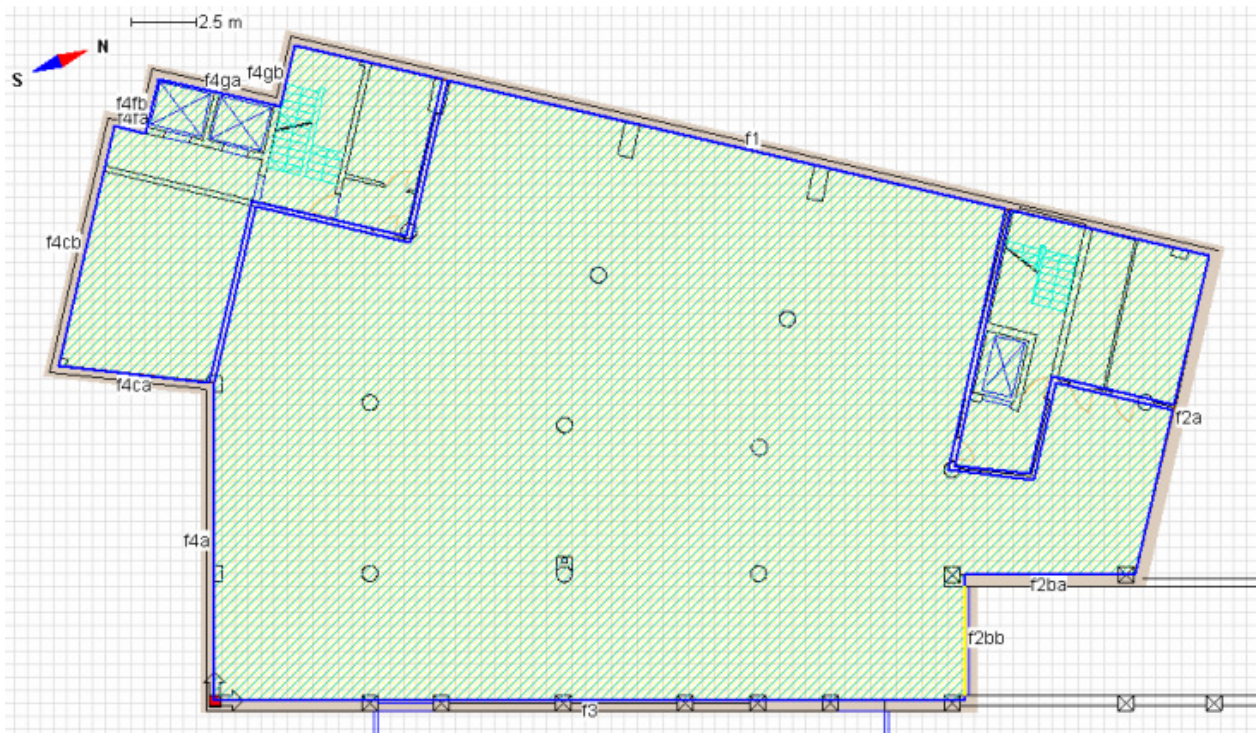
Tabel 4.1 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	T	A	B	C	D
Soojajuhtivus, $W/(m^2 \cdot K)$					
Välissein	0,31	0,31	0,35	0,24	0,17
Katuslagi	0,21	0,21	0,25	0,19	0,09
Põrand välisõhu kohal	0,25	0,25	0,25	0,19	0,09
Taustvärvitud klaas läänefassaadil	1,9	1,9	1,9	1,8	1,0
7. Korruse välisseinad ja katuslagi	0,22	0,22	0,25	0,19	0,14
Pool läbipaistev aken: klaas / raam (raami osakaal 10%), Päikesefaktor, g	1,9 / 2,0 0,68	1,9 / 2,0 0,68	2,0 / 2,0 0,69	1,8 / 2,0 0,68	1,0 / 2,0 0,55
Peegelklaasiga aken: klaas / raam (raami osakaal 10%), Päikesefaktor g	1,1 / 2,0 0,27/0,22	1,1 / 2,0 0,27/0,22	1,1 / 2,0 0,31/0,24	1,1 / 2,0 0,27/0,22	1,0 / 2,0 0,25/0,21
Külmamasina COP *	4	4	3,5	3,5	5
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, $l/s \cdot m^2$	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8
Ventilaatori poolt arendatav rõhk sissepuhe/väljatõmme, Pa	800 / 600	780 / 530	780 / 530	780 / 530	780 / 530

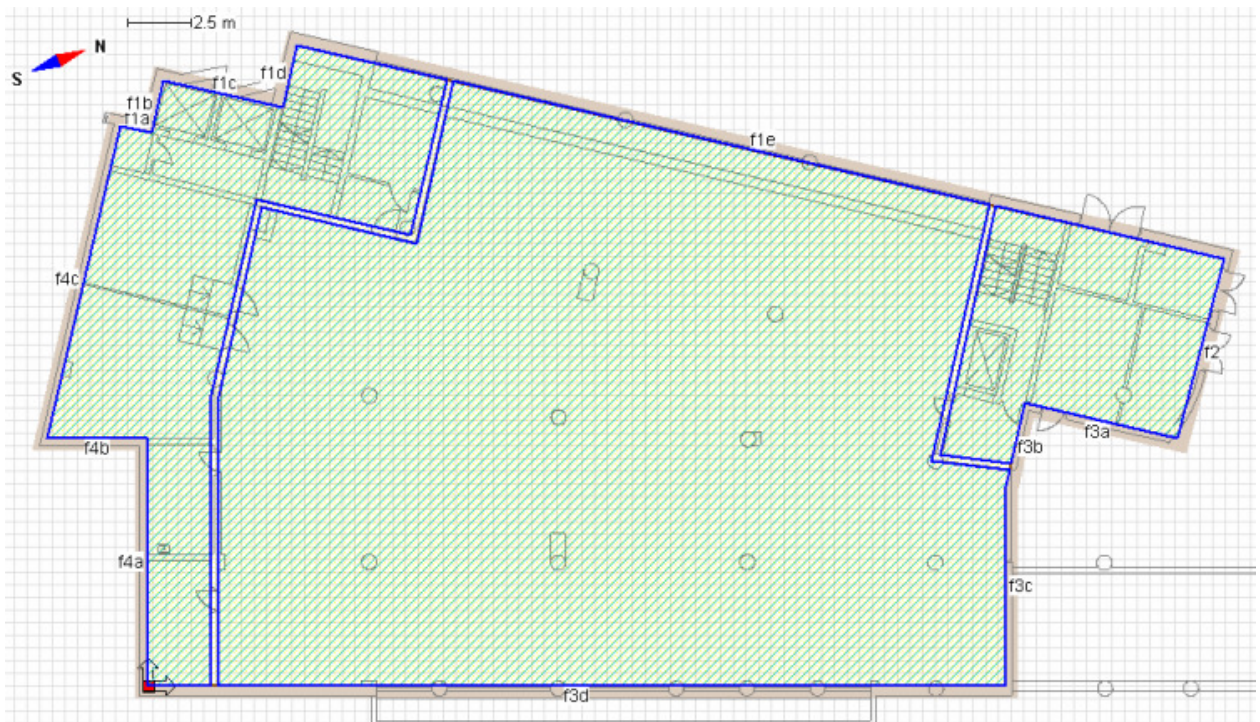
* - Soojustegur, mis on jahutusenergia ja selle jaoks kulutatud elektrienergia suhe

Variant T on tegelik hoone, kusjuures kõik sisemised soojuskoormused ja ajagraafikud on arvesse võetud vastavalt tegelikule olukorrale. Variant A on tegelik hoone, mille külmasildade lisakonduktantsid; kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine; sisemised soojuskoormused ning kasutusprofiilid vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaühenduse miinimumnõuded“. Variant B on variandi A kehvemate parameetritega variant, kus puudub vabajahutus, kehvemaks on muudetud akende ja soojustagasti omadusi ning piirdetarindite U-arvused. Variant C hoonepiirded vastavad Eesti projekteerimismisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine $18^{\circ}C \rightarrow 21^{\circ}C$) ja soojatarbevett soojendatakse küttesüsteemiga, kasutatakse fan-coile ning puudub vabajahutus. Variant D variandi C edasiarendus, kus hoonepiirded on valitud vastama Soome ehitusmääruse C3 (2010) nõudeid ja kasutatakse jahutuspalke ning vabajahutust.

Sooja tarbevee kulu on 100 liitrit aastas m^2 kätava pinna kohta so. $550 m^3/a$. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on $50^{\circ}C$.



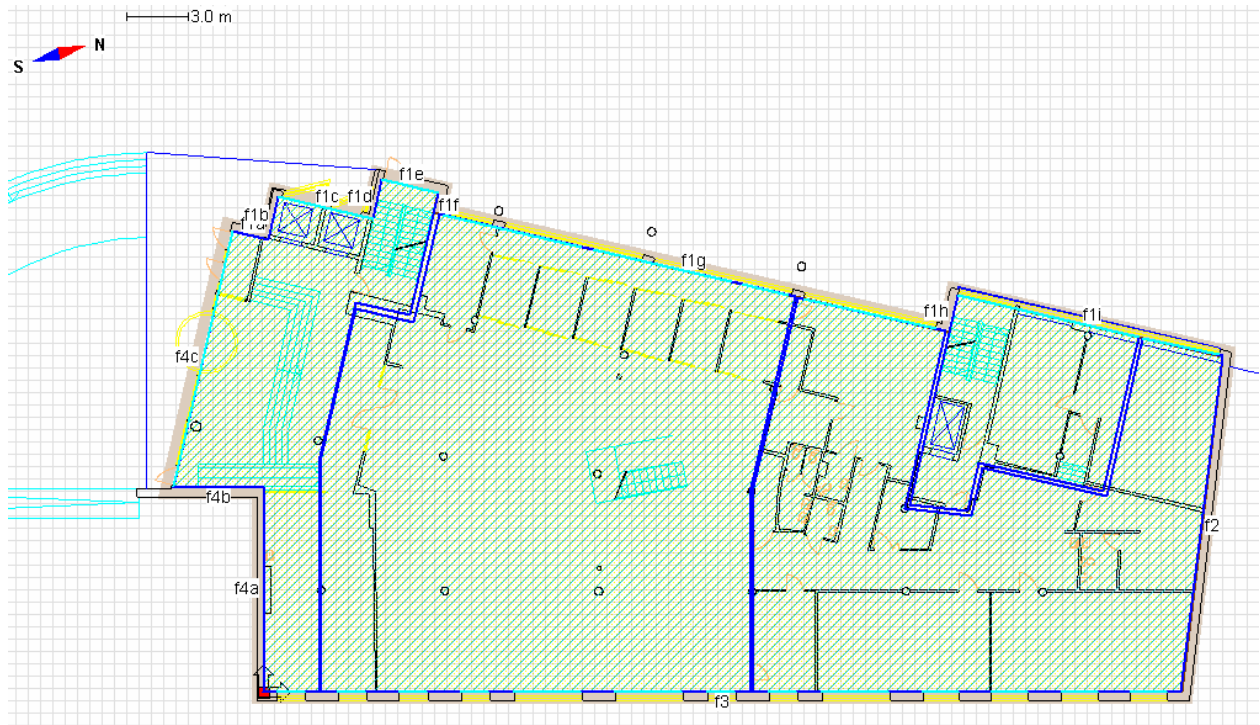
Joonis 4.2: Keldrikorruse plaan



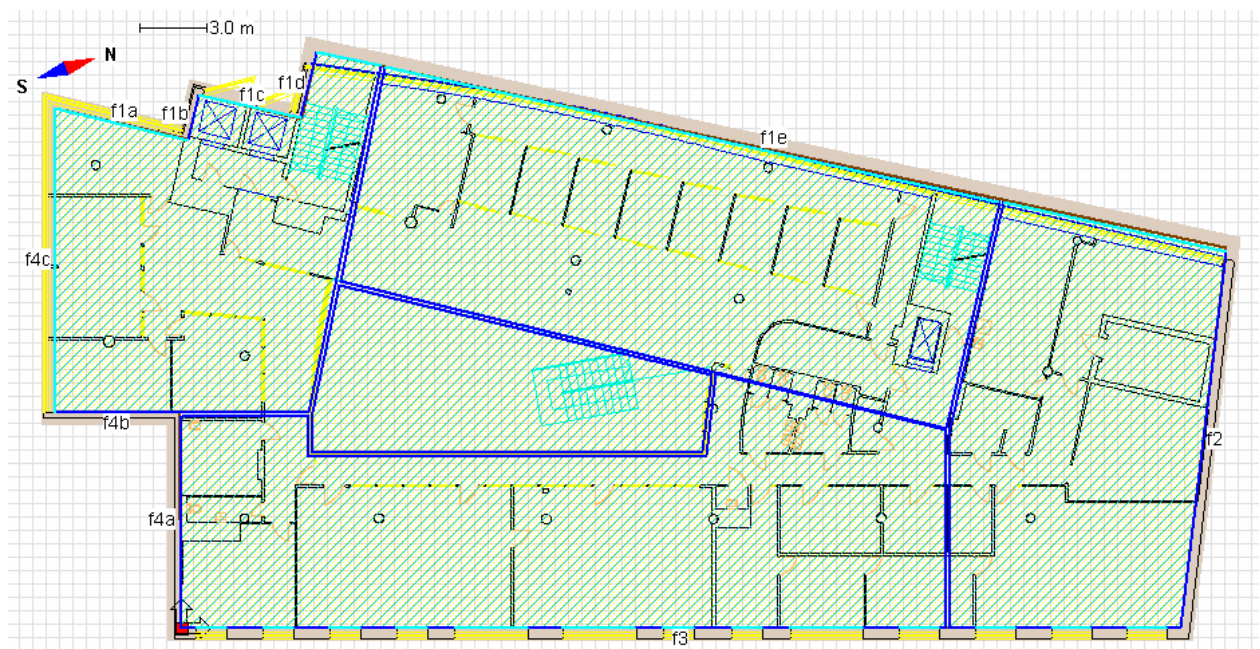
Joonis 4.3: Soklikorruse plaan

Tsoonideks jaotus

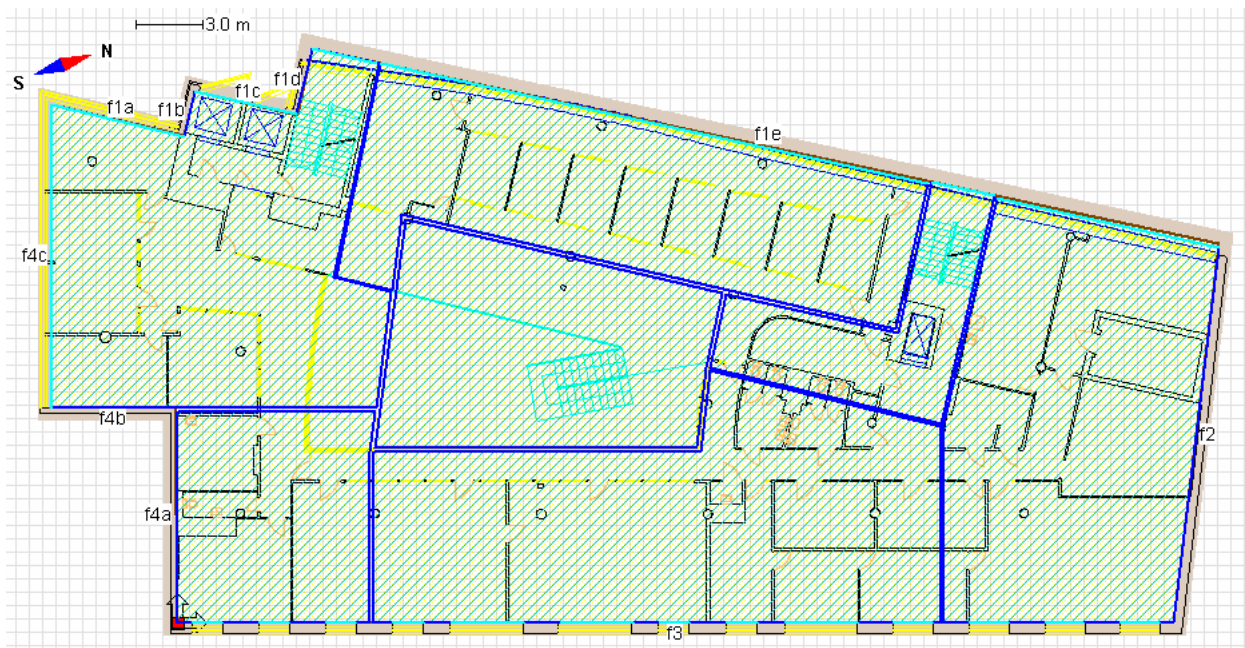
1. korrus on jaotatud neljaks tsooniks (vt Joonis 4.4: 1. korruse plaan) – pangasaal, fuajee, pangasaali tagune ruum ja pangasaali tagusest ruumist see osa, mis jääb soklikorrusel asuvate köetavate tehniliste ruumide kohale. 2. kuni 5. korrus on jaotatud viieks (vt Joonis 4.5: 2.-5. korruse plaan) – igal fassaadil üks tsoon ja aatrium. 6. korrus on jaotatud seitsmeks tsooniks (vt Joonis 4.6: 6. korruse plaan) – aatrium ja igal fassaadil tsoon, kusjuures ida- ja lääne fassaadide tsoonid on jagatud kaheks tsooniks vastavalt 7. korrusel asuvatele köetud ruumidele. 7. korrus on jaotatud kolmeks tsooniks (vt Joonis 4.7: 7. korruse plaan ja Joonis 4.8: 7. korruse vaade lõunast) – katuseakna alune, ventilatsiooni kamber katlamajaga ning muud ruumid.



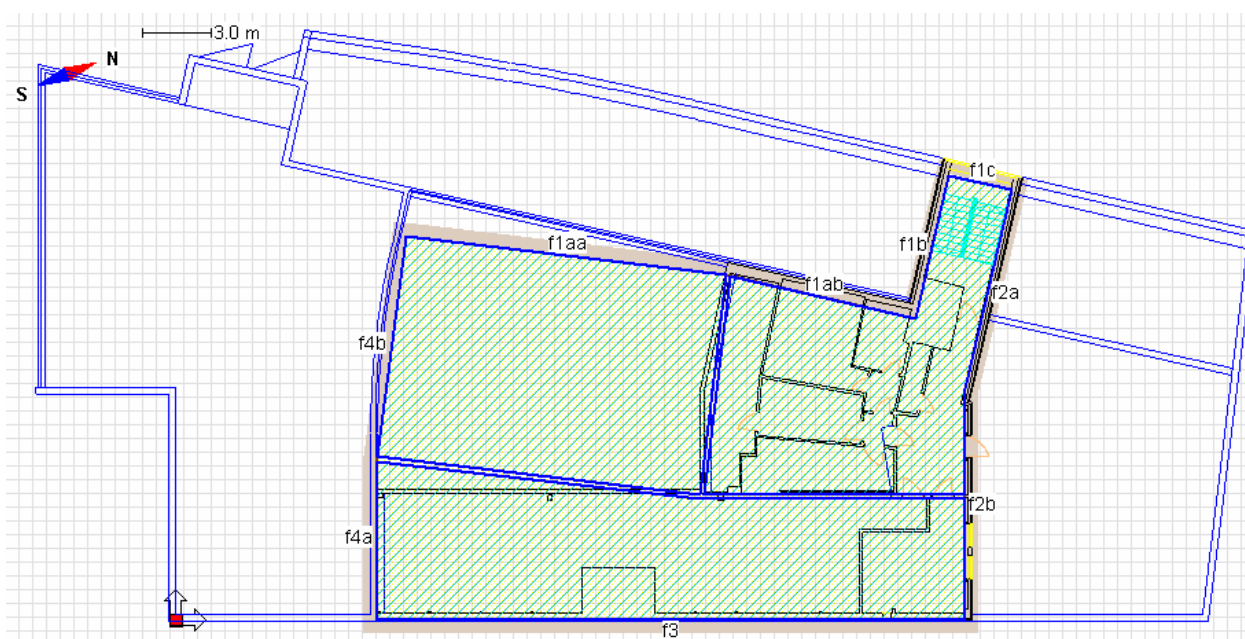
Joonis 4.4: 1. korruse plaan



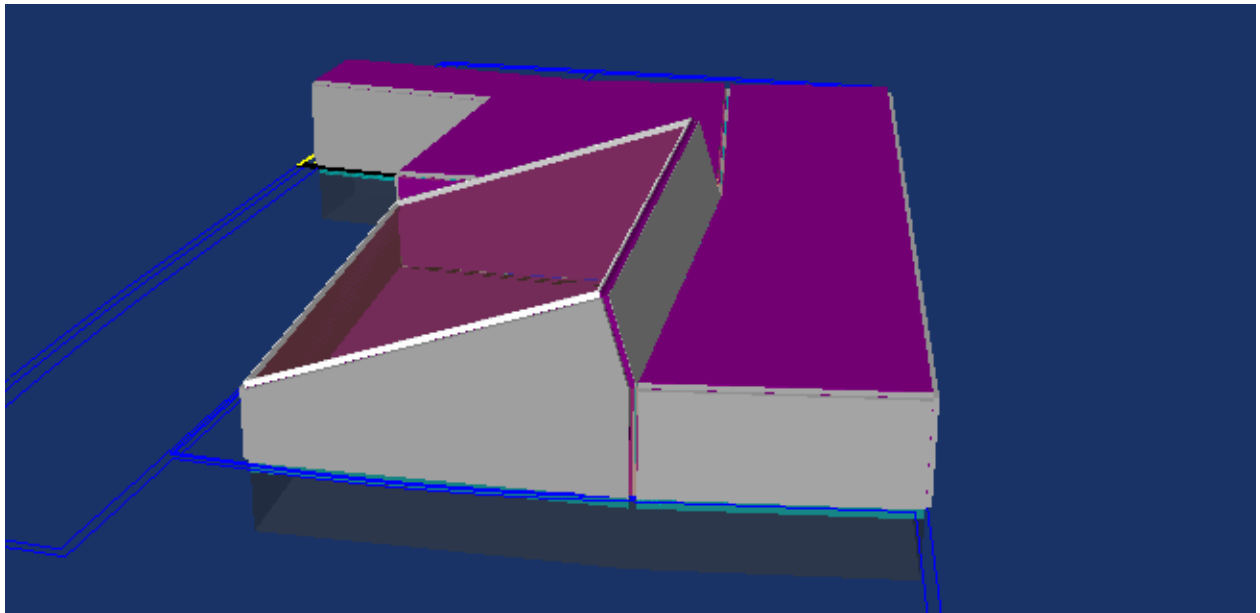
Joonis 4.5: 2.-5. korruse plaan



Joonis 4.6: 6. korruse plaan



Joonis 4.7: 7. korruse plaan



Joonis 4.8: 7. korruse vaade lõunast

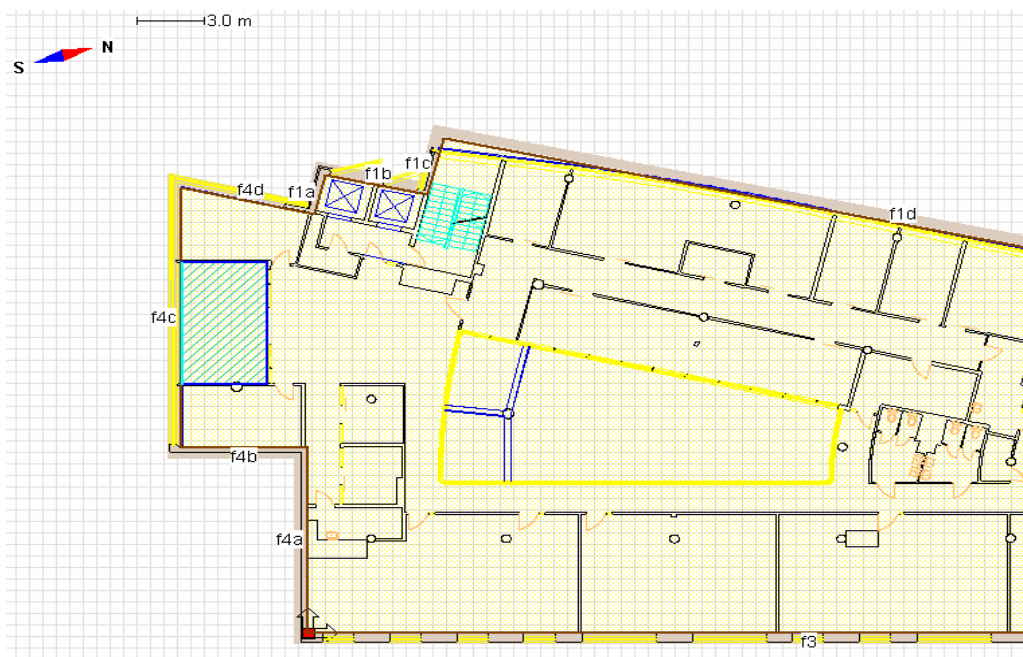
Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll

Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll on tehtud 3. korrusel lõunafassaadil asuva kontoriruumi kohta (vt Joonis 4.9 Temperatuurikontrolli arvutusmudeli plaan). Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll on tehtud standardkasutusel vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“. Suvised temperatuuriseadeks on valitud +25 °C

Ruumi temperatuuri kontroll on tehtud kahes variandis:

- A – jahutusseadmete võimsused on võetud jahutuse projektist
- B – jahutusseadmete võimsusi on võrreldes variandiga A suurendatud 2 korda

Ruumide kasutusprofiilid on antud tulemustes (vt Tabel 4.6 Kontoriruumi variant A kasutusprofiil ja Tabel 4.7 Kontoriruumi variant B kasutusprofiil)



Joonis 4.9 Temperatuurikontrolli arvutusmudeli plaan

4.1.3 Tulemused

Energiaarvutuse arvutusmudeli kalibreerimine

Simulatsiooni tulemusena ja käsitsi tehtud arvutuste tulemusena saadi aastasteks soojus- ja elektrienergia kuluks vastavalt 569.8 MWh ja 1243.2 MWh. Baasaastale vastav tegelik soojusenergia kulu 2007. aastal oli 593.0 MWh ja tegelik elektrienergia kulu oli 1229.7 MWh. Arvutatud soojusenergia kulu ja elektrienergia kulu moodustasid tegelikest vastavalt 96.0 % ja 101.0 %. Täpsem arvutatud energiakulude jaotus on antud tabelis Tabel 4.2 Tegeliku olukorra arvutatud brutoenergia kulud.

Tabel 4.2 Tegeliku olukorra arvutatud brutoenergia kulud

Korrus/süsteem	Kütte brutoenergia kulu, kWh/a	Elektri brutoenergia kulu, kWh/a
Kelder	43100	4700
Soklikorrus	35100	12800
1. korrus	79000	59000
2. korrus	65400	89600
3. korrus	59900	89200
4. korrus	59900	89200
5. korrus	59900	89200
6. korrus	97900	100100
7. korrus	69600	13700
Soe tarbevesi	-	11600
Serveriruumide kasutamine ja jahutus	-	551900
Parkla kaldteede ja hooneesise soojenduskaablid	-	132200
Kokku	569800	1243200

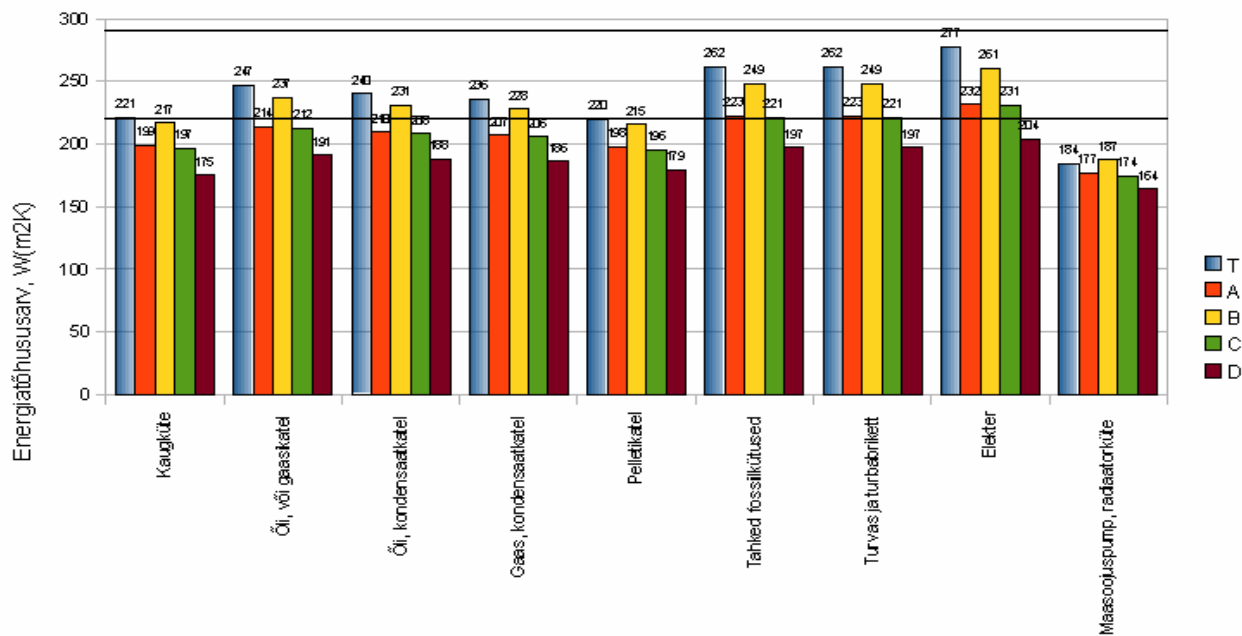
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuluva energia kohta vt. Tabel 2.7. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia ja tasakaalutemperatuur (temperatuur, millest kõrgemal kütet ei olnud vaja).

Tabel 4.3 Energiakulu arvutustulemused

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojagastus	Ventilaatorid, pumbad	Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
T, kWh	1107594	550993	41618	52080	15992	612957	157665	96358	181289	11600
T, kWh/m ²	200	99	7,5	9,4	2,9	110	29	17,4	49	2,1
T, võimsus, W (-22°C)	241131			171840						
A, kWh	902995	323634	36812	30908	14012	555157	136893	158385	173551	28800
A, kWh/m ²	163	58	6,6	5,6	2,5	100	25	29	31	5,2
A, võimsus, W (-22°C)	223893			204062						
B, kWh	1027027	339762	40732	134271	16030	469013	135496	158385	173551	28800
B, kWh/m ²	185	61	11	24	2,9	85	24	29	31	5,2
B, võimsus, W (-22°C)	229524			204171						
C, kWh	895777	299957	48320	32627	19902	54197	134235	158385	173551	28800
C, kWh/m ²	163	54	9	5,9	3,6	99	24	29	31	5,2
C, võimsus, W (-22°C)	206912			204162						
D, kWh	782491	197016	40651	29504	17633	556376	136951	158385	173551	28800
D, kWh/m ²	142	36	7,4	5,4	3,2	101	25	29	32	5,2
D, võimsus, W (-22°C)	173783			204639						

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud, vt. Joonis 2.13. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 4.10 Hoone energiatõhususarv erineva kütte- ja tarindilahenduse korral

Tabel 4.4 Variant A energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Büroohoone		<input type="checkbox"/>	Uusehitus
Aadress	Anonüümne		<input type="checkbox"/>	Rekonstr.
Ehitusaasta	2009		×	Olemasolev hoone
Kõetav pind	5499,6	m ²		
Suletud netopind	5499,6	m ²		
Energiatõhususarv (ETA)	214	kWh/m² (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)		
	Ostetud kütused	Tarnitud energia	Kaalumis-	Kaalutud energia-
Energiakandja	kogus/a	massi või mahuühik	tegur, -	kasutus kWh/a
Elekter			1,5	822680
*Gaas	kWh/a		1	354542
Summa			902995	1177222
	Hoone tehnosüsteemide energiakasutus			
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a	
Küttesüsteem	29000		354541	
Ventilatsioonisüsteem	136294			
Jahutussüsteem	50824			
Elektrisüsteem	331936			
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	548054		354541	
	Netoenergiavajadus, kWh/a			
Ruumide küte	269587			
Ventilatsiooniõhu soojendamine	25746			
Tarbevee soojendamine	28800			
Kütteenergia kokku	324133			
Utiliseeritavad vabasoojused	59218			
Jahutus	98166			
	Tehnosüsteemide võimsused			
	Elekter, kW		Soojus, kW	
Küttesüsteem			434	
Jahutussüsteem			902	
Elektrisüsteem	XXX			

Tabel 4.5 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutustsoonide arv	34					
Küttesüsteemi tüüp						
-soojusallikas ja kütus	Gaasikatlamaja					
-soojuse jaotamine	Veeradiaator					
Vent.süsteemi tüüp	Rootorsoojusvahetiga sissepuhke- väljatõmbe ventilatsioonisüsteem					
Jahutussüsteem	On					
Infiltratsiooni õhuvahetus	0.0415 l/(s välispinna m ²)					
Soojaerikadu	W/(K·m ²)					
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K			
Välissein	1353,1	0,31	419,5			
Klaasfassaadi tumm osa	259,3	1,9	492,7			
7. korruse välissein ja lagi	550,3	0,22	121,1			
Katuslagi	1048,2	0,21	220,1			
Põrand välisõhu kohal	799,1	0,25	199,8			
Poolläbipaistvad aknad	999,9	1,91	1909,8			
Pegeldavad aknad	150,5	1,19	179,1			
Uksed	8	1,9	15,2			
Summa/kaalutud keskmine	5168,4	0,69	3557,3			
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K			
Välissein/vahelagi	0,05					
Välissein/vahesein	0,03					
Välissein/välissein	0,07					
Akna ümbrus	0,03					
Ukse ümbrus	0,03					
Katus/välissein	0,08					
Põrand/välissein	0,12					
Rõdu/välissein	0,2					
Välisseinad	0,01					
Summa, W/K	-					
Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikesefaktor g, -
Lõunasse poolläbipaistvad	143	1,9	2	1,91	3,2	0,68
Lõunasse pegeldavad	103,7	1,1	2	1,19	15,4	0,27
Läände poolläbipaistvad	592,7	1,9	2	1,91	14,4	0,68
Läände pegeldavad	46,8	1,1	2	1,19	14,4	0,27
Itta	264,2	1,9	2	1,91	3,0	0,68
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	1150,4	1,82	2	1,84	2116,7	0,63
Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sissepuhke temp., °C	Soojus-tagastus temperatuuri-suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilatsioonimasin 1	780/530	45/45	XXX	+16	80	+0

Küttesüsteem				
	Süsteemi kasutegur, %	Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi keskmine soojustegur), -		Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri koosseisus), kWh/a
Ruumide küte	XXX (100)			200
Ventilatsiooniseade	XXX (100)			134504
Soe tarvevesi	XXX (100)			
Jahutussüsteem				
	Külma tootmise jahutustegur, 4	Süsteemikaotegur, 0,5		Abiseadmete elektritarbimisetegur, 0,03
Sooja vee tarbimine				
	l/(m ² a)	Pindala, m ²	l/(d·m ²)	m ² kokku, m ³ /a
	100	5499,6		549960
Ahjud, kaminad ja elektrikerised				
Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a	
	Ahjud, W puudub	Kaminad, W puudub	Elektrikerise tarbimine, kWh/a puudub	
Vabasoojused				
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h
Inimesed	6	60	5	9
Seadmed	18	60	5	9
Valgustus	15	60	5	9

Suvine ruumiõhutemperatuuri kontroll

Suvise ruumiõhutemperatuuri kontroll tehti läänefasaadil asuva kontoriruumi põhjal. Suvise ruumitemperatuuri nõue variant A puhul ei ole täidetud, sest kontoriruumis ruumitemperatuur ületab jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 25 °C rohkem kui 100 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august. Variant B puhul on suvise temperatuurinõue täidetud.

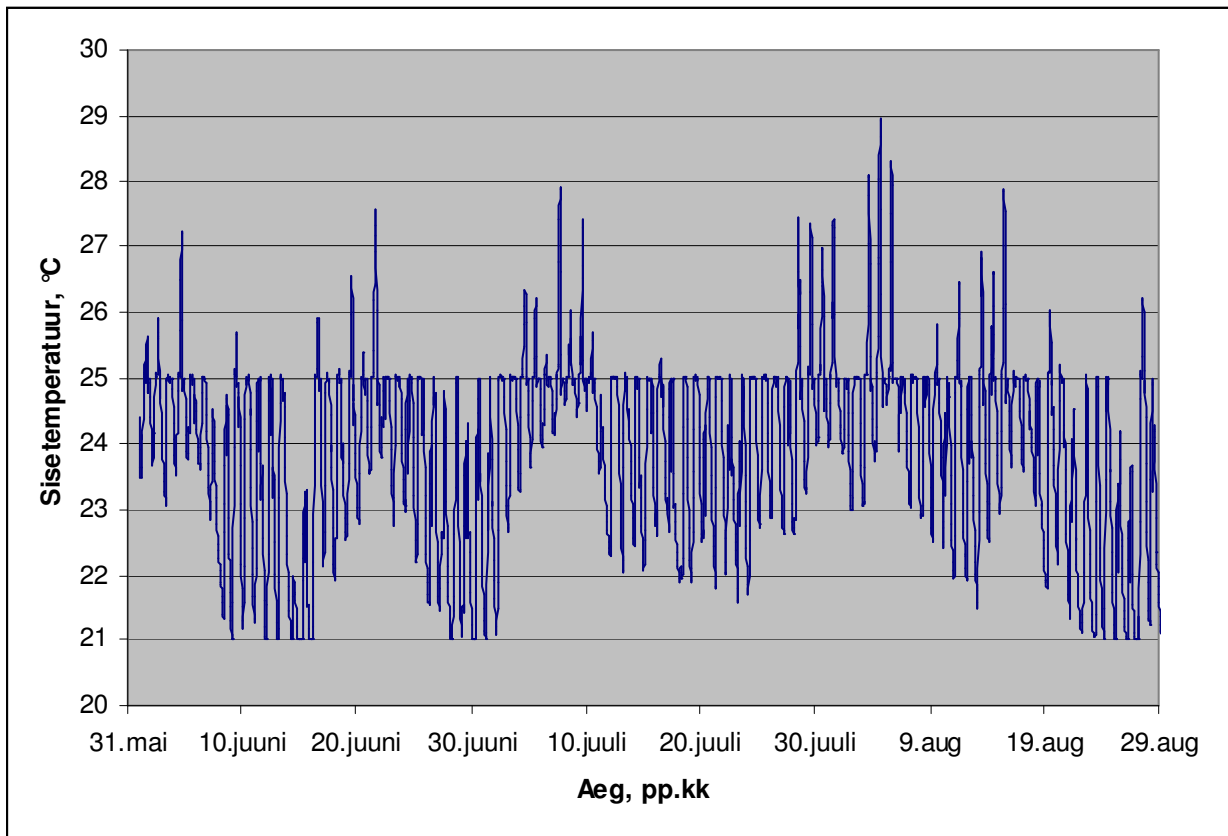
Erinevate variantide arvutustulemused ja kasutusprofiil vastavalt VVm 258 lisas 21 esitatud tabelile (vt tabel 4.6, tabel 4.7, joonised 4.11 – 4.14)

Tabel 4.6 Kontoriruumi variant A kasutusprofiil

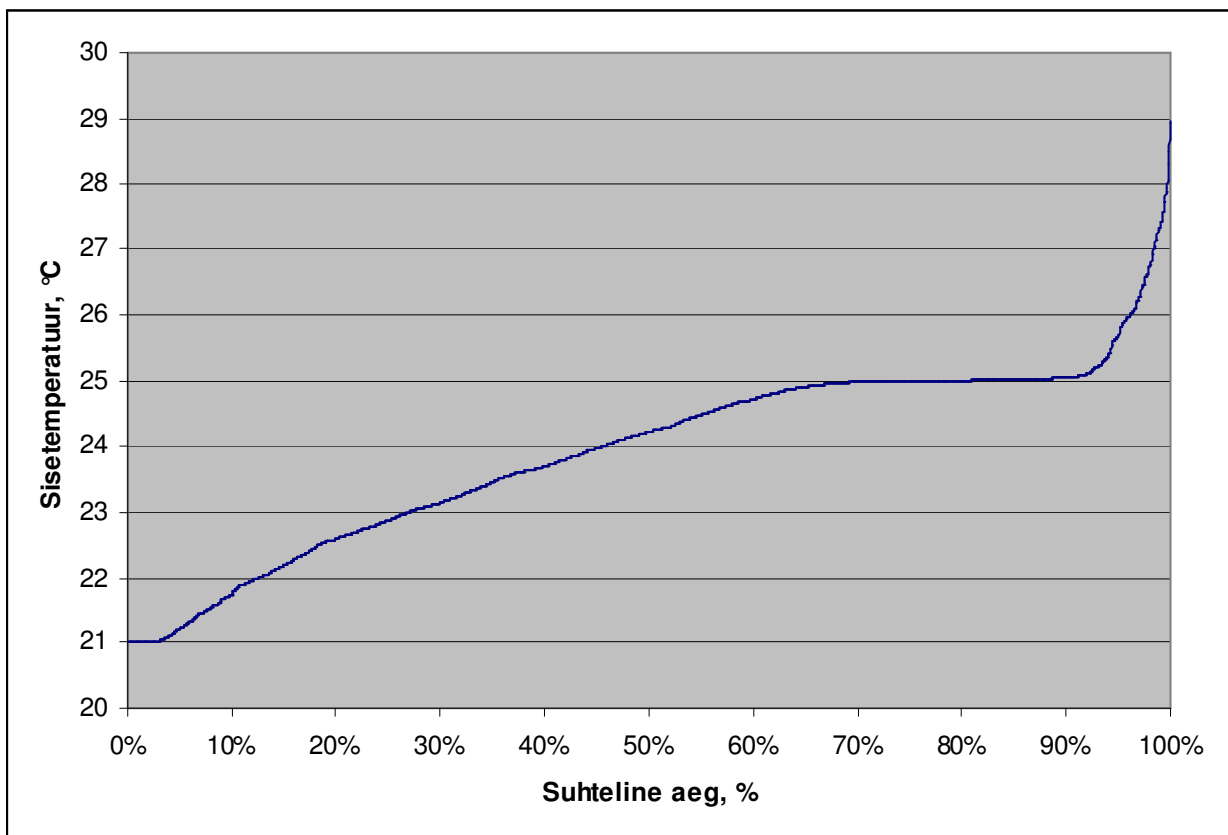
Ruum		Kontoriruum variant A	
Piirtemperatuur		25°C	
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		213 °C h	
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
08:00-12:00	6	18	15
12:00-13:00	-	-	-
13:00-17:00	6	18	15
17:00-8:00	-	-	-

Tabel 4.7 Kontoriruumi variant B kasutusprofiil

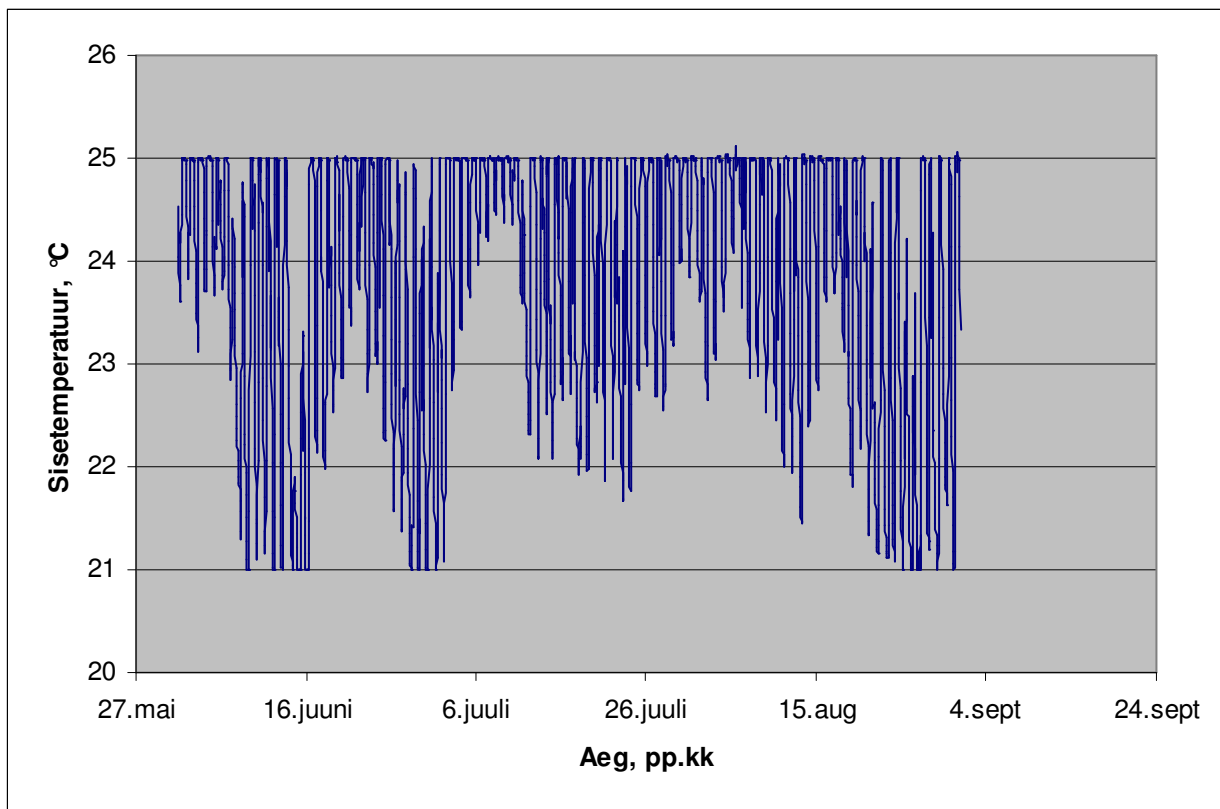
Ruum		Kontoriruum variant B	
Piirtemperatuur		25°C	
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		3 °C h	
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
08:00-12:00	6	18	15
12:00-13:00	-	-	-
13:00-17:00	6	18	15
17:00-8:00	-	-	-



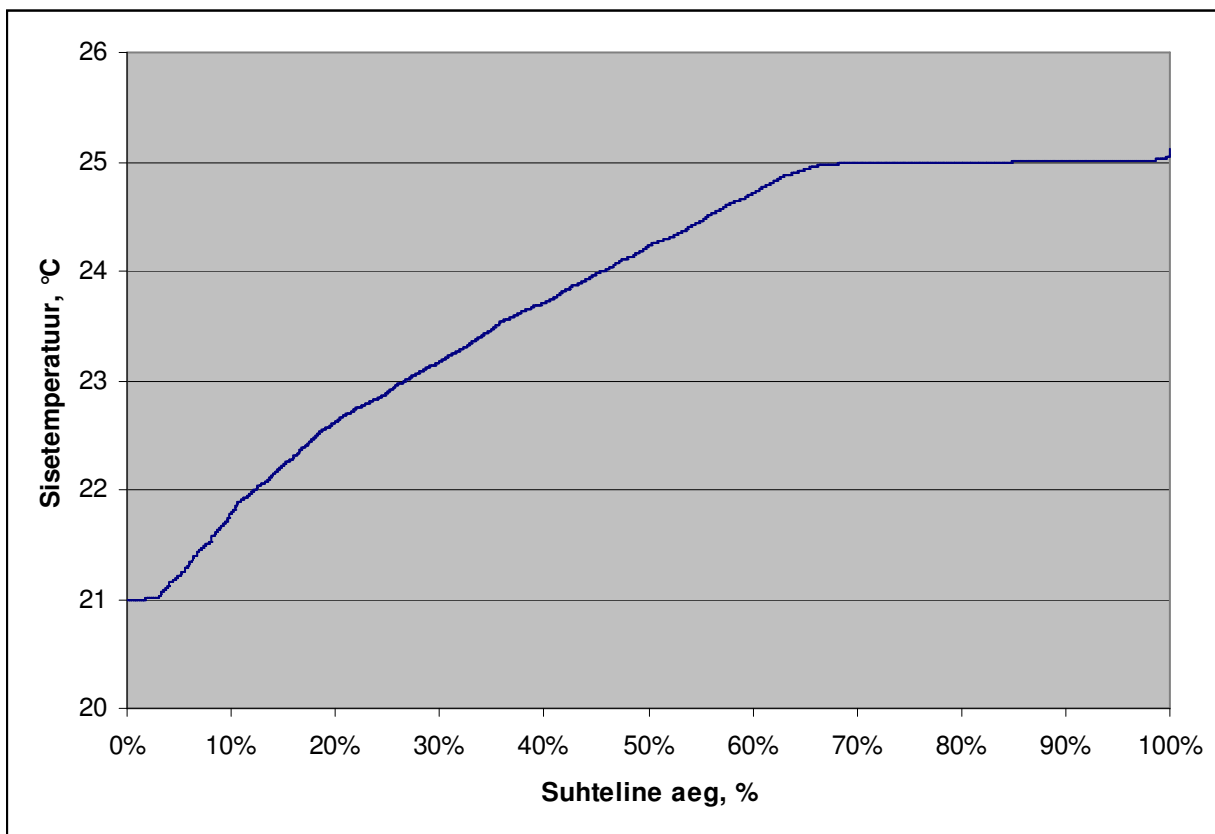
Joonis 4.11 Variant A ruumi sisetemperatuur



Joonis 4.12 Variandi A sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 1.06-31.08



Joonis 4.13 Variant B ruumi sisetemperatuur



Joonis 4.14 Variandi B sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 01.06 – 31.08

4.2 Büroohoone B

4.2.1 Valitud hoone kirjeldus

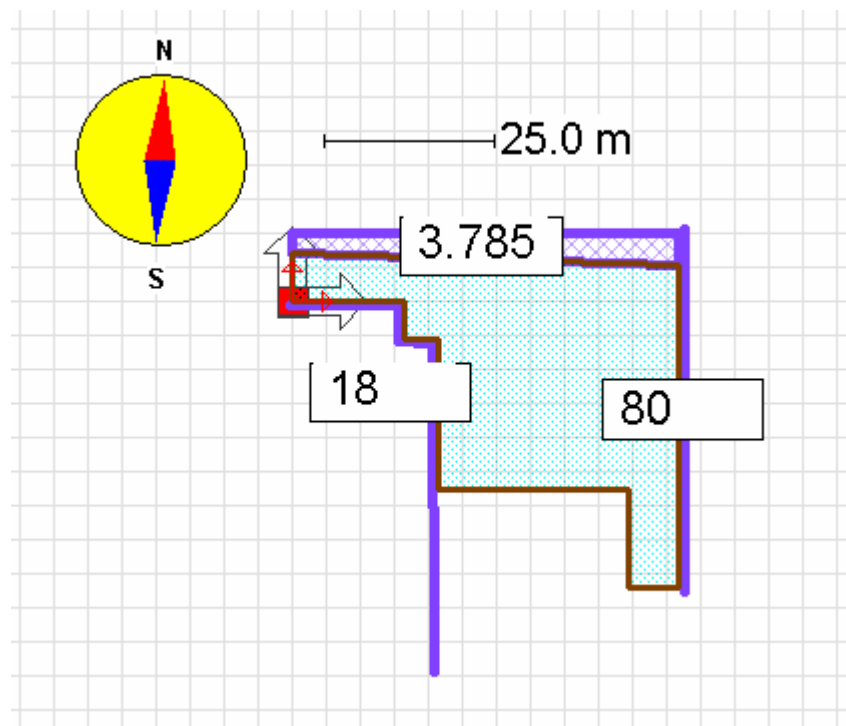
Büroohonete osas valiti arvutuseks panga- ja büroohoone. Tegemist on tänapäeva tüüpilise büroohonega, millel on koos keldrikorrusega 8 korrust, osa fassaadist klaasist ja panga teenindussaalil katuseaknaga aatrium. Keldrikorrusel asuvad parkla, kohvik, serveri- ning hoiuruumid ning mõned töökohad. Esimesed kaks maapealset korrust on peamiselt panga käsutuses ning ülejäänud hoones asuvad valdavalt erinevate asutuste kontorid. Hoone kütmine ning tarbevee soojendamine toimub gaasikatlaga ja jahutamiseks kasutakse külmakompressorit või vabajahutust. Hoones on ka kaugkütte kasutamise võimalus, aga viimastel aastatel ei ole seda kasutatud. Kontoripindasid teenindavad kaks rootorsoojustagastiga sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteemi; pangapindasid ja kohvikut teenindavad vahesoojuskandajaga soojustagastiga varustatud ventilatsioonisüsteemid; keldrikorrusel asuvat parklat ja muid ruume teenindavad soojustagastuseta ventilatsioonisüsteemid. Serveriruumide jahutamiseks kasutatakse split-jahuteid. Hoonele on tehtud energiaaudit. Hoone kõetav pind on 8105,7 m².

Info hoone arhitektuuri, konstruktsioonide ja tehnosüsteemide kohta on saadud valdavalt hoone haldaja arhiivis olevatest kaustadest ning hoonele energiaauditi koostajalt. Hoone sisekliima parameetrid on saadud energiaauditi poolt tehtud mõõtmiste tulemustest ning sisemised soojuskoormused on leitud kohapealsete mõõtmiste ja vaatluste abil.

4.2.2 Arvutusmodeli kirjeldus

Antud hoone kanti arvutusprogrammi sisse 7 erineva mudelina: keldrikorrus, 1. korrus, 2. korrus, 3. korrus, 4.-5. korrus ühe korrusena (energiatarbimise andmed võeti arvesse 2-kordselt), 6. korrus ja 7. korrus. Arvutusmudelisse on kantud ka kaks lähedalasuvat hoonet (vt Joonis 4.15 Ümbritsevate hoonete plaan). Hoone läänefassaad ja osa lõunafassaadist on ühendatud parkimismajaga ja hoone idaküljel asub kõrghoone, kusjuures hoonete kahe esimese maapealse korruse vahele välisõhk ei pääse.

Kõik gaasihulgad on antud energiahulkadena, mis saadakse antud gaasikoguse põletamisel alumisel kütteväärtusel 33.6 MJ/m³.



Joonis 4.15 Ümbritsevate hoonete plaan

Energiakuluarvutused on tehtud viie erineva lahenduse kohta (vt Tabel 4.8 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele).

Tabel 4.8 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	T	A	B	C	D
Soojajuhtivus, W/(m ² ·K)					
Välissein	0,28	0,28	0,35	0,24	0,17
Katuslagi	0,22	0,22	0,25	0,19	0,09
Põrand välisõhu kohal	0,22	0,22	0,25	0,19	0,09
Keldri sein	0,31	0,31	0,4	0,31	0,16
Välissein taustvärvitud klaasi taga	0,3	0,3	0,4	0,24	0,17
Aken: klaas / raam (raami osakaal 10%), SHGC/T	1,8 / 2,0 0,35/0,26	1,8 / 2,0 0,35/0,26	2,0 / 2,0 0,68/0,58	1,8 / 2,0 0,35/0,26	1,0 / 2,0 0,25/0,21
Külmamasina COP	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Vabajahutuse COP	5	5	-	-	5
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/s·m ²	2,4	2,0	2,0	2,0	2,0
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv (büroovent./panga vent.)	0,7/0,4	0,8/0,4	0,6/0,6	0,8/0,8	0,8/0,8
Ventilaatori poolt arendatav rõhk sissepuhe/väljatõmme, Pa	800 / 600	780 / 530	780 / 530	780 / 530	780 / 530

Variant T on tegelik hoone, kusjuures kõik sisemised soojuskoormused, tehnosüsteemid ja kasutusprofiilid on arvesse võetud vastavalt tegelikule olukorrale.

Variant A on tegelik hoone, mille külmasildade lisakonduktantsid; kütte-, ventilatsiooni- ja jahutussüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine; sisemised soojuskoormused ning kasutusprofiilid vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“.

Variant B on variandi A üldiselt kehvemate parameetritega variant, kus puudub vabajahutus ja jahutamiseks kasutatakse *fancoile*. Kehvemaks on muudetud akende ja piirdetarindite omadusi ning ventilatsiooni soojustagastuse temperatuuri suhtarv on viidud terves hoones ühele tasemele.

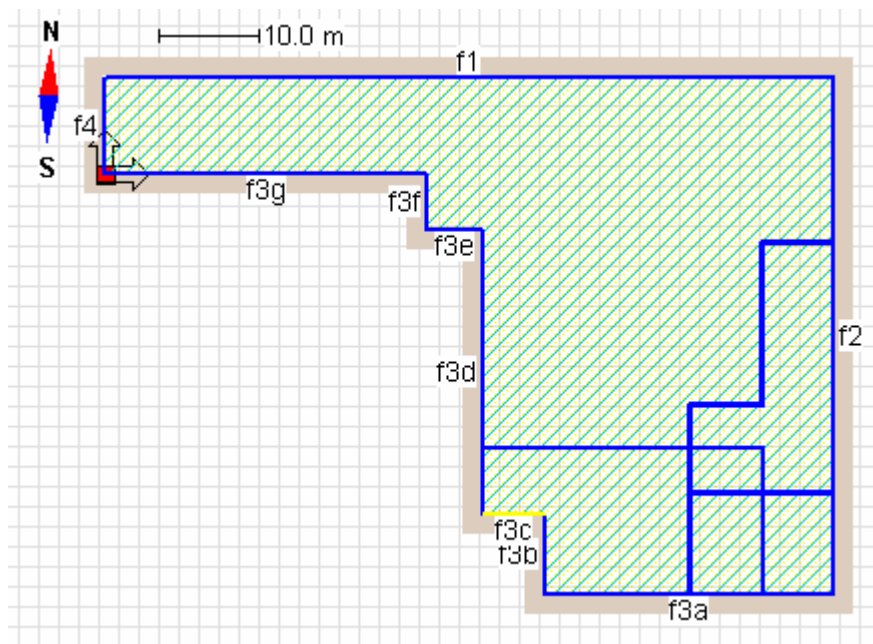
Variant C hoonepiirded vastavad Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18°C→21°C). Ruumide jahutamiseks kasutatakse *fancoile* ning puudub vabajahutus.

Variant D hoonepiirded vastavad Soome ehitusmääruse C3 (2010) nõudeid ja kasutatakse jahutuspalke ning vabajahutust.

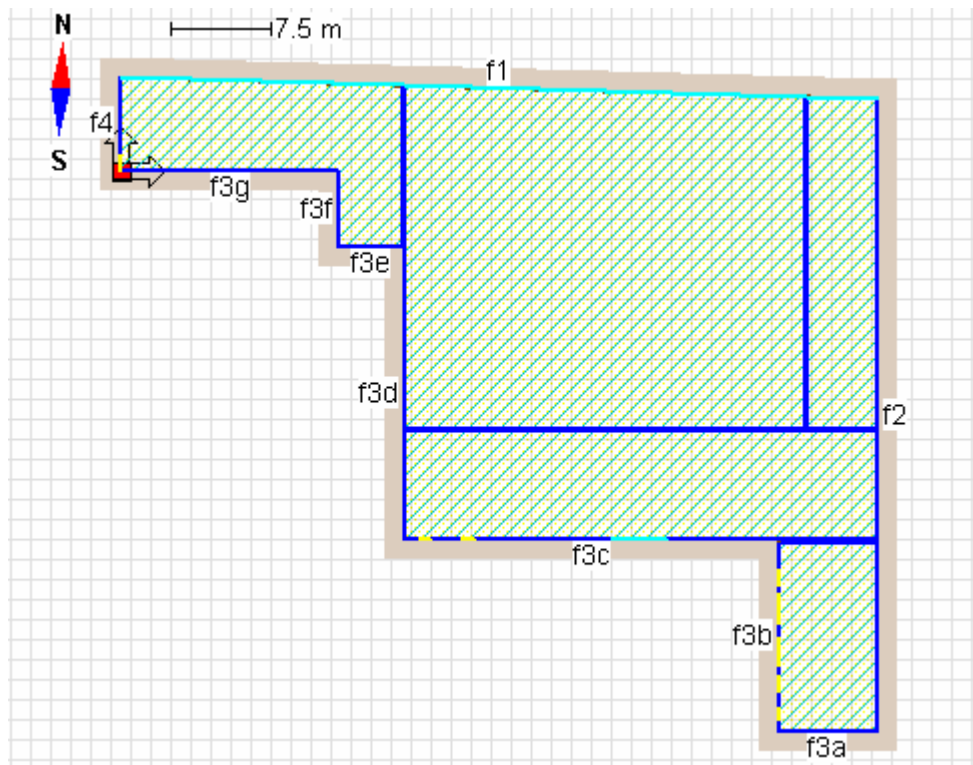
Sooja tarbevee kulu on 100 liitrit aastas m² köetava pinna kohta so. 810,6 m³/a. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 50°C.

Tsoonideks jaotus

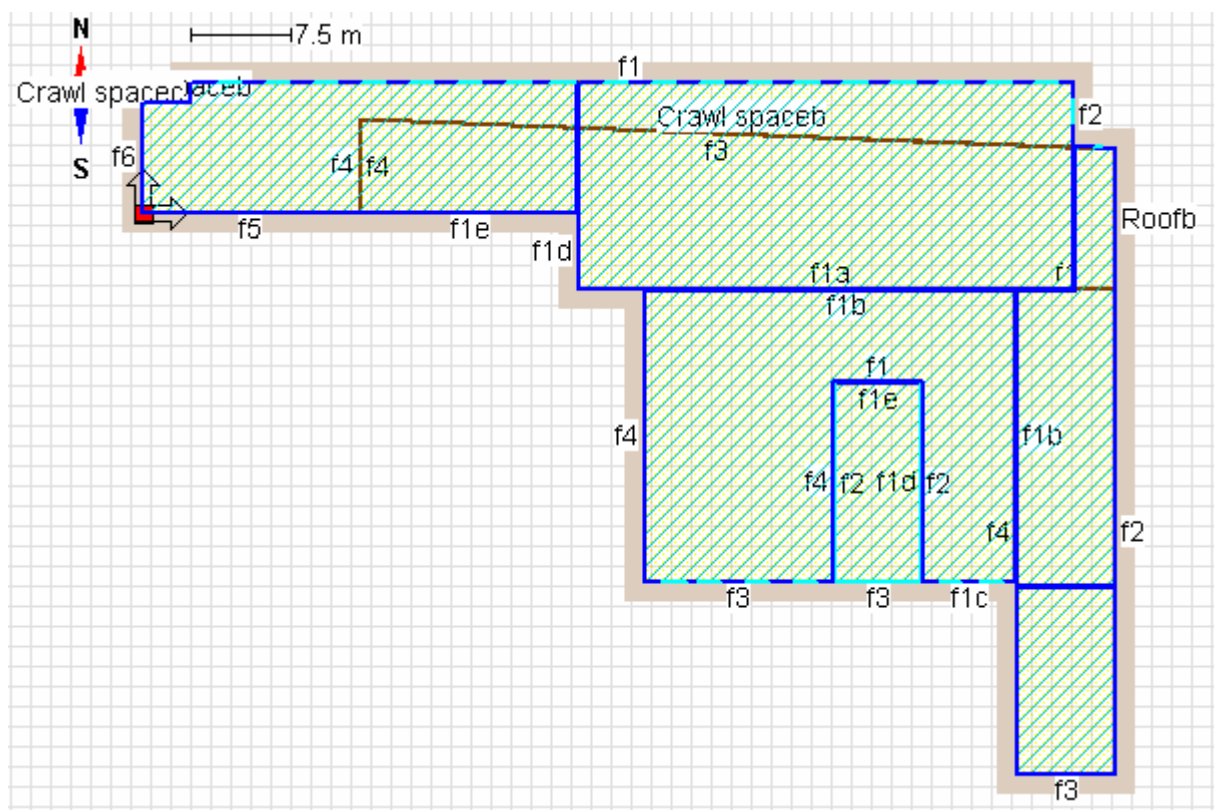
Keldrikorrus on jagatud kuueks tsooniks (vt Joonis 4.16 Keldrikorruse plaan), mis jagavad korruse kontoripinnaks, parklaks ja kohvikuks ning aladeks, mille kohal on 1. korrus ja välisõhk. 1. korrus on jaotatud viieks tsooniks (vt Joonis 4.17 1.korruse plaan) – pangasaal, kontoripinnad ja tehniline ruum. 2. korrus on jaotatud seitsmeks tsooniks (vt Joonis 4.18 2. korruse plaan ja Joonis 4.19 2. korruse mudel) – kontoripinnad, aatrium ja tehniline ruum. 3. korrus on jaotatud kuueks tsooniks (vt Joonis 4.20 3. korruse plaan) – kontoripinnad ja tehniline ruum. 4. kuni 6. korrusel asuvad ainult kontoripinnad ja nad on jaotatud neljaks tsooniks (vt Joonis 4.21 4. ja 5. korruse plaan ja Joonis 4.22 6. korruse plaan). 7. korrus on jaotatud kolmeks tsooniks (vt Joonis 4.23 7. korruse plaan) – kontoripinnad ja tehniline ruum.



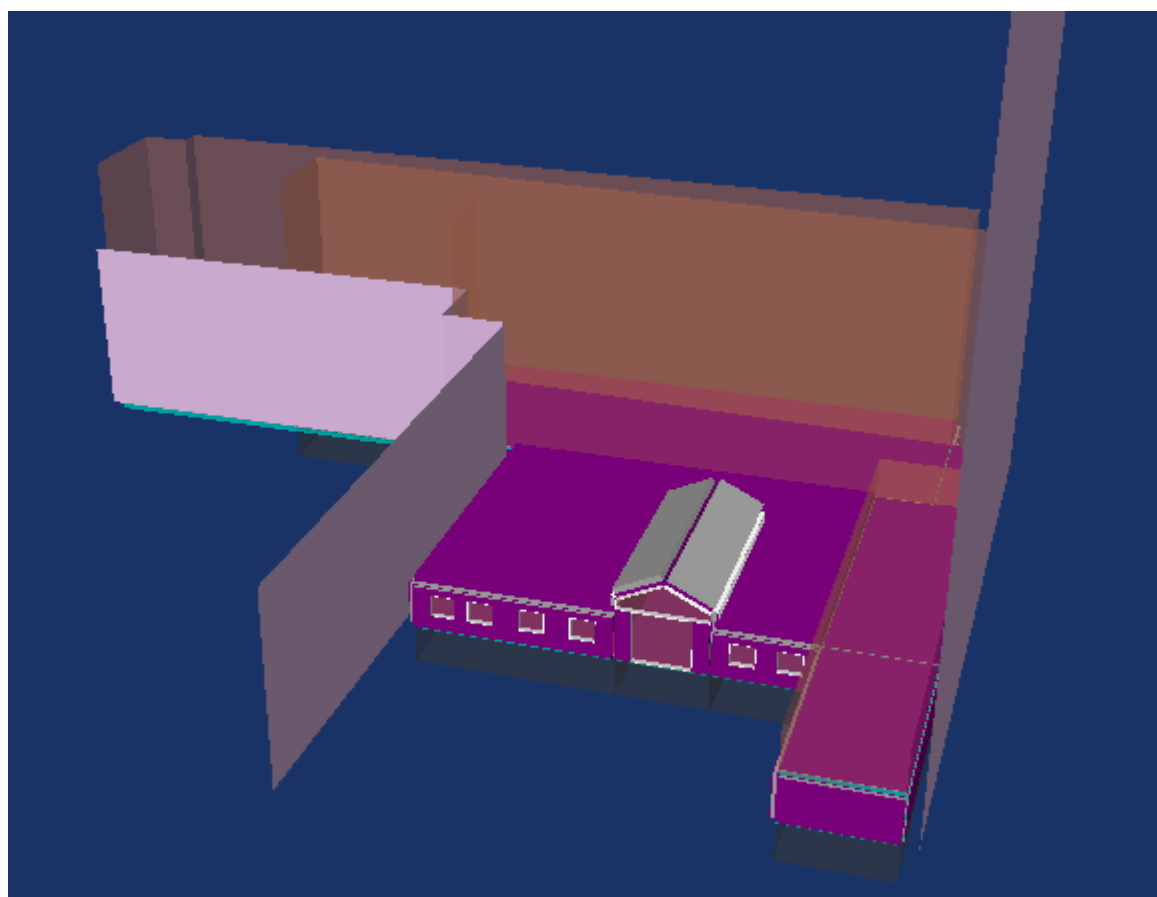
Joonis 4.16 Keldrikorruse plaan



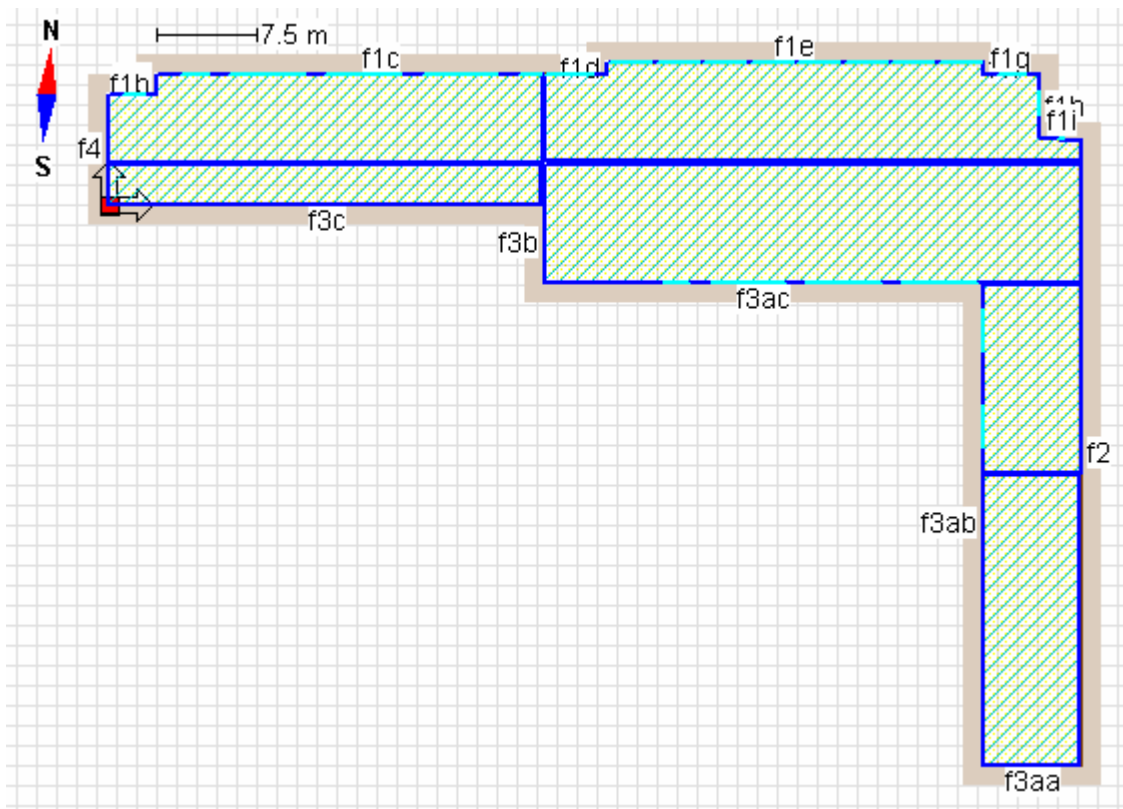
Joonis 4.17 1.korruse plaan



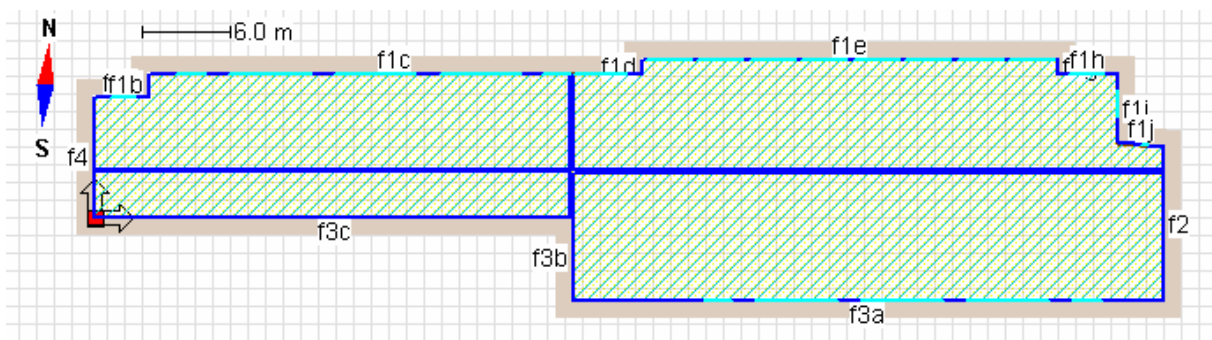
Joonis 4.18 2. korruse plaan



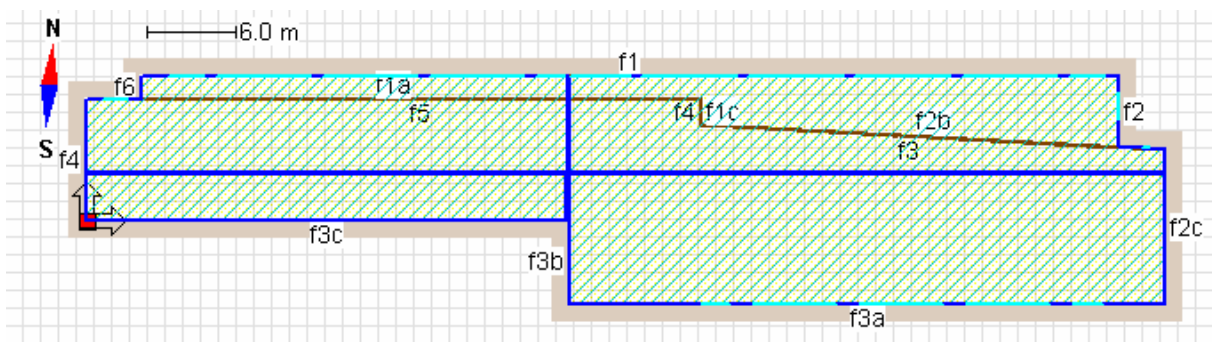
Joonis 4.19 2. korruse mudel



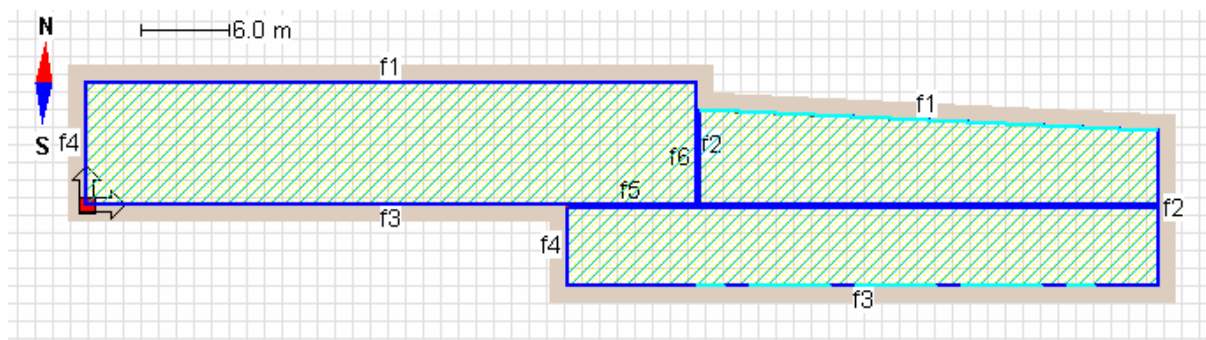
Joonis 4.20 3. korruse plaan



Joonis 4.21 4. ja 5. korruse plaan



Joonis 4.22 6. korruse plaan



Joonis 4.23 7. korruse plaan

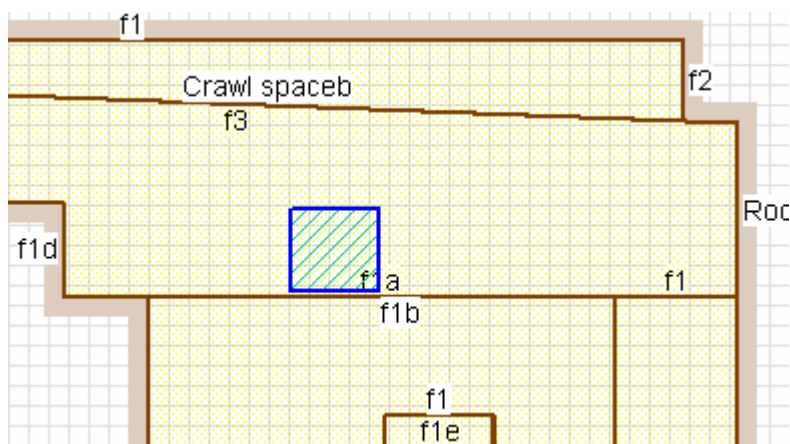
Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll

Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll on tehtud 2. korrusel hoone sisemuses asuva nõupidamisruumi kohta (vt Joonis 4.24 Temperatuurikontrolli arvutusmodeli plaan). Suvised ruumiõhutemperatuuri kontroll on tehtud standardkasutusel vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“. Suvised temperatuuriseadeks on valitud +25 °C

Ruumi temperatuuri kontroll on tehtud kahes variandis:

- A – ruumis puudub jahutus
- B – ruumis on piisava võimsusega jahutusseade

Ruumide kasutusprofiilid on antud tulemustes (vt Tabel 4.6 Kontoriruumi variant A kasutusprofiil ja Tabel 4.7 Kontoriruumi variant B kasutusprofiil)



Joonis 4.24 Temperatuurikontrolli arvutusmodeli plaan

4.2.3 Tulemused

Energiaarvutuse arvutusmudeli kalibreerimine

Simulatsiooni tulemusena ja käsitsi tehtud arvutuste tulemusena saadi aastasteks soojus- ja elektrienergia kuluks vastavalt 1483,8 MWh ja 1983,5 MWh. Baasaastale vastav tegelik soojusenergia kulu 2007. aastal oli 1474,6 MWh ja tegelik elektrienergia kulu oli 2780,9 MWh. Arvutatud soojusenergia kulu ja elektrienergia kulu moodustasid tegelikest vastavalt 100,6 % ja 71,3 %. Täpsem arvutatud energiakulude jaotus on antud tabelis Tabel 4.2 Tegeliku olukorra arvutatud brutoenergia kulud.

Tabel 4.9 Tegeliku olukorra arvutatud brutoenergia kulud

Korrus/süsteem	Kütte brutoenergia kulu, kWh/a	Elektri brutoenergia kulu, kWh/a
Kelder	348500	160100
1. korrus	204900	107400
2. korrus	279500	128400
3. korrus	136600	77700
4. korrus	113000	53900
5. korrus	113000	53900
6. korrus	97700	70500
7. korrus	127500	39300
Soe tarbevesi	63100	-
Serveriruumide kasutamine ja jahutus	-	1258200
Parkla kaldteede ja hooneesise soojenduskaablid	-	34100
Kokku	1483800	1983,5

Energiaarvutus

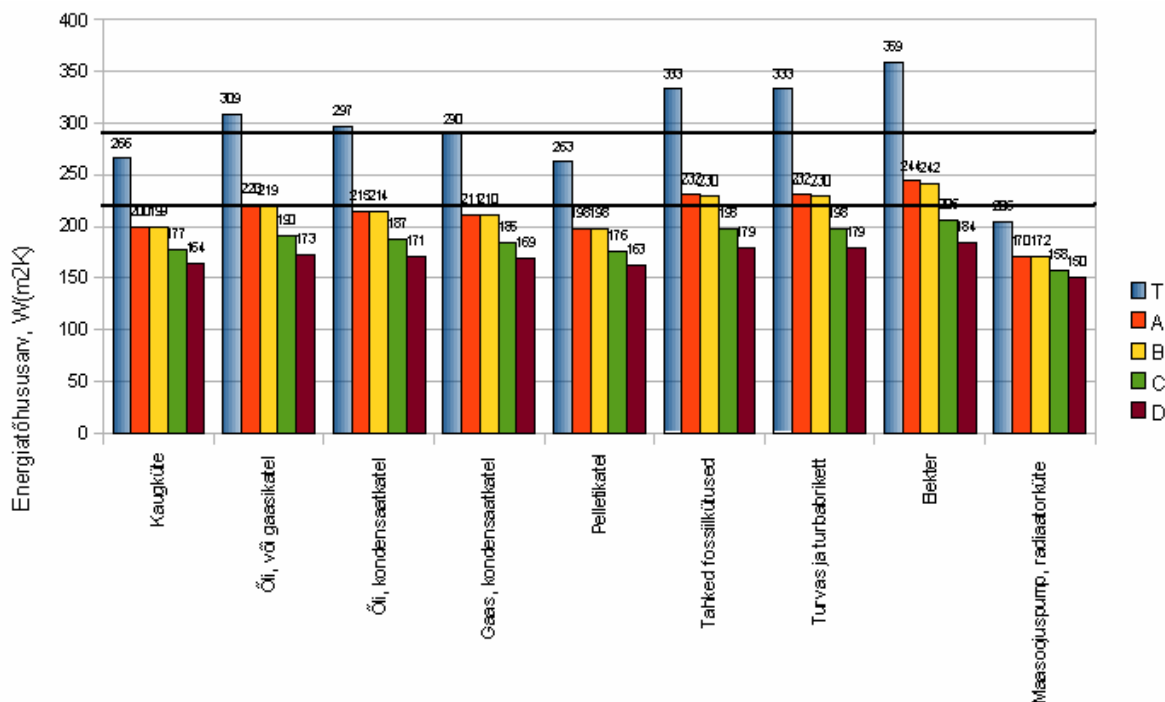
Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva brutoenergia kohta (vt Tabel 4.10 Energiakulu arvutustulemused).

Energiakulu on antud gaasikatla puhul kasuteguriga 0,85. Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 4.10 Energiakulu arvutustulemused

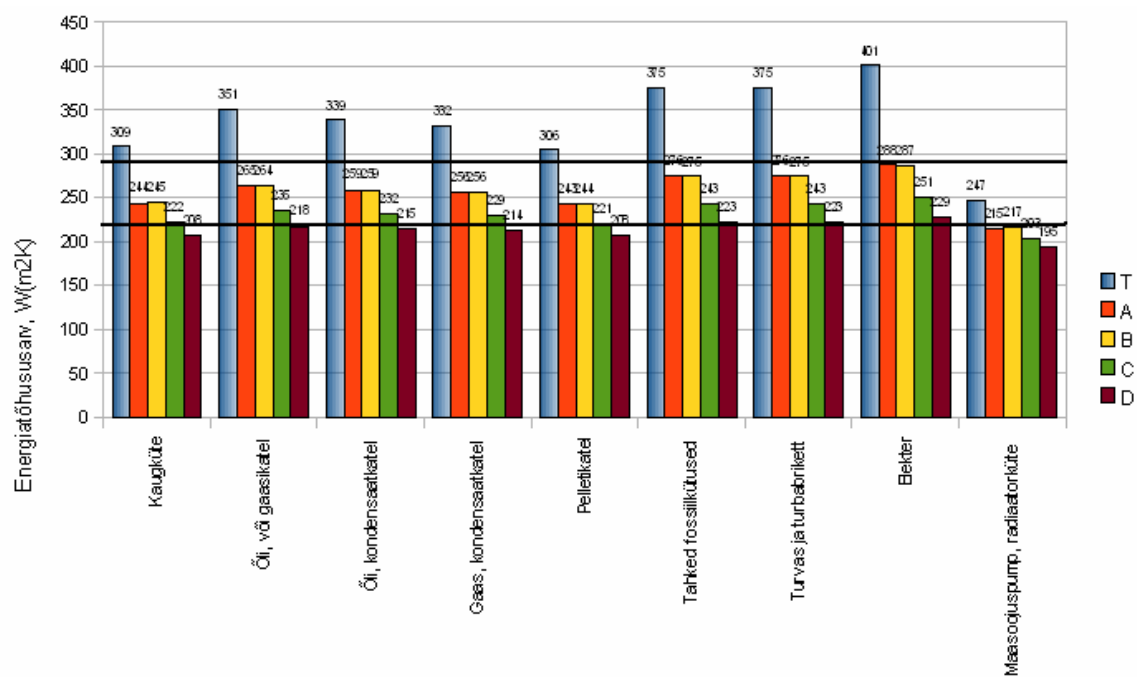
Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojagastus	Ventilaatorid, pumbad	Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi
T, kWh	2159062	892304	2546	516177	23665	813523	261615	218392	181289	63064
T, kWh/m ²	266	110	0,3	64	2,9	100	32	27	22	7,8
T, võimsus, W (-22°C)	380600			494200						
A, kWh	1424748	365644	3211	283994	16787	666945	212911	258839	227901	55460
A, kWh/m ²	176	45	0,4	35	2,1	82	27	32	28	6,8
A, võimsus, W (-22°C)	265200			405800						
B, kWh	1407414	388869	18910	227945	16775	714587	212715	258839	227901	55460
B, kWh/m ²	174	48	2,3	28	2,1	85	27	32	28	6,8
B, võimsus, W (-22°C)	283700			336300						
C, kWh	1182173	339798	4576	63697	19299	853536	212106	258839	227901	55460
C, kWh/m ²	146	42	0,6	7,9	2,4	105	26	32	28	6,8
C, võimsus, W (-22°C)	257000			336200						
D, kWh	1045691	210324	2337	61574	16655	853326	212105	258839	227901	55460
D, kWh/m ²	129	26	0,3	7,6	2,1	105	26	32	28	6,8

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud, vt Joonis 4.25 Hoone energiatõhususarv erineva kütte- ja tarindilahenduse ning elektrienergia kaalumisteguri 1,5 korral. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 4.25 Hoone energiatõhususarv erineva kütte- ja tarindilahenduse ning elektrienergia kaalumisteguri 1,5 korral

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul, kuid võttes elektrienergia kaalumisteguriks 2, ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvatud energiatõhususarvud. Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 4.26 Hoone energiatõhususarv erineva kütte- ja tarindilahenduse ning elektrienergia kaalumisteguri 2,0 korral

Tabel 4.11 Variant A energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Büroohoone		<input type="checkbox"/>	Uusehitus
Aadress	Anonüümne		<input type="checkbox"/>	Rekonstr.
Ehitusaasta	1997		×	Olemasolev hoone
Kõetav pind	8105,7	m ²		
Suletud netopind	8105,7	m ²		
Energiatõhususarv (ETA)	220	kWh/m² (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)		
	Ostetud kütused kogus/a	Tarnitud energia kWh/a	Kaalumis- tegur, -	Kaalutud energia- kasutus kWh/a
Energiakandja	massi või mahuühik			
Elekter		719649	1,5	1079475
*Gaas	kWh/a	705098	1	705098
Summa		1424748		1784573
	Hoone tehnosüsteemide energiakasutus			
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a	
Küttesüsteem			705098	
Ventilatsioonisüsteem	212568			
Jahutussüsteem	19998			
Elektrisüsteem	487083			
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	719649		705098	
	Netoenergiavajadus, kWh/a			
Ruumide küte		304582		
Ventilatsiooniõhu soojendamine		241395		
Tarbevee soojendamine		47141		
Kütteenergia kokku		593118		
Utiliseeritavad vabasoojused		279412		
Jahutus		68199		
	Tehnosüsteemide võimsused			
	Elekter, kW		Soojus, kW	
Küttesüsteem			671	
Jahutussüsteem			856	
Elektrisüsteem	XXX			

Tabel 4.12 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutustsoonide arv	39					
Küttesüsteemi tüüp						
-soojusallikas ja kütus	Gaasikatlamaja					
-soojuse jaotamine	Veeradiaator					
Vent.süsteemi tüüp	Rootorsoojustagastiga, vahesoojuskanajaga soojustagastiga ja ilma soojustagastuseta ventiltasioonisüsteemid					
Jahutussüsteem	On					
Infiltratsiooni õhuvahetus	0.0415 l/(s välispinna m ²)					
Soojaerikadu	XXX W/(K·m ²)					
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)	U×A, W/K			
Välissein	3288	0,28	419,5			
Klaasfassaadi taga olev sein	279	0,3	492,7			
Keldri sein	708	0,31	121,1			
Katuslagi	2135	0,22	220,1			
Põrand välisõhu kohal	154	0,22	199,8			
Aknad	950	1,82	1909,8			
Uksed	36	1,9	15,2			
Summa/kaalutud keskmine	7550	0,47	3524			
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K			
Välissein/vahelagi	0,05					
Välissein/vahesein	0,03					
Välissein/välissein	0,07					
Akna ümbrus	0,03					
Ukse ümbrus	0,03					
Katus/välissein	0,08					
Põrand/välissein	0,11					
Rõdu/välissein	0,2					
Välisseinad	0,03					
Summa, W/K	-					
Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikesefaktor g, -
Lõunasse	230	1,8	2	1,82	419	0,35
Põhja	677	1,8	2	1,82	1232	0,35
Läände	20	1,8	2	1,82	36	0,35
Itta	28	1,8	2	1,82	51	0,35
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	955	1,8	2	1,82	1738	0,35
Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sissepuhke temp., °C	Soojustagastus temperatuuri-suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilatsioonimasin 1	780/530	45/45	XXX	+16	40/80	+0
Küttesüsteem						
Süsteemi kasutegur,	Soojustegur (soojuspumpsüsteemi kütteperioodi		Abiseadmete elekter (puudub, kui esitatakse soojusteguri			

	%		keskmise soojustegur), -		koosseisus), kWh/a
Ruumide kütte	XXX (100)				343
Ventilatsiooniseade	XXX (100)				212568
Soe tarbevesi	XXX (100)				
Jahutussüsteem					
	Külma tootmise jahutustegur,		Süsteemikaotegur,		Abiseadmete elektritarbimisetegur,
	3,5		0,4		0,02
Sooja vee tarbimine					
	l/(m ² a)	Pindala, m ²	l/(d·m ²)	m ²	kokku, m ³ /a
	100	8105,7			810,6
Ahjud, kaminad ja elektrikerised					
	Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a	
	Ahjud, W puudub	Kaminad, W puudub		puudub	
Vabasoojused					
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h	
Inimesed	6	55	5	9	
Seadmed	18	55	5	9	
Valgustus	15	55	5	9	

Suvine ruumiõhutemperatuuri kontroll

Suvise ruumiõhutemperatuuri kontroll tehti hoone sees asuva välispiiretega mittepiirneva nõupidamisruumi kohta. Suvise ruumitemperatuuri nõue variant A puhul ei ole täidetud, sest kontoriruumis ruumitemperatuur ületab jahutuse temperatuuriseade piirtemperatuuri 25 °C rohkem kui 100 kraadtunni võrra ajavahemikul 01.juuni – 31.august. Variant B puhul on suvise temperatuurinõue täidetud.

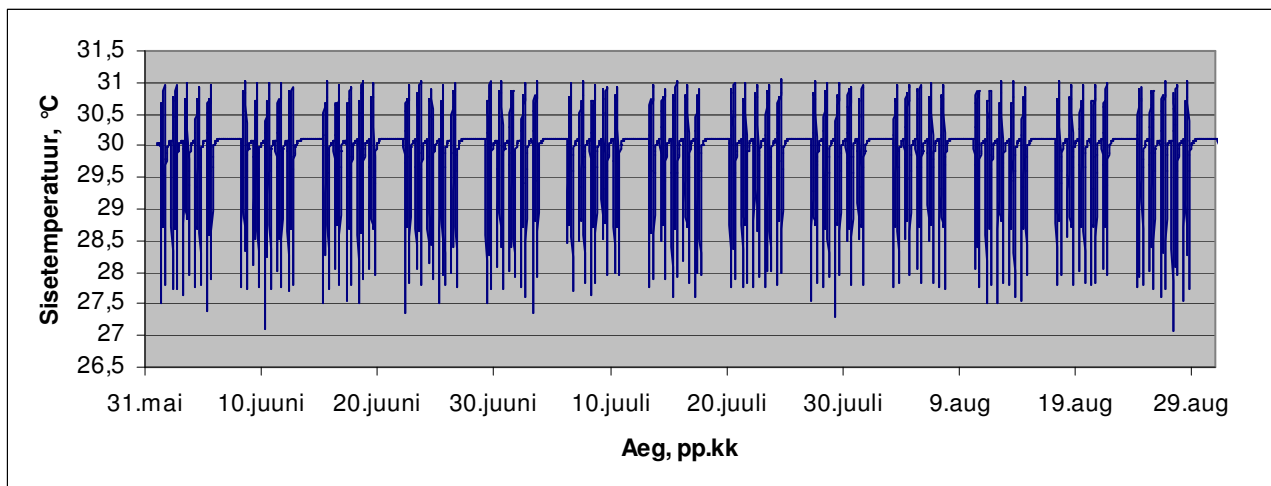
Erinevate variantide arvutustulemused ja kasutusprofiil vastavalt VVm 258 lisas 21 esitatud tabelile (vt Tabel 4.6 Kontoriruumi variant A kasutusprofiil, Tabel 4.7 Kontoriruumi variant B kasutusprofiil, Joonis 4.27 Variandi A sisetemperatuur, Joonis 4.28 Variandi A sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 01.06 – 31.08, Joonis 4.29 Variandi B ruumi sisetemperatuur ja Joonis 4.30 Variandi B sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 01.06 – 31.08).

Tabel 4.13 Nõupidamisruumi variant A kasutusprofiil

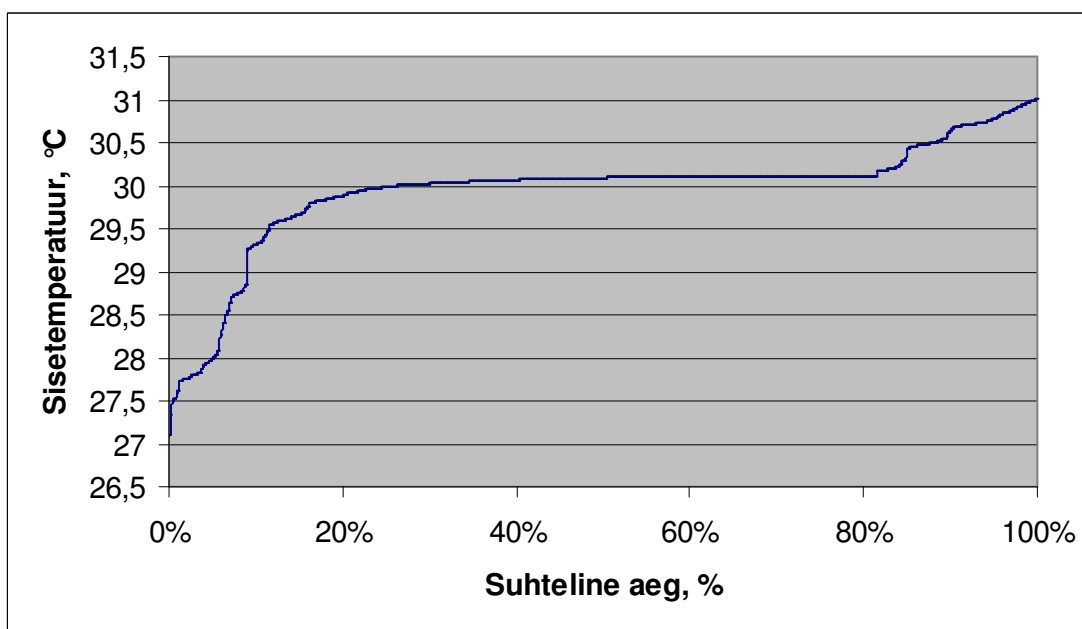
Ruum		Kontoriruum variant A	
Piirtemperatuur		25 °C	
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		10927 °C h	
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
8:00-12:00	25	60	18
12:00-13:00	-	-	-
13:00-17:00	25	60	18
17:00-8:00	-	-	-

Tabel 4.14 Nõupidamisruumi variant B kasutusprofiil

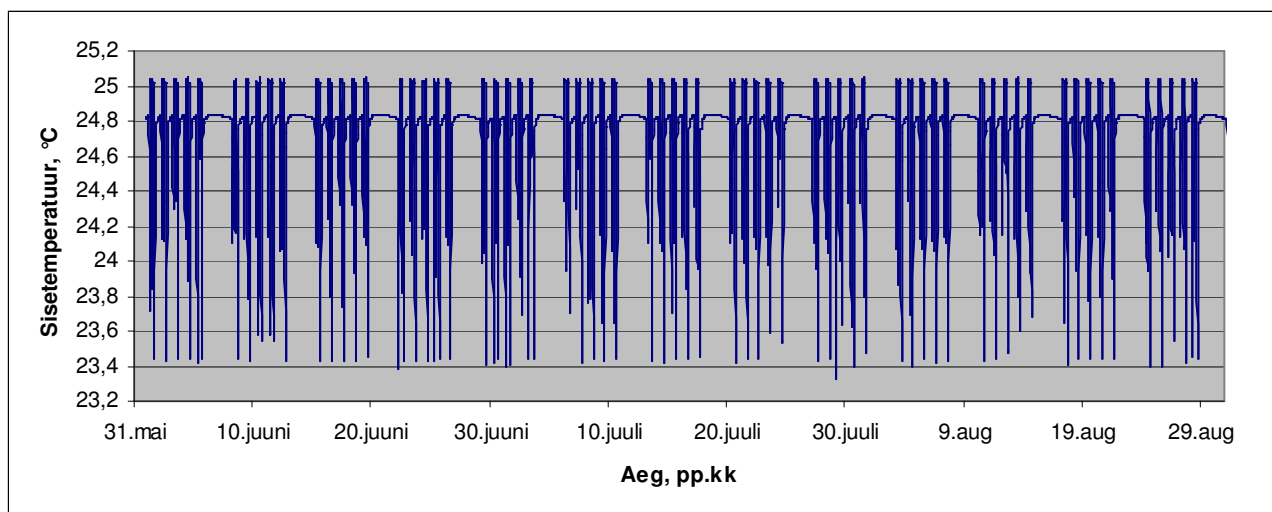
Ruum		Kontoriruum variant B	
Piirtemperatuur		25 °C	
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		10 °C h	
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²
08:00-9:00	12,5	30	9
9:00-12:00	17,5	42	12,6
12:00-13:00	-	-	-
13:00-17:00	17,5	42	12,6
17:00-8:00	-	-	-



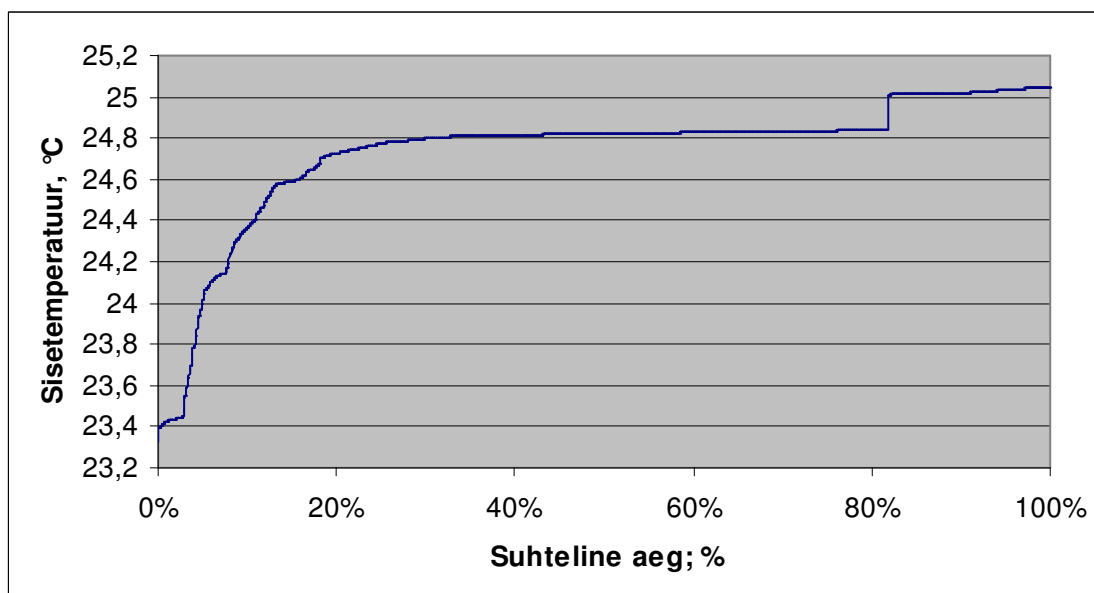
Joonis 4.27 Variandi A sisetemperatuur



Joonis 4.28 Variandi A sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 01.06 – 31.08



Joonis 4.29 Variandi B ruumi sisetemperatuur



Joonis 4.30 Variandi B sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikus 01.06 – 31.08

4.3 Kokkuvõte büroohonete analüüsi kohta

Kokkuvõte büroohoone B analüüsi kohta

Määruses esitatud nõuded büroohonetele on suhteliselt lihtsalt täidetavad. Energiatõhususe miinimumnõuete täitmisel oli probleeme ainult arvutusvariandil B ning turba- turbabriketi- ja elektrikütte korral. Sealjuures suhteliselt suurte sisemiste soojuskoormuste tõttu mõjutab sellise suurusega hoone piirdetarindite omaduste ja tehnosüsteemide muutmine energiatarvitusarvu suhteliselt vähe. Väiksema büroohoone puhul hakkavad välispiirete ja tehnosüsteemide omadused suuremat rolli mängima.

Erinevused tegelike erinevat liiki sisemiste soojuskoormuste ja nende ajagraafikute ning määruses kasutatavate vahel on märgatavad, aga summaarsete sisemiste soojuskoormuste vahe oli väiksem. Ühe hoone puhul on raske öelda, milline olukord tegelikult valitseb.

Arvutusvariantide T ja A küttekulude vahe tuli suhteliselt suur ja see on tingitud põhiliselt sellest, et tegelikus olukorras antud hoones on inimesed tööl ka nädalavahetuseti ning selle tõttu töötab

ka ventilatsioon ja siseõhutemperatuur tunduvalt määrukses antust, mis tingib märgatava küttekulude suurenemise.

Määrukses kasutatav sooja vee tarve $100 \text{ m}^3/\text{m}^2$ aastas on üle 2 korra suurem antud hoones olevast.

Kokkuvõte büroohoone B analüüsi kohta

Määrukses esitatud nõuded büroohonetele on suhteliselt lihtsalt täidetavad. Energiatõhususe miinimumnõuete täitmisel praeguste kaalumistegurite puhul oli probleeme ainult arvutusvariantidel A ja B ning , tahkekütuste, turba- turbabriketi- ja elektrikütte korral. Võiks märkida, et variantide A ja B puhul ei ole tegemist soojustagastuse seisukohast energiasäästlike ventilatsioonilahendustega. Elektri kaalumisteguri suurendamisel 2'ni suutis energiatõhususe miinimumnõudeid täita valdavalt ainult variant D. Samas variant C puhul, kui hoone on ehitatud kasutades 5 aastat vanas Eesti normis antud välispiirete U-arvused, ei jäänud uue hoone miinimumnõuete täitmisest palju puudu (nt kaugkütte puhul tuli energiatõhususarvuks (ETA) $222 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$. Sealjuures suhteliselt suurte sisemiste soojuskoormuste tõttu mõjutab sellise suurusega hoone piirdetarindite omaduste ja tehnosüsteemide muutmine energiatõhususarvu suhteliselt vähe. Väiksema büroohoone puhul hakkavad välispiirete ja tehnosüsteemide omadused suuremat rolli mängima.

Sisemistest soojuskoormustest oli uuritud hoonetes sarnased inimeste hulk, mis oli umbes $0,1 \text{ in}/\text{m}^2$. Nii valgustus kui tehnika hulk erines hoonetes märgatavalt ja keskmist on raske välja tuua. Võib ära märkida, et tehnika hulk oli pigem väiksem kui määrukses antud $18 \text{ W}/\text{m}^2$. Sisemisi soojus koormusi kontoriruumide puhul tasuks muuta ainult siis, kui on vaja suurendada hoonevälispiirete omaduste osakaalu energiatõhususarvu moodustumisel.

Temperatuurikontrolli tehes tuli välja, et ainult sisemiste soojuskoormuste mõjul ja ilma jahutuseta ületatakse nõupidamisteruumis temperatuurikontrolli nõudeid üle 100-kordselt. Selle tõttu tunduvad nõupidamisruumi sisemised soojuskoormused olevat üle hinnatud. Kui võrrelda inimeste ja seadmete soojuseraldusi, siis sealt võib järeldada, et iga inimese kohta on üks 300 W seade, mis on liiga palju. Lisaks on määrukses toodud, et nõupidamisteruum on kasutuses iga päev 8 tundi. Üldjuhul seisavad nõupidamisruumid tühjana ja, kui toimub koosolek, siis vähenevad soojuskoormused kontoripindadel. Selle tõttu soovitaks liita nõupidamisruumid vähemalt soojuskoormuste seisukohast kontoripindadega, mis lihtsustaks ka büroohoone sissekandmist arvutusprogrammi.

Arvutusvariantide T ja A küttekulude vahe tuli suhteliselt suur ja see on tingitud põhiliselt sellest, et ventilatsioon töötab inimeste kauem töölolemise võimaluse tõttu kauem ja ka nädalavahetuseti ja tegelik siseõhutemperatuur (tegelikkuses ca $23 \text{ }^\circ\text{C}$) on tunduvalt suurem määrukses antust, mis tingib märgatava küttekulude suurenemise.

5 Koolimaja

Koolimaja analüüs on tehtud ühe hoone näitel, mida on kirjeldatud allpool. Antud hoonele on tehtud energiakuluarvutused viie erineva hoonepiirde ja tehnosüsteemi lahenduse kohta (Tabel 5.1)

Tabel 5.1 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevate arvutusvariantidele

	Variant				
	T	A	B	C	D
Soojajuhtivus, W/(m ² ·K)					
Välissein	0,28	0,28	0,72	0,24	0,28
Katuslagi	0,27	0,27	0,27	0,19	0,27
Põrand	1,73	1,73	1,73	0,31	1,73
Aken	2,0	2,0	3,0	1,4	2,0
SHGC/T	0,76/0,68	0,76/0,68	0,76/0,68	0,64/0,54	0,76/0,68
Välisuks	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Õhulekkearv q ₅₀ , m ³ /(h·m ²) / l/(s·m ²)	1,08 / 0,30	1,08 / 0,30	1,08 / 0,30	0,15 / 0,042	1,08 / 0,30
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, l/(s·m ²)	2 / 6 (köök)	2 / 6 (köök)	2 / 6 (köök)	2 / 6 (köök)	3 / 10 (köök)
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0,5 / 0,2	0,5 / 0,2	0,5 / 0,2	0,5 / 0,2	0,5 / 0
Ventilaatori summaarne kasutegur	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Rõhutõus sissepuhe/väljatõmme, Pa	600/400	600/400	600/400	600/400	600/400

Variant T on valitud vastama olemasolevale olukorrale. Hoone on ehitatud 1970.a. RPI "Eesti Projekt" poolt 1966.a. koostatud tüüpprojekti järgi. Hoone on renoveeritud. Renoveeritud koolimaja võeti kasutusse 2007 aastal. Sisemised soojuskoormused ja ajagraafikud vastavad olemasolevale olukorrale.

Variant A on tegelik hoone standardkasutus vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiatõhususe miinimumnõuded“ lisa 5.

Variant B vastab soojustamata ja vahetamata akendega hoonele. Sisemised soojuskoormused ja ajagraafikud vastavad olemasolevale olukorrale.

Variant C on valitud hoonepiirded vastama Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18°C→21°C). Sisemised soojuskoormused ja ajagraafikud vastavad olemasolevale olukorrale.

Variant D on valitud vastama olemasolevale hoonele, ventilatsiooni õhuvooluhulgad ja soojavee tarbimine vastavalt määruses toodud normarvudele.

Hoonel on radiaatorküte. Hoonel puudub jahutussüsteemi. Juhul kui sisetemperatuur tõuseb liiga kõrgeks, avatakse aknad. Ventilatsiooniõhu sissepuhketemperatuur on +21 °C. Õhu temperatuuri tõus ventilaatoris ja torustikus on arvestatud 0,5°C. Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Olemasolevale olukorrale vastavas mudelis on VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi muudetud vastavalt tegelikule olukorrale.

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn. Temperatuur 1.1m sügavusel pinnases on arvestatud +8°C.

Soojatarbevee tarbimisandmed on arvatud vastavalt sooja ja külma veega tarbimise suhtarvule (vastavalt mõõtmistulemustele). Tegelikule olukorrale vastav soojavee ja külma veega suhtarv on 0,35. Sooja ja külma veega temperatuuride vahe on 60°C (Tervisekaitse nõuded). Hoone standardkasutusel oleval variandil on arvestatud vastavalt määruses toodud suurustega.

Hoone on varustatud mehaanilise sissepuhke-väljatõmbe ventilatsiooni süsteemiga. Variandis C on infiltratsioon leitud vastavalt määruses toodud valemile.

Meetodid

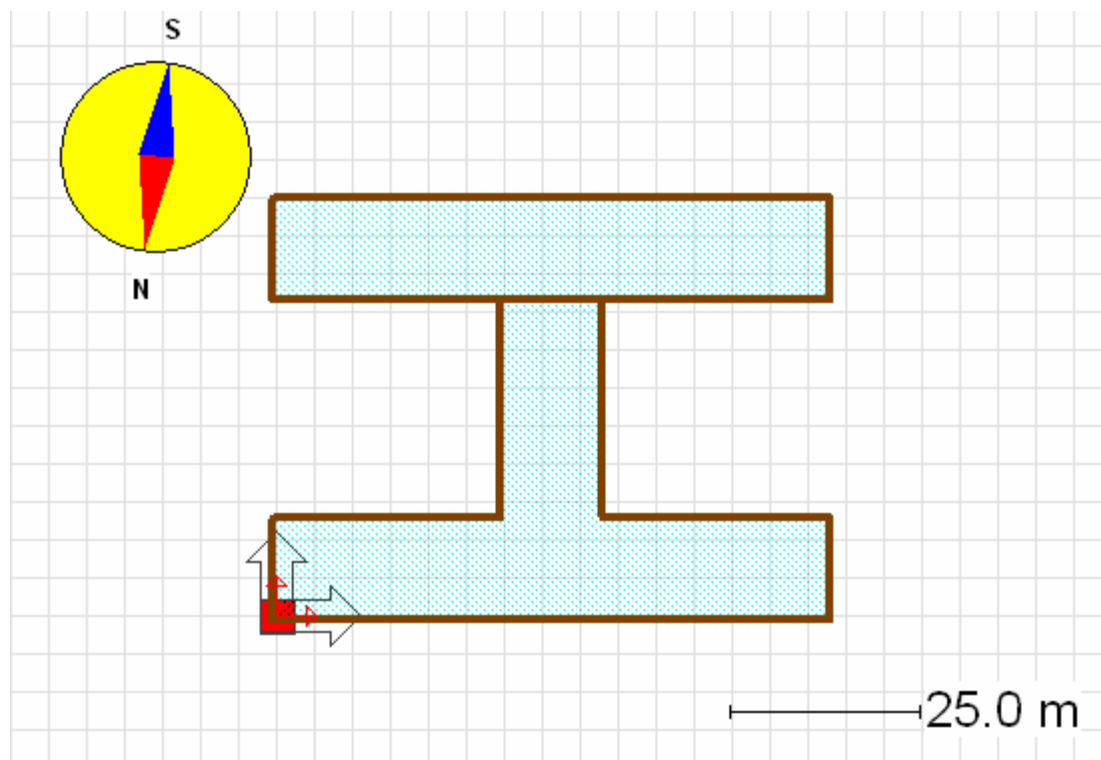
5.1.1 Valitud hoone kirjeldus

Koolimaja osas valiti arvutuseks Tallinnas Mustamäe linnaosas paiknev „Mustamäe Humanitaargümnaasiumi” koolimaja. Antud koolimaja on ehitatud 1970ndal aastal, Hoone on ehitatud 1970.a. RPI „Eesti Projekt” poolt 1966.a. koostatud tüüpprojekti järgi. Hoone on renoveeritud 2007 aastal. Renoveeritud on välisfassaad ning vahetatud on kõik aknad uute klaaspakettakende vastu. Hoonest loodi 2008 aasta tarbimisandmete põhjal tegelikule olukorrale vastav arvutussimulatsioonimudel. Valitud koolimajal on 4 korrust ning osaline kelder, kus asuvad tehnilised ruumid, garderoob ja klassivälise töö ruumid ning panipaigad. Korrustel paiknevad 45 õppeklassi, kabinetid, aula, spordisaal, söögisaal, köök ja abiruumid.

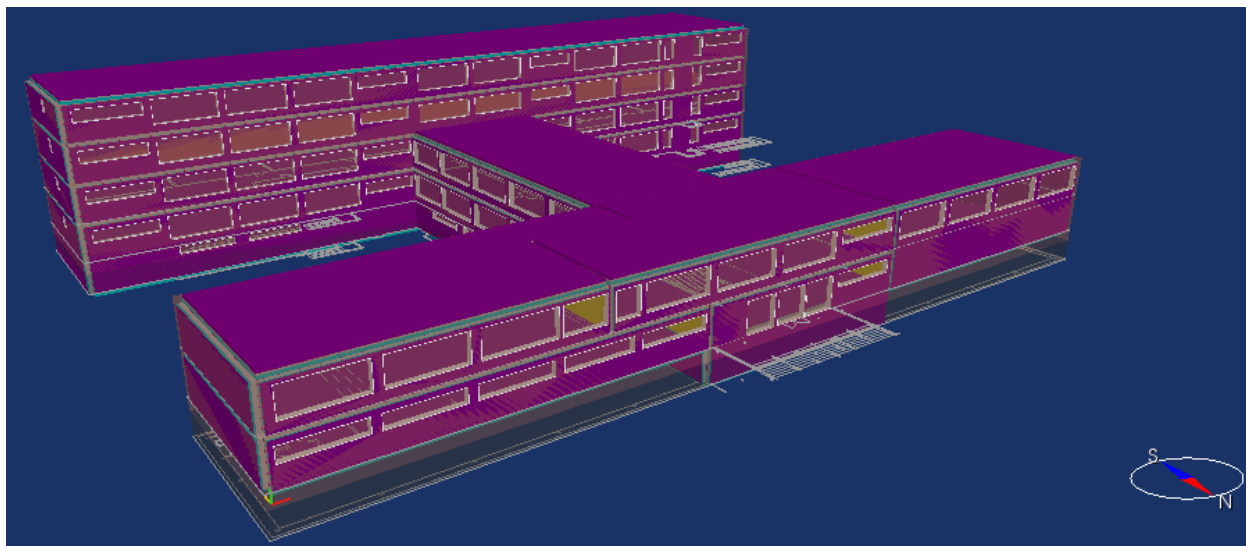
Kogu hoonet puudutav info koolimaja kohta on saadud 2006.a. koostatud AS Kommunaalprojekt töö nr. 35-06 „Tallinna Mustamäegümnaasiumi rekonstrueerimise põhiprojekti” juurde kuuluvatest erinevate osade köidetest. Projekt on saadud Riigi Kinnisvara AS’st. Kasutamisprofiilid on saadud hoone rentnikult.

Lasteaia peamised tehnilised näitajad:

- Suletud netopind: 6709,3m²
- Kõetav pind: 6260,0 m²;
- Laius × pikkus: 73,5x55,4 m;
- Siseruumide kõrgus: 3 m;
- Klasside arv: 39 klassi, sellest 9 algklassi, 15 põhikooliklassi, 15 keskkooliklassi;
- Laste arv: 700 õpilast, õpetajaid 65
- Kütte temperatuuriseade: 21°C



Joonis 5.1 Hoone paiknemine ilmakaarte suhtes

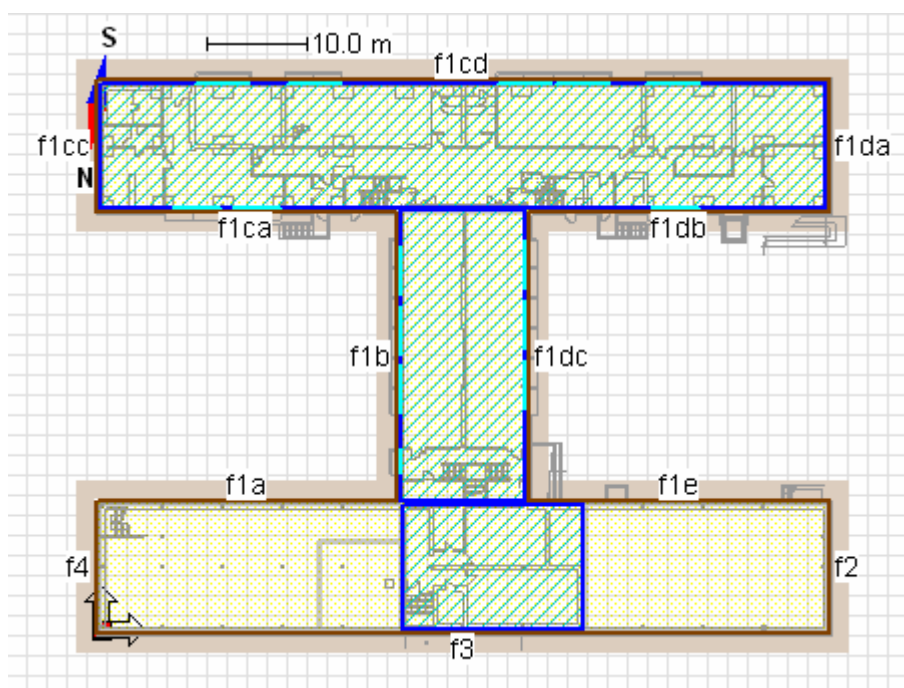


Joonis 5.2 Hoone välisvaade.

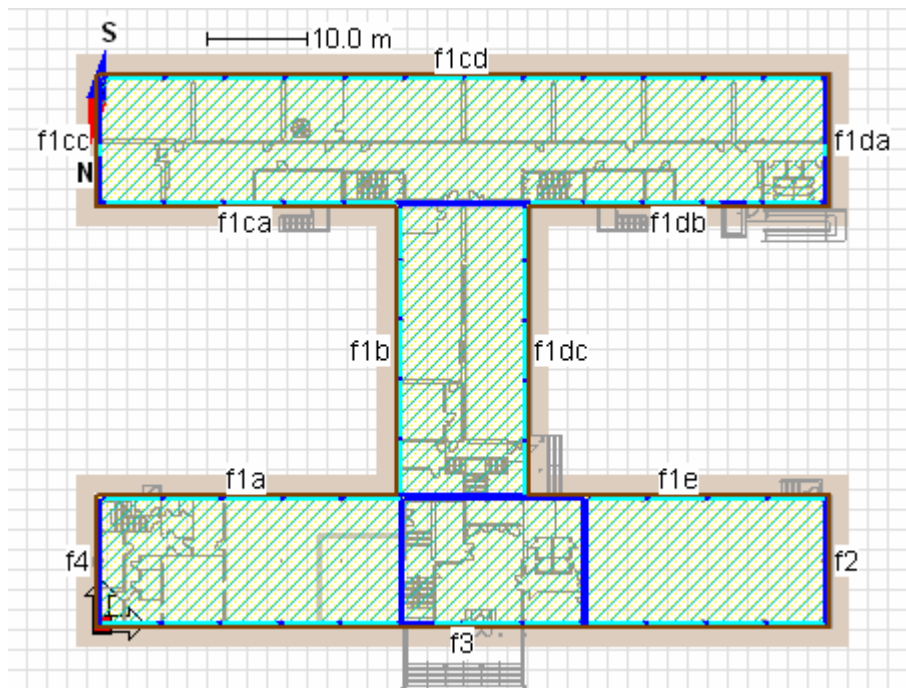
5.1.2 Arutusmudeli kirjeldus

Antud hoone on programmmis kirjeldatud ühe mudelina. Hoone on jaotatud neljateistkümneks tsooniks vatavalt hoones paiknemisele ja korruselisusele.

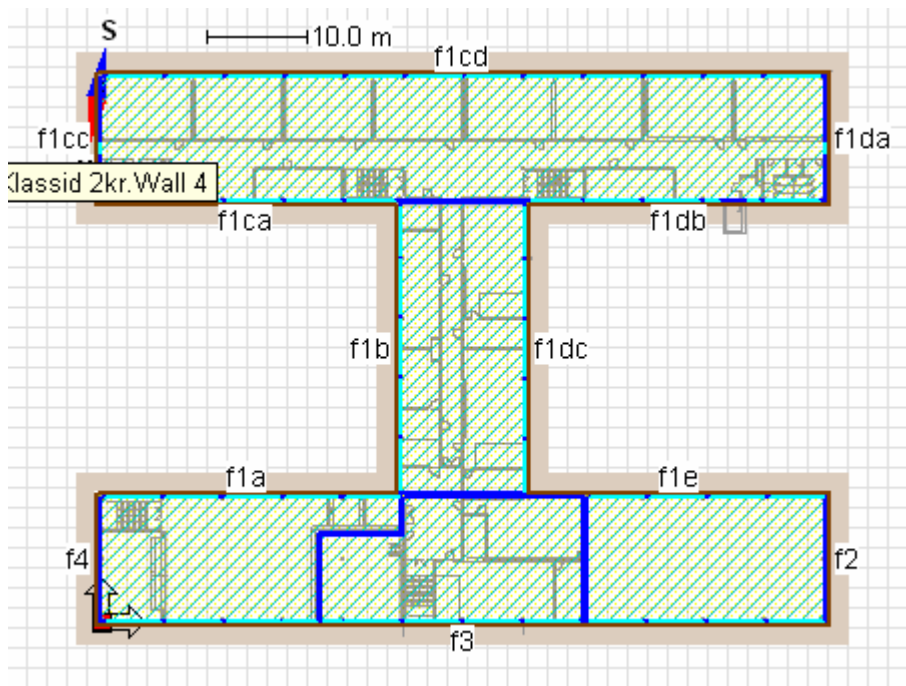
Hoone tsoonideks jaotus



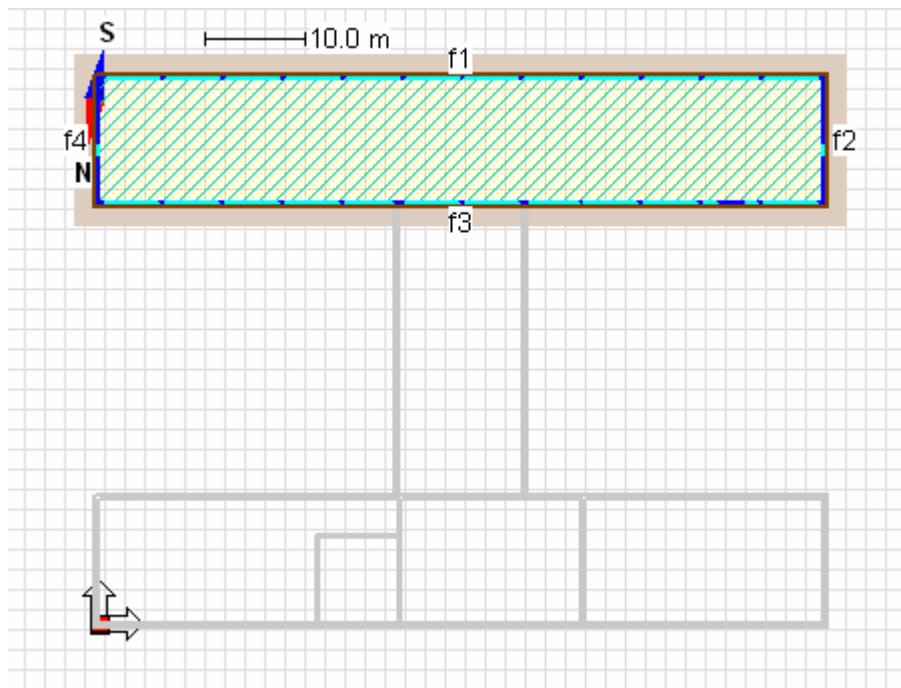
Joonis 5.3 0 korrus



Joonis 5.4 1 korrus

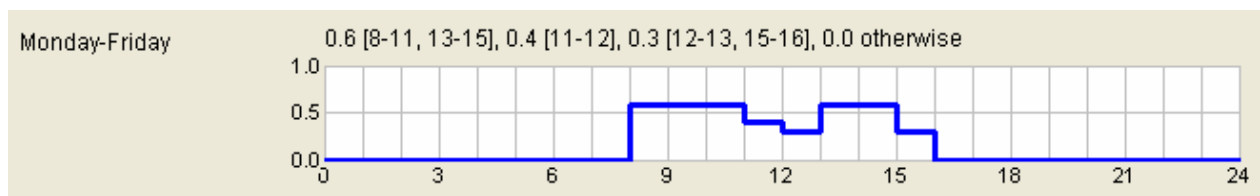


Joonis 5.5 2 korrus



Joonis 5.6 3. ja 4. Korrus

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. soojuseraldusena inimeste kohta on arvestatud 35 W/m^2 so. $35 \times 6260 = 219,1 \text{ kW}$ (arvestades inimese soojuseraldusega 110 W (vastavalt VVM. 258 §11(7)) tuleb koolimaja inimeste arvuks ~ 1991 mida on tegelikkusest üle kahe korra rohkem). Ruumide kasutusaste on $0,5$. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisas 6 esitatud profiilile (valitud on kogu lasteaia jaoks ühine profiil mis vastab lasteaia kasutusastmele $0,5$ (Joonis 2.37).



Joonis 5.7 Koolimaja kasutusprofiil

Seadmete vabasoojusena ja elektritarbele ruumides on arvestatud 12 W/m^2 so. $12 \rightarrow 6260 = 75,12 \text{ kW}$ ja kasutusaste $0,5$ ($52,56 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $329025 \text{ kWh/aastas}$). Seadmed töötavad vastavalt koolimaja kasutusprofiilile.

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 18 W/m^2 so. $18 \rightarrow 6260 = 112680 \text{ W}$ ja kasutusaste vastavalt määrusele $0,5$ ($78,84 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, $493538 \text{ kWh/aastas}$). Valgustus töötab vastavalt koolimaja kasutusprofiilile.

Sooja tarbevee erikulu koolimajas on $180 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. See teeb valitud koolimaja $180 \rightarrow 6260 = 1126,8 \text{ m}^3$ sooja tarbevett aastas. Sooja ja külma vee temperatuuride vahe on 55°C .

Infiltratsiooni õhuvooluhulga määramisel on kasutatud konstantset infiltratsiooni õhuvooluhulka, mis on arvatud hoonepiirete õhulekkearvu ja hoonepiirete pindala (8222 m^2) abil.

5.2 Tulemused

Hoone kalibreerimine

Simulatsiooni tulemusi on võrreldud olemasoleva hoone 2008.a. tarbitud energia näitudega. 2008. a. mõõdetud elektrienergia tarbimine oli 198,79 MWh ja kütteenergia tarbimine oli 459,9 MWh. Baasaastale vastav soojusenergia kulu 2008. aastal on 588,11 MWh. Arvutatud soojusenergia kulu ja elektrienergia kulu moodustasid tegelikest vastavalt 98 % ja 103 %.

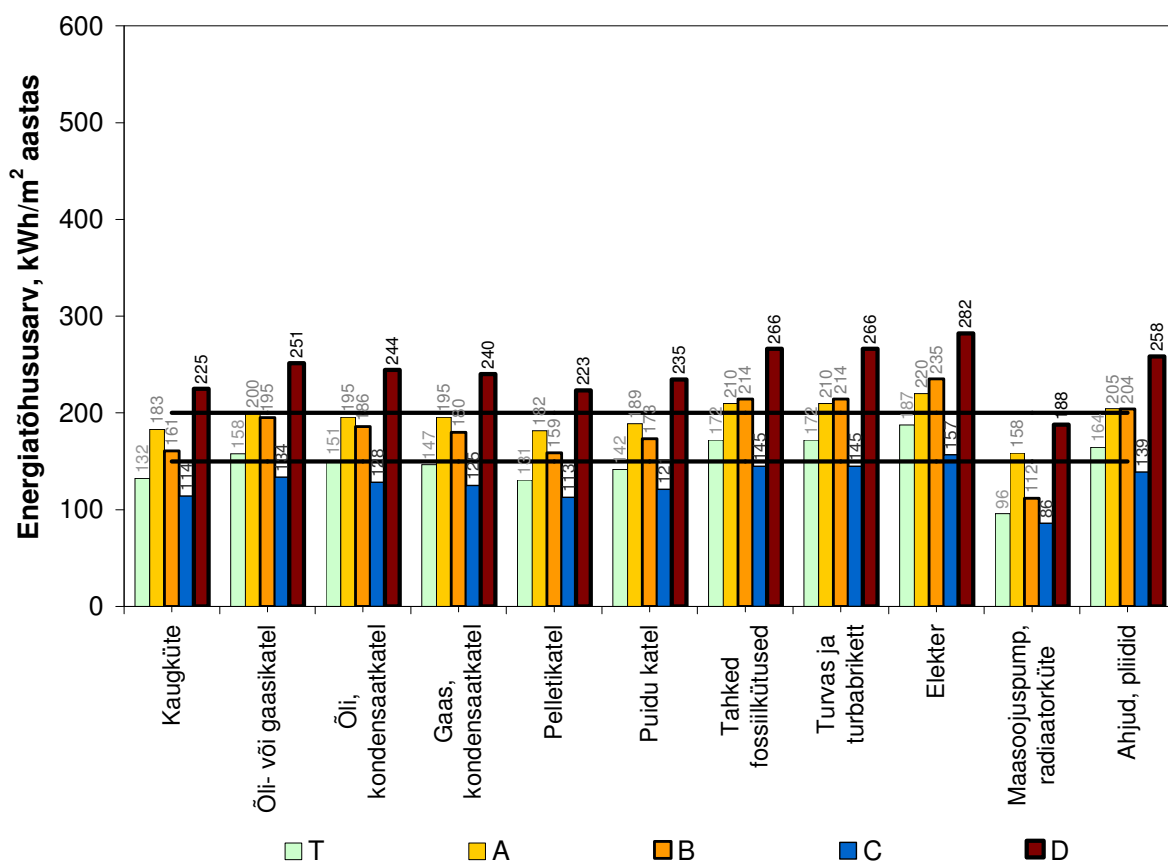
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuluva energia kohta (Tabel 5.2). Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt sisseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 5.1. Energiakulu arvutustulemused

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide		Ventilatsiooni			Muu energiakulu			
		Küte	Jahu-tus	Küte	Jahu-tus	Sooja-tagas-tus	Ventilaatorid, pumbad	Sead-med	Valgus-tus	Soe tarbe-vesi
T, kWh	782069	25692	-	27784	-	30080	46000	46002	11557	39719
		8		8		0			2	
T, kWh/m ²	125	41,0	-	44,4	-	48,1	7,3	7,3	18,5	6,3
T, võimsus, W (-22°C)										
A, kWh	918225	10382	-	24493	-	33375		45958	43783	39719
		7		1		8	45958		2	
A, kWh/m ²	147	16,6	-	39,1	-	53,3	7,3	7,3	69,9	6,3
A, võimsus, W (-22°C)										
B, kWh	980880	44354	-	28998	-	28865		46027	11557	39719
		9		7		6	46026		2	
B, kWh/m ²	157	70,9	-	46,3	-	46,1	7,4	7,4	18,5	6,3
B, võimsus, W (-22°C)										
C, kWh	654322	13794	-	26912	-	30952		45981	11557	39719
		9		2		9	45979		2	
C, kWh/m ²	105	22,0	-	43,0	-	49,4	7,3	7,3	18,5	6,3
C, võimsus, W (-22°C)										
D, kWh	117743	10745	-	40875	-	49511	71971	71971	43783	79446
	4	5		9		3			2	
D, kWh/m ²	188	17,2	-	65,3	-	79,1	11,5	11,5	69,9	12,7
D, võimsus, W (-22°C)										

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvutatud energiatõhususarvud (joonis 5.8). Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 5.8. Energiatõhususarv

Tulemused on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil

Tabel 5.2 Variant A energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Koolimaja		□	Uusehitus	
Aadress	Tammsaare tee 145		×	Rekonstr.	
Ehitusaasta	1970		×	Olemasolev hoone	
Kõetav pind	6260	m ²			
Suletud netopind	6709,3	m ²			
Energiatõhususarv (ETA)	189	kWh/m² (kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)			
	Ostetud kütused	Tarnitud energia	Kaalumis-	Kaalutud energia-	
Energiakandja	Kogus/a	massi või mahuühik	tegur, -	kasutus kWh/a	
Elekter			529748	1,5	794622
Kaugküte	kWh/a		388477	0.9	349629
Summa			918225		1144251
	Hoone tehnosüsteemide energiakasutus				
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a		
Küttesüsteem	110		388477		
Ventilatsioonisüsteem	45848				
Jahutussüsteem	-				

Elektrisüsteem		483790				
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus		529748		388477		
Netoenergiavajadus, kWh/a						
Ruumide küte			103827			
Ventilatsiooniõhu soojendamine			244931			
Tarbevee soojendamine			39719			
Kütteenergia kokku			388477			
Utiliseeritavad vabasoojused			473975			
Jahutus			-			
Tehnosüsteemide võimsused						
		Elekter, kW		Soojus, kW		
Küttesüsteem				596		
Jahutussüsteem				-		
Elektrisüsteem		XXX				
Arvutustsoonide arv	14					
Küttesüsteemi tüüp						
-soojusallikas ja kütus	Soojussõlm/kaugküte					
-soojuse jaotamine	Veeradiaator					
Vent. süsteemi tüüp	Sundventilatsioonisüsteem soojustagastusega, köögis soojustagastita sissepuhke- väljatõmbe sundventilatsioonisüsteem					
Jahutussüsteem	Ei ole					
Infiltratsiooni õhuvahetus	344 l/s					
Soojaerikadu		W/(K·m ²)				
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)		U×A, W/K		
Välissein	4650	0,28		1302		
Katuslagi	2153	0,27		581		
Põrand pinnasel	2155	1,733		3734		
Aknad	1497	2,0		2994		
Summa/kaalutud keskmine	10455	1,07		8611		
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K	Summa, W/K		
Välissein/vahelagi	0,2					
Välissein/vahesein	0,2					
Välissein/välissein	0,2					
Akna ümbrus	0,06					
Ukse ümbrus	0,06					
Katus/välissein	0,3					
Põrand/välissein	0,3					
Välisseinad	0,8					
Summa, W/K	2,21					
Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikese- faktor g, -
Lõunasse	668	2	2	2	1336	0,76
Läände	125	2	2	2	250	0,76
Itta	125	2	2	2	250	0,76
Põhja	579	2	2	2	1158	0,76

Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	1497	2	2	2	2994	0,76
	Ventilatsiooniseade					
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sissepuhke temp., °C	Soojustagastus temperatuuri-suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilaator1	600/400	60		+21	50	
Ventilaator2	600/400	60		+21	20	
	Küttesüsteem					
	Süsteemi kasutegur, %		Soojustegur		Abiseadmete elekter kWh/a	
Ruumide küte	0,8				110	
Vent.seadmed	0,5				45848	
Soe tarbevesi						
	Jahutussüsteem					
	Külma tootmise jahutustegur, -		Süsteemikaotegur, -		Abiseadmete elektritarbimisetegur, -	
Puudub						
	Sooja vee tarbimine					
	l/(d inim.)	Inimeste arv	l/(m ² a)	m ²	kokku, m ³ /a	
	-	-	180		1126,8	
	Ahjud, kaminad ja elektrikerised					
	Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a		
	Ahjud, W		Kaminad, W			
	Puudub		Puudub		Puudub	
	Vabasoojused					
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d		Kasutusaeg tundi päevas, h	
Inimesed	35	50	5		8	
Seadmed	12	50	5		8	
Valgustus	18	50	5		8	

5.3 Kokkuvõte koolimaja analüüsi kohta

Käesolevas osas uuriti koolimaja energiatõhususe miinimumnõudeid Mustamäe gümnaasiumi näitel. Koolimaja energiatõhusust analüüsiti erinevate välispiirete, hoone kasutuse ja kohaloleku profiilide korral.

Lähtudes määruses toodud energiatõhususarvu piirväärtusest büroo- ja administratiivhoonete kohta, mis on 220kWh aastas ruutmeetri kohta, tekitab probleeme elektrikütte kasutamine, muudel juhtudel on nõue saavutatav ka renoveerimata piirdetarinditega koolil. Juhul kui koolimaja energiatõhususarvu võrrelda avalike hoonete piirväärtusega 300kWh aastas, siis on nõue täidetud kõikidel juhtudel.

Erinevused tegelike sisemiste soojuskoormuste ja nende ajagraafikute ning määruses kasutatavate vahel on märgatav. Tegelikult kasutusega koolimaja arvutuslik energiakulu on 125 kWh/m² ja sama näit standard kasutusega koolimaja puhul on 147 kWh/m². Ühe hoone puhul on raske öelda, milline olukord tegelikult valitseb. Lisaks tuleb lisada, et koolimaja valgustuse ja kütte kulu sõltub paljuski koolimaja majandusajuhatajast (näiteks: valgustite tööaeg, radiaatorite termostaatide seadistus).

Suur erinevus tuleb inimeste soojuseralduste arvestamisel, määruse järgi peaks olema 35 W/m², mis ületab tegelikku soojuseraldust ~2,6 korda. Mustamäe gümnaasiumis tuli summaarseks ~14 W/m². Otstarbekas oleks muuta ka valgustuse energiatarvet ~10 W/m². Täpsete arvude leidmiseks tuleks analüüsida lisaks veel erinevaid koolimaju.

Määruses ei ole käsitletud koolimaja söökla köögi kasutust ja köögi seadmete energia tarvet.

Määruses kasutatav sooja tarbevee erikulu 180 l/m² aastas on antud hoones mõõdetust sooja tarbevee erikulust 2 korda suurem. Antud koolimajas ei ole ujulat.

Suvised ruumiõhutemperatuuri kontrolli tulemustest on näha, et ilma jahutuseta ületab sisetemperatuur lubatud piirväärtust tunduvalt. Suvised ruumiõhutemperatuuri kontrollimisel tuleks arvestada koolimaja tegelikku kasutust. Näitena kasutatud koolimaja ei ole määruses toodud suvisest ajast kaks kuud kasutuses ja on seega 2/3 suvisest ajast suletud.

Antud määruses kuuluvad koolid kui haridusasutused avalike hoonete klassi. Võiks kaaluda eraldi haridusasutuste (koolid, lasteaia) klassi kasutamist.

6 Lasteaed

Lasteaedade analüüs on tehtud ühe hoone näitel, mida on põhjalikult kirjeldatud allpool. Antud hoonele tehti energiatõhusarvu arvutused lisaks valideeritud mudelile viie erineva hoonepiirde ja tehnosüsteemi lahenduse kohta (Tabel 6.1).

Tabel 6.1 Piirdetarindite ja ventilatsioonisüsteemi omadused erinevatele arvutusvariantidele

	Variant					
	T	A	B	C	D	P
Soojuslähikandetegur, $W/(m^2K)$						
Välissein	0,25	0,25	0,96	0,24	0,17	0,101
Katuslagi	0,64	0,64	0,64	0,19	0,09	0,075
Põrand	0,45	0,45	0,45	0,31	0,16	0,128
Sokkel	1,02	1,02	1,02	0,43	0,16	0,127
Aken: klaas / raam (raami osakaal 10%)	1,4 / 1,7	1,4 / 1,7	2,6 / 2,6	1,4 / 1,7	1,0 / 1,1	0,51/0,76
SHGC/T	0,64/0,54	0,64/0,54	0,75/0,69	0,64/0,54	0,33/0,28	0,52/0,42
Välisuks (summeeritud koos klaasiosaga)	1,4	1,4	2,3	1,1	1,1	0,8
Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(hm^2) / l/(sm^2)$	1 / 0,28	3 / 0,83	6 / 1,7	3 / 0,83	3 / 0,83	0,6 / 0,17
Ventilatsiooni õhuvooluhulk, $l/(s.m^2)$	10 (köök)	3	-	3	3	3
Soojusvaheti temperatuuri suhtarv	0	0,8	-	0,8	0,8	0,9
Ventilaatori summaarne kasutegur	0,2	0,5	-	0,5	0,5	0,5
Heitõhu miinimumtemperatuur, °C	-	0	-	0	0	0
Rõhutõus	100/100	600/600	-	600/600	600/600	500/500
sissepuhe/väljatõmme, Pa						

- *Variant T* on valitud vastama tegelikule olukorrale, ehk siis 1970. aastal ehitatud piirdetarinditele mida on 2007. aastal renoveeritud. Kõik sisemised soojuskoormused ja ajagraafikud vastavad tegelikule olukorrale. Variant T abil valideeriti hoone mudel.
- *Variant A* on tegelik hoone standardkasutusel. Energiaarvutuses on arvestatud jahutussüsteemi olemasoluga, et oleks täidetud suviste ruumitemperatuuride kontrolli nõue. Külmasildade lisakonduktantsid; kütte-, ventilatsioonisüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine; sisemised soojuskoormused ning kasutusprofiilid vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaarvutuse miinimumnõuded“.
- *Variant B* iseloomustab standardkasutusel renoveerimata lasteaeda, mille piirdetarindid vastavad renoveerimata lasteaiale. Suviste ruumitemperatuuride kontrolli nõude täitmiseks on kasutatud otseaurustus jahutussüsteemi (COP=3). Sisemised koormused, külmasildade lisakonduktantsid kütte-, ventilatsioonisüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaarvutuse miinimumnõuded“.
- *Variant C* on valitud hoonepiirded vastama Eesti projekteerimisnormi EPN 11.1 „Piirdetarindid. Osa 1: Üldnõuded“ (1995, 2004) ja standardi EVS 837-1:2003 „Piirdetarindid. Osa 1 Üldnõuded“ nõuetele (sisse on viidud ka temperatuuri korrigeerimine 18 °C→21 °C). Suviste ruumitemperatuuri nõude täitmiseks on teostatud energiaarvutus kahel variandil: variandil A on arvestatud jahutussüsteemi olemasoluga (nii ventilatsiooniõhujahutamine kui ka ruumipõhised jahutuskonvektorid); variandil B on arvestatud välise akende varikatetega kui ka ventilatsiooniõhu jahutusega. Sisemised koormused, külmasildade lisakonduktantsid kütte-, ventilatsioonisüsteemide parameetrid;

soojatarbevee tarbimine vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“.

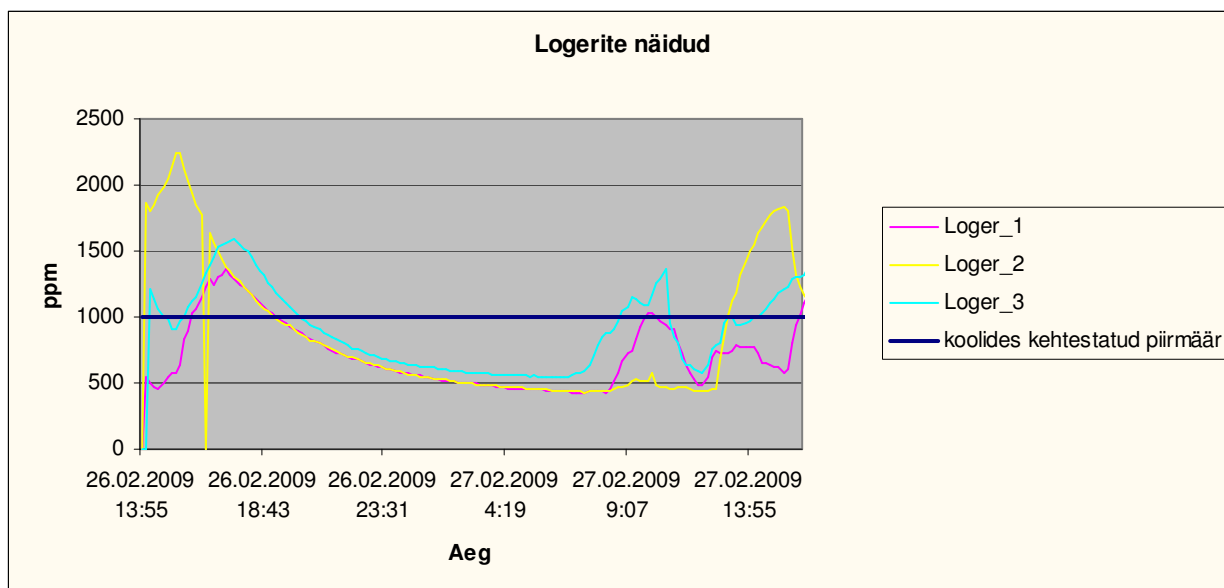
- *Variant D* on veelgi energiasäästlikum ja on valitud vastama Soome ehitusmääruse C3 (2010) nõuetele. Suviste ruumitemperatuuri nõude täitmiseks on arvestatud jahutussüsteemi olemasoluga. Sisemised koormused, külmasildade lisakonduktantsid kütte-, ventilatsioonisüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“.
- *Variant P* on valitud variantidest kõige energiasäästlikum ning on valitud vastama Valka ehitatava „Kasekese“ passiivlasteaia lähteandmetele (piirdetarindid jne.). Suviste ruumitemperatuuri nõude täitmiseks on arvestatud jahutussüsteemi olemasoluga. Sisemised koormused, külmasildade lisakonduktantsid kütte-, ventilatsioonisüsteemide parameetrid; soojatarbevee tarbimine vastavalt Vabariigi Valitsuse 20. detsembri 2007. a määrusele nr 258 „Energiaõhususe miinimumnõuded“.

Hoone soojusvarustus toimub kaugkütte abil ja hoone kütmiseks on radiaatorküttesüsteem. Hoonel puudub jahutussüsteemi. Juhul kui sisetemperatuur tõuseb liiga kõrgeks avatakse aknad. (pakettakendest iga teine on avatav). Ventilatsiooniõhu sissepuhketemperatuur on +16 °C (variantis P on arvestatud sissepuhketemperatuuriga +21 °C). Öhu temperatuuri tõus ventilaatoris ja torustikus on arvestatud 1 °C. Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi. Tegelikule olukorrale vastavas mudelis on VVm. 258 lisas 5 esitatud suurusi muudetud vastavalt tegelikule olukorrale.

Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuse baasaasta kliimaandmeid. Hoone asukohaks on valitud Tallinn ja tuuleprofiiliks äärelinn. Temperatuur 1.1m sügavusel pinnases on arvestatud vastavalt määruses toodud suurusele +7 °C.

Sooja tarbevee tarbimisandmed on arvatud vastavalt sooja ja külmavee tarbimise suhtarvule (mille tarbeks teostati eraldi mõõtmine). Tegelikule olukorrale vastav soojavee ja külmavee suhtarv on 0,335. Sooja ja külma vee arvutuslik temperatuuride vahe on 50 °C. Hoone standardkasutusel olevates variantides on arvestatud vastavalt määruses toodud veetarbimisega (460 l/m²a).

Hoone on loomuliku ventilatsiooniga, õhulekkearvu leidmiseks teostati lasteaia CO₂ mõõtmine kolmes ruumis (Joonis 6.1). Mõõtmine toimus kütteperioodi keskmise välistemperatuuri juures (0°C...-2 °C). Näitude põhjal on arvatud valemi (1) abil õhuvahetuse kordarvud (Tabel 6.1). Standardkasutusel olevates variantides on infiltratsiooni õhuhulk leitud vastavalt määruses toodud valemile.



Joonis 6.1 Süsinikdioksiidi mõõtmistulemused Liivaku lasteaias

$$C = C_v + \frac{m}{L} - \left(C_v + \frac{m}{L} - C_0 \right) \cdot \left(e^{-\frac{L}{V}\tau} \right) \quad (1)$$

Kus

L – õhuvahetus ruumis (m³/h)

V – ruumi kubatuur (m³)

τ – aeg (h)

m – CO₂ teke ruumis (cm³/h)

C_v – CO₂ kontsentratsioon välisõhus (ppm)

C – CO₂ kontsentratsioon aja lõpus (ppm)

C₀ – CO₂ kontsentratsioon aja alguses (ppm)

Tabel 6.2 Arvutatud õhuvahetuse kordarvud

Loger nr	Katse nr.	Õhuvahetus kordarv	Ruum/tegevus
1	1	0,699	mänguruum /mängimine
	2	1,205	mänguruum /mängimine
2	3	0,249	magamisruum /magamine
	4	0,310	magamisruum /magamine
3	5	0,541	mänguruum /mängimine
	6	0,696	mänguruum /magamine

Arvustulemused kõiguvad väga suurtes piirides, valideerimisel kasutati korrigeeritud ühtset suurust kogu hoone kohta milleks kujunes 0,32 1/h. Korrigeeritud suuruse leidmisel võeti eelkõige arvesse logeri nr. 2 saavutatud tulemusi, kuna ajal kui õhuvahetuse kordarv arvutati oli antud ruum suletud ja inimeste arv konstantne, ülejäänud ruumid ei olnud uksega suletud, mis tingis parema õhuvahetuse. Arvustes kasutatud õhuvahetuse kordarv on väiksem kui määruses toodud soovituslik õhulekkaarvu baasväärtus 3 m³/(hm²), arvustes kasutatud 0,32 1/h juures tuleb õhulekkaarvuks antud lasteaial ca 1,2 m³/(hm²), see suurus on põhjendatud kuna hoonel oli renoveerimisel muudetud küllaltki õhutihedaks.

Standardkasutusel arvestati sundventilatsioonisüsteemiga (v.a Variant B), et oleks täidetud ruumide vajalik õhuvahetus.

Meetodid

6.1.1 Valitud hoone kirjeldus

Lasteaedade osas valiti arvutuseks Tallinnas Mustamäe linnaosas paiknev „Liivaku” lasteaed. Antud lasteaed valmis 1970. aastal, tegu on Eesti Projekti tüüpprojekti järgi valminud lasteaiaga, mida on viimastel aastatel renoveeritud. Renoveeritud on välisfassaad ning väljavahetatud kõik aknad uute klaaspakettakende vastu. Renoveerimine toimus mitmes järgus ning lõppes 2007. aastal. Hoonel ei teostatud 2008. aastal remonttöid, mis võimaldas 2008. aasta tarbimisandmete põhjal valideerida hoone mudel arvestades kraadpäevade erinevust normaalaastal ja 2008. aastal.

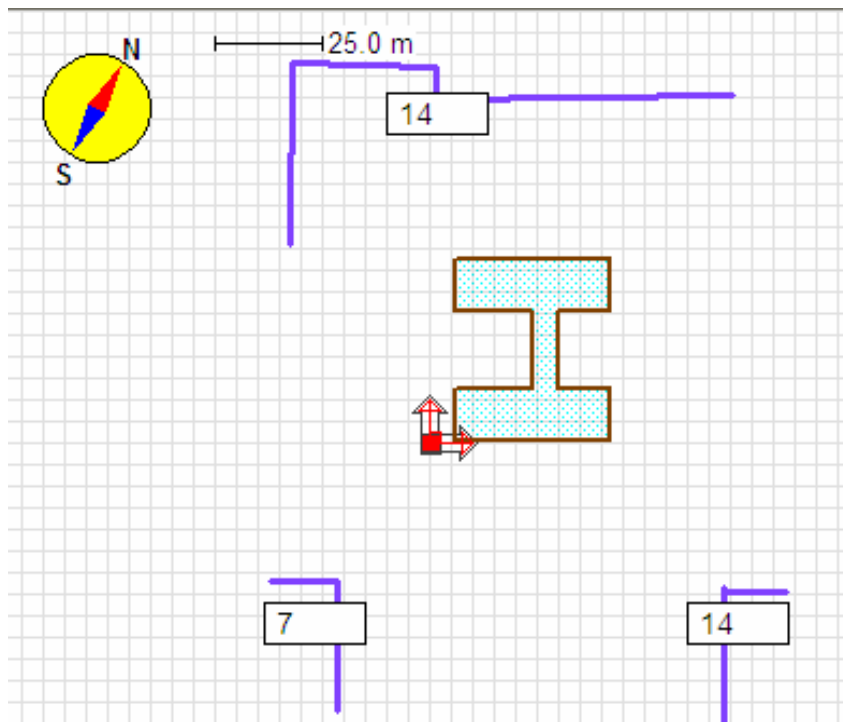
Valitud lasteaial on kaks korrust ning osaline kütmata kelder, kus asub soojussõlm ning panipaigad. Korrustel paiknevad 12 rühma, aula-spordisaal, köök, abiruumid.

Infot hoone piirdetarindite kohta saadi Eesti Riigiarhiivist Eesti Projekti tüüpprojektist 217-1-7. Hoone välisfassaadide renoveerimise kohta saadi informatsiooni renoveerimisprojektist (teostaja AS Vep, projekt nr. 52-07P) mis oli kättesaadav Tallinna Linnaarhiivis. Info kütte-, ventilatsioonisüsteemide kohta on saadud Eesti Riigiarhiivist ja hoone haldaja arhiivis olevatest materjalidest (köögi seadmed, köögi ventilatsiooniseadmed), ning kohapealsetest vaatlustest. Hoone sisekliima parameetrid ja sisemised soojuskoormused on leitud kohapealsete mõõtmiste ja vaatluste abil.

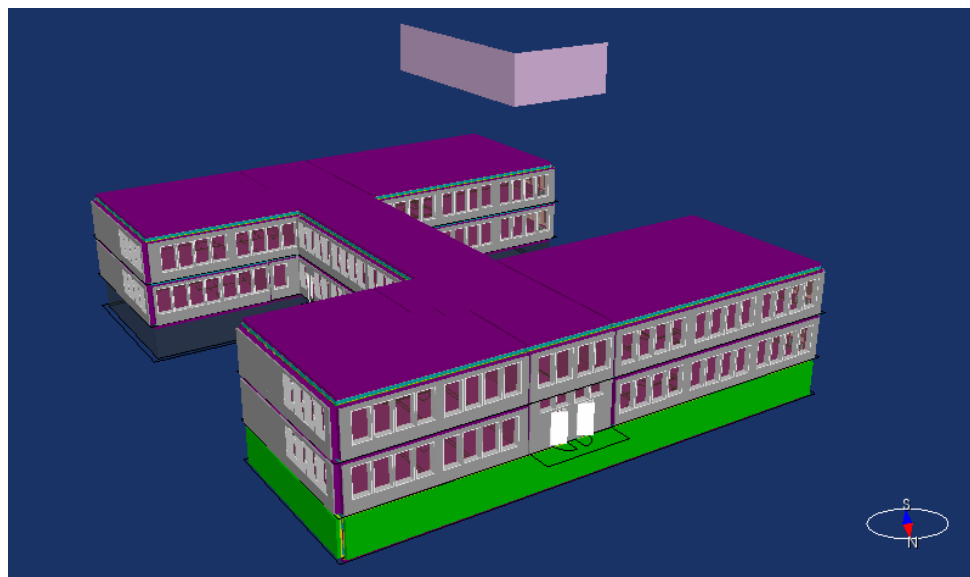
Lasteaia peamised tehnilised näitajad:

- Suletud netopind: 2780,4 m²
- Köetav pind: 1873,3 m²;
- Laius x pikkus: 43,1x37,1 m;
- Siseruumide kõrgus: 3 m;
- Rühmade arv: 12;
- Laste arv: 243, õpetajaid rühma kohta 2
- Kütte temperatuuriseade rühmades: 21 °C, aulas, kabinettides : 21 °C, välistrepikodades ja tehnilistes ruumides 17 °C

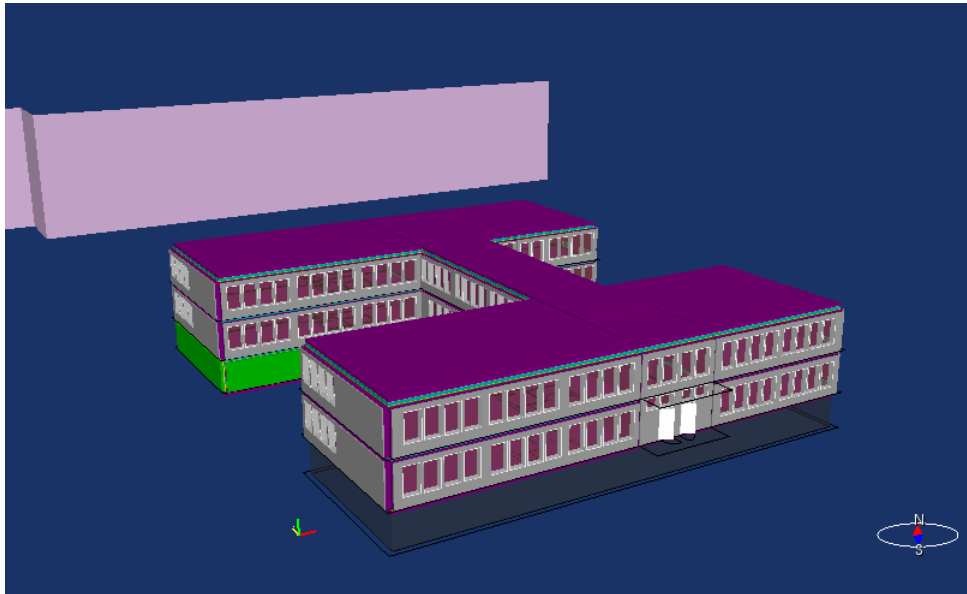
Paremaks ülevaateks uuritud lasteaiast on toodud vaated ja paiknemise kohta ümbritsevate hoonete ja ilmakaarte suhtes asukoha plaan (Joonis 6.2, 6.3, 6.4).



Joonis 6.2 Hoone paiknemine ilmakaarte ja ümbritsevate hoonete suhtes



Joonis 6.3 Hoone välisvaade põhjast



Joonis 6.4 Hoone välisvaade lõunast

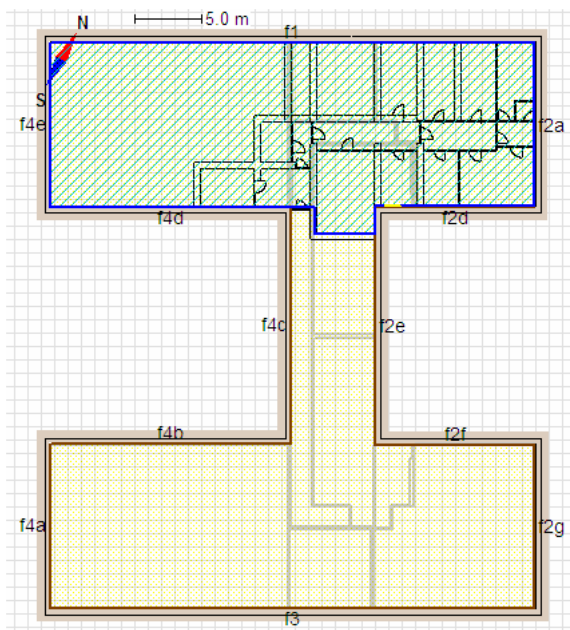
6.1.2 Arvutusmodeli kirjeldus

Antud hoone sisestati arvutusprogrammi 2 erineva mudelina: 0. korrus + 1. Korrus; 2. korrus. Arvutusmudelisse on kantud ka kolm lähedalasuvat hoonet (Joonis 6.2). Hooned jäävad arvutatavast hoonest kaugemale, mistõttu tekkivad varjud arvutatavale hoonetele suurt mõju ei avalda.

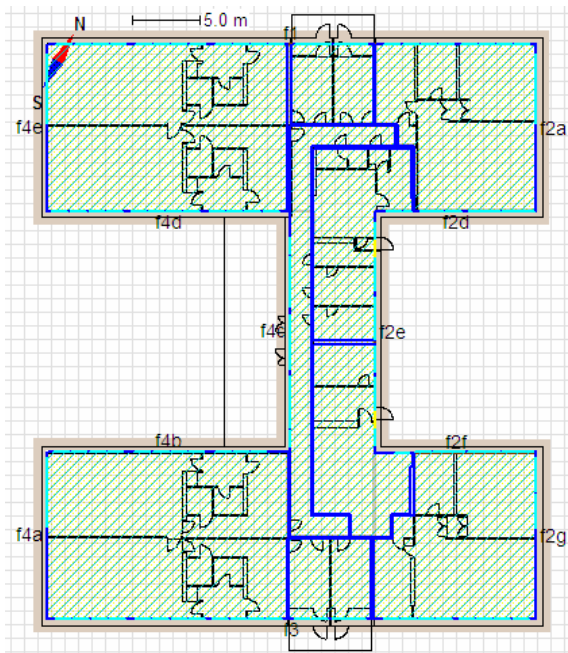
Hoone on jaotatud 15. tsooniks erineva kütte temperatuuriseade ja paiknemise alusel:

- rühmad: 21 °C;
- kabinetid, aula, sisetrepikoda: 21 °C.
- Välistrepikoda 17 °C.

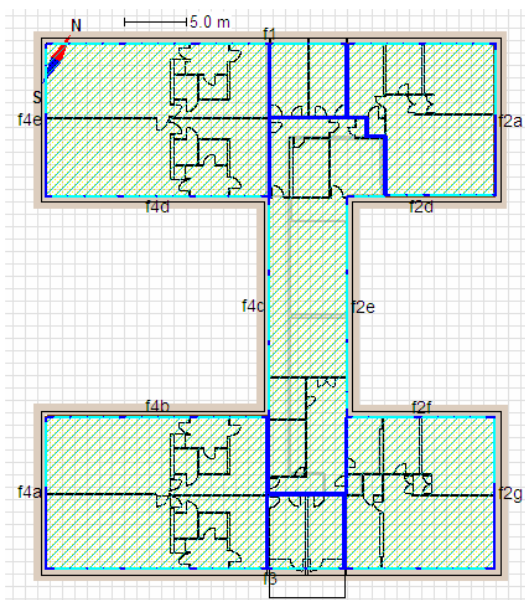
Hoone tsoonideks jaotus



Joonis 6.5 Tsoonide jaotus 0. korrus

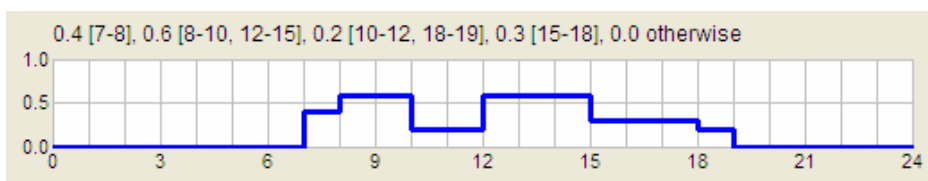


Joonis 6.6 Tsoonide jaotus 1. korrus



Joonis 6.7 Tsoonide jaotus 2. korrus

Ruumide standardkasutuseks on kasutatud VVm. 258 lisa 5 esitatud suurusi. Lasteaialaste soojuseraldusena inimeste kohta on arvestatud 35 W/m^2 so. $35 \rightarrow 1873,3 = 65,6 \text{ kW}$ (arvestades inimese soojuseraldusega 110 W (vastavalt VVm. 258 §11(7)) tuleb lasteaia inimeste arvuks ~ 596 mida on tegelikkusest üle kahe korra rohkem). Ruumide kasutusaste on $0,4$. Inimesed on hoones vastavalt VVm. 258 lisa 6 esitatud profiilile (Joonis 6.8).



Joonis 6.8 Lasteaia kasutusprofiil

Seadmete vabasoojusena ja elektritarbele on arvestatud 12 W/m^2 so. $12 \rightarrow 1873,3 = 22,48 \text{ kW}$ ja kasutusaste $0,4$ ($15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 28132 kWh/aastas). Seadmed töötavad vastavalt lasteiaia kasutusprofiilile (Joonis 6.8).

Valgustuse vabasoojus ja elektritarve on 18 W/m^2 so. $18 \rightarrow 1873,3 = 33719 \text{ W}$ ja kasutusaste vastavalt määrusele $0,4$ ($22,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{aastas})$, 42197 kWh/aastas). Valgustus töötab vastavalt lasteiaia kasutusprofiilile (Joonis 6.8).

Sooja tarbevee erikulu lasteaias on $460 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. See teeb Liivaku lasteaias $460 \rightarrow 1873,3 = 861,7 \text{ m}^3$ sooja tarbevett aastas. Sooja ja külma vee arvutuslik temperatuuride vahe on $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

6.2 Tulemused

Energiaarvutuse arvutusmudeli kalibreerimine

Simulatsiooni tulemusena saadi aastasteks soojus- ja elektrienergia kuluks vastavalt $320,3 \text{ MWh}$ ja $45,9 \text{ MWh}$. Normaalaastale vastav tegelik soojusenergia kulu on $322,7 \text{ MWh}$ ja tegelik elektrienergia kulu oli $44,8 \text{ MWh}$. Arvutatud soojusenergia kulu ja elektrienergia kulu moodustasid tegelikest vastavalt $99,3 \%$ ja $102,5 \%$. Täpsem arvutatud energiakulude jaotus on toodud allpool (Tabel 6.3.).

Tabel 6.3 Energiakulu jaotus normaalaastal

Kuu	Kütteenergia kulu kWh/a	Elektrienergia kulu kWh/a
Jaanuar	50905	4587,5
veebruar	52444	4325,5
märts	39565	4384,3
aprill	30597	4240,6
mai	11164	4064,5
juuni	5393	2781
juuli	2913	2462,9
august	3236	1942,5
september	10140	3945,7
oktoober	25546	4303,8
november	39001	4278,8
detsember	49410	4579,7
Kokku:	320314	45896,8

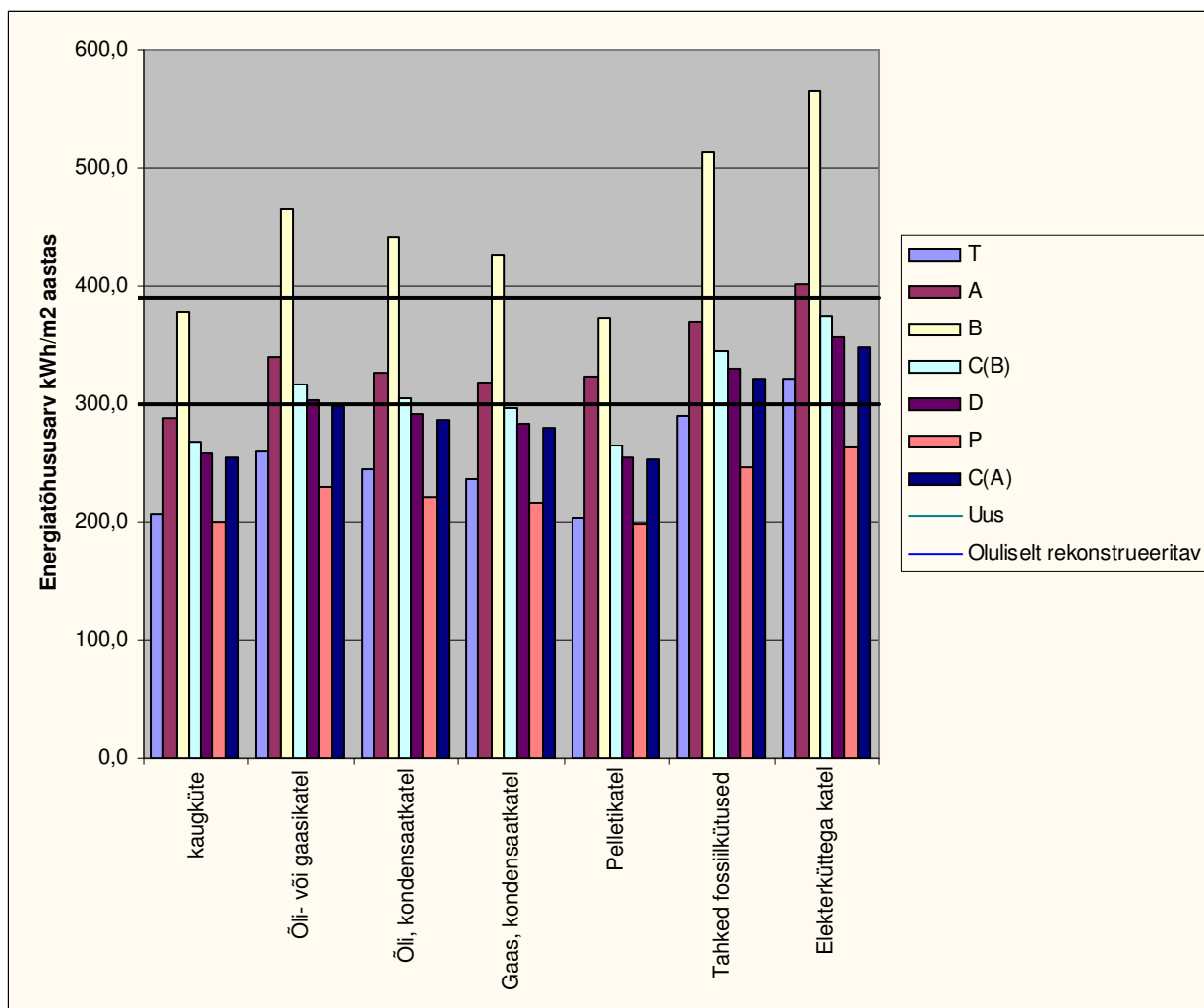
Energiaarvutus

Energiaarvutuse põhitulemustest on välja toodud ruumide kütteks, ventilatsiooniõhu soojendamiseks, tarbevee soojendamiseks ning tehnosüsteemidele, seadmetele, valgustusele kuuluva brutoenergia kohta mis on korrutatud primaarenergia saamise kaalumisteguriga (Tabel 6.4). Lisaks on esitatud ventilatsiooni soojusvaheti poolt siseõhu soojendamiseks kuluv energia.

Tabel 6.4 Energiakulu arvutustulemused ja energiatõhususarv (ETA)

Arvutus-variant	Kokku	Ruumide energiavajadus		Ventilatsiooni Energiavajadus			Muu energiavajadus			
		Küte	Jahutus	Küte	Jahutus	Soojus-tagastus	Ventilaatorid, Seadmed	Valgustus	Soe tarbevesi	
T, kWh	386914	297125	-	5867	-	0	1927	32217	22968	26810
T, kWh/m ²	206,5	158,6	-	3,1	-	0	1	17,2	12,3	14,3
A, kWh	520575	236397	22220	17046	11410	242729	82063	43386	67812	40219
A, kWh/m ²	278	126,2	11,9	9,1	6,1		43,8	23,2	36,2	21,5
B, kWh	747594	485151	109551	-	-	-	1472	43386	67812	40219
B, kWh/m ²	378,2	259	37,5	-	-	-	0,8	23,2	36,2	21,5
C(A), kWh	485824	204601	21794	14601	11305	245327	82060	43386	67812	40219
C(A), kWh/m ²	259,3	109,2	11,6	7,8	6		43,8	23,2	36,2	21,5
C(B), kWh	502645	242212	-	16020	10828	242754	82060	43386	67812	40219
C(B), kWh/m ²	268,3	129,3	-	8,5	5,8		43,8	23,2	36,2	21,5
D, kWh	483457	221337	-	17317	11276	242317	82060	43386	67812	40219
D, kWh/m ²	258,1	118,1	-	9,2	6,1		43,8	23,2	36,2	21,5
P, kWh	385676	99138	28191	36852	2208	336961	67853	43386	67812	40219
P, kWh/m ²	205,9	52,9	15	19,7	1,2		36,2	23,2	36,2	21,5

Kasutades VVm 258 § 3 lõikes 5 toodud kaalumistegureid kütte, ventilatsiooniõhu soojendamise ja tarbevee soojendamise puhul ja lisas 11 toodud soojusallika kasutegureid on erinevatele variantidele arvutatud energiatõhususarvud erinevate primaarenergia kaalumistegurite korral (Joonis 6.9). Horisontaalsed mustad jooned diagrammil viitavad uute hoonete (alumine) ja olemasolevatele oluliselt rekonstrueeritavate hoonete (ülemine) energiatõhususe miinimumnõuetele.



Joonis 6.9 Energiatõhususarv erinevate primaarenergia kaalumistegurite korral

Energiatõhususe miinimumnõuetes ei ole lasteaedadele eraldi piirmäärasid toodud. Lasteaedade puhul arvestatakse praegu piirmääradega, mis on kehtestatud äri-, avalike ja transpordihoonetele: uutele hoonetele on 300 kWh/m² kohta ning oluliselt rekonstrueeritud hoonetele on 390 kWh/m² kohta.

Energiaarvutus tulemused vastavalt variandile A on esitatud ka VVm 258 lisades 19 ja 20 esitatud tabelite abil (Tabel 6.5; 6.6).

Tabel 6.5 Energiaarvutuste tulemuste esitamine vastavalt VVm 258 lisas 19 esitatud tabelile

Hoone tüüp	Lasteaed			<input type="checkbox"/>	Uusehitus
Aadress	Sütiste tee 56			<input type="checkbox"/>	Rekonstr.
Ehitusaasta	1970			×	Olemasolev
Kõetav pind	1873,3	m ²			hoone
Suletud netopind	2780,4	m ²			
Energiaõhususarv (ETA)	278	kWh/m²	(kWh kõetava pinna ruutmeetri kohta)		
	Ostetud kütused		Tarnitud	Kaalumis-	Kaalutud
Energiakandja	Kogus/a	massi või mahuühik	energia kWh/a	tegur, -	energia-kasutus kWh/a
Elekter			151276	1,5	226914
Kaugküte	KWh/a		326292	0.9	293663
Summa			507416		520577
	Hoone tehnosüsteemide energiakasutus				
	Elekter, kWh/a		Soojus, kWh/a		
Küttesüsteem	813		326292		
Ventilatsioonisüsteem	53908				
Jahutussüsteem	22421				
Elektrisüsteem	74134				
Hoone tehnosüsteemide summaarne energiakasutus	151276		326292		
	Netoenergiavajadus, kWh/a				
Ruumide küte	257410				
Ventilatsiooniõhu soojendamine	18941				
Tarbevee soojendamine	44688				
Kütteenergia kokku	321039				
Utiliseeritavad vabasoojused	352323				
Jahutus	51868				
	Tehnosüsteemide võimsused				
	Elekter, kW		Soojus, kW		
Küttesüsteem			445		
Jahutussüsteem			200		
Elektrisüsteem	XXX				

Tabel 6.6 Energiaarvutuse lähteandmete esitamine vastavalt VVm 258 lisas 20 esitatud tabelile

Arvutustsoonide arv	15					
Küttesüsteemi tüüp						
-soojusallikas ja kütus	Soojussõlm/kaugküte					
-soojuse jaotamine	Veeradiaator					
Vent.süsteemi tüüp	Sund sissepuhke- ja väljatõmbesüsteem					
Jahutussüsteem	On					
Infiltratsiooni õhuvahetus	122 l/s					
Soojaerikadu	W/(K·m ²)					
Välispiirded	Pind A, m ²	U, W/(K·m ²)		U×A, W/K		
Välissein	756,06	0,25		189,02		
Katuslagi	985,83	0,64		630,9		
Põrand pinnasel	985,83	0,45		443,6		
Sokkel	195,44	1,02		199,3		
Aknad	597,24	1,66		991,4		
Uksed	18,5	1,4		25,9		
Summa/kaalutud keskmine	3520,4	0,70		2480,1		
Külmasillad						
	Joonkülmasild, W/(K m)	Pikkus, m	Punktkülmasild, W/K		Summa, W/K	
Välissein/vahelagi	0,08					
Välissein/vahesein	0,08					
Välissein/välissein	0,08					
Akna ümbrus	0,06					
Ukse ümbrus	0,06					
Katus/välissein	0,13					
Põrand/välissein	0,11					
Välisseinad	0,08					
Summa, W/K	-					
Aknad						
	Pind A, m ²	Klaasiosa U, W/(K·m ²)	Raamiosa U, W/(K·m ²)	Summaarne U, W/(K·m ²)	U×A, W/K	Päikese-faktor g, -
Lõunasse	167,16	1,4	1,7	1,66	277,49	0,64
Läände	152,52	1,4	1,7	1,66	253,18	0,64
Itta	129,6	1,4	1,7	1,66	215,14	0,64
Põhja	147,96	1,4	1,7	1,66	245,67	0,64
Summa ¹ /kaalutud keskmine ²	597,24	1,4	1,7	1,66	991,42	0,64
Ventilatsiooniseade						
	Rõhutõus sissep./väljat, Pa/Pa	Ventilaatori kasutegur sissep./väljat., %/%	Süsteemi SFP, kW/(m ³ /s)	Sissepuhke temp., °C	Soojus-tagastus temperatuuri-suhe, %	Väljaviske min. temp., °C
Ventilaator1 (väljatõmme)	600	50			80	0
Ventilaator2 (sissepuhe)	600	50		+17		
Küttesüsteem						
	Süsteemi kasutegur, %	Soojustegur		Abiseadmete elekter kWh/a		
Ruumide küte	0,88			1007		
Ventilatsiooniseade	0,5			55039		
Soe tarbevesi						

Külma tootmise jahutustegur, 3,5		Jahutussüsteem Süsteemikaotegur, 0,6		Abiseadmete elektritarbimisetegur, 0,05	
Sooja vee tarbimine					
I/(d inim.)	Inimeste arv	I/(m ² a)	m ²	kokku, m ³ /a	
-	-	460	1873	861,6	
Ahjud, kaminad ja elektrikerised					
Arvutuslik soojaväljastus (24 h kütteintervalliga)			Elektrikerise tarbimine, kWh/a		
Ahjud, W		Kaminad, W			
-		-		-	
Vabasoojused					
	W/m ²	Kasutusaste, %	Kasutusaeg päeva nädalas, d	Kasutusaeg tundi päevas, h	
Inimesed	35	40	5	12	
Seadmed	12	40	5	12	
Valgustus	18	40	5	12	

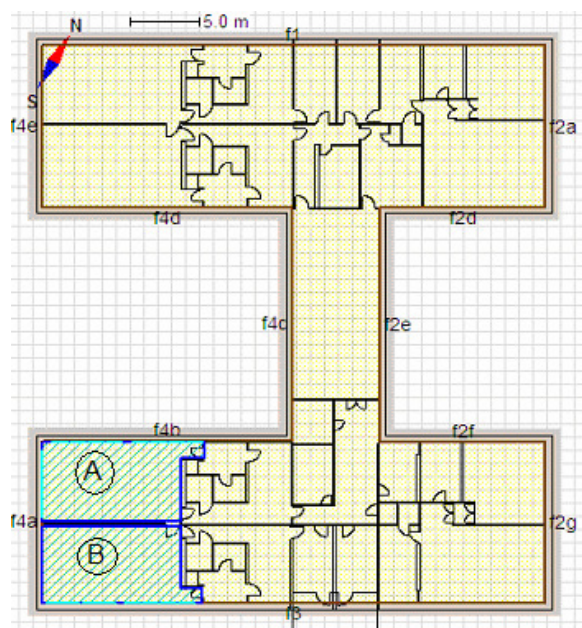
Suviste ruumitemperatuuride arvutus

Energiatõhususe miinimumnõuete ühe osana on kohustuslik ka suviste ruumitemperatuuride kontroll. Suvise ruumiõhutemperatuuri kontroll on teostatud 2. korrusel lõuna-lääne fassaadil asuva kahe rühmaruumi kohta (Joonis 6.10). Suvise ruumiõhutemperatuuri kontroll on tehtud standardkasutusel vastavalt Energiatõhususe miinimumnõuetele. Suviseks jahutuse temperatuuriseadeks on valitud +25 °C. Inimeste, seadmete ja valgustuse kasutusprofiiliks on kasutatud määruse lisas esitatud profiile (Joonis 16.11). Väliskliimaks on kasutatud Eesti energiaarvutuste baasaasta kliimaandmeid.

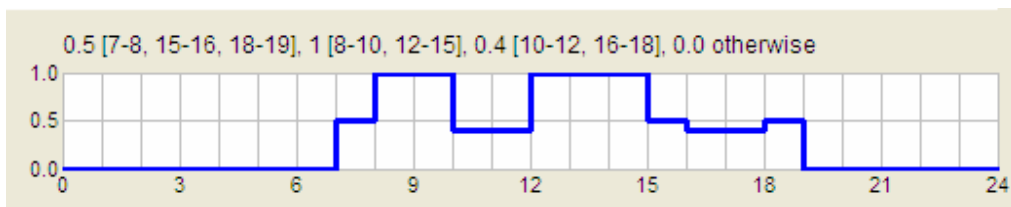
Suviste ruumitemperatuuride arvutus teostati kahel ruumil:

Ruum A – arvutus teostati kahel mudelil – jahutusega; jahutuseta

Ruum B – arvutus teostati kahel mudelil – jahutusega; jahutuseta



Joonis 6.10 Suviseks temperatuurikontrolliks kasutatud tüüpruumid



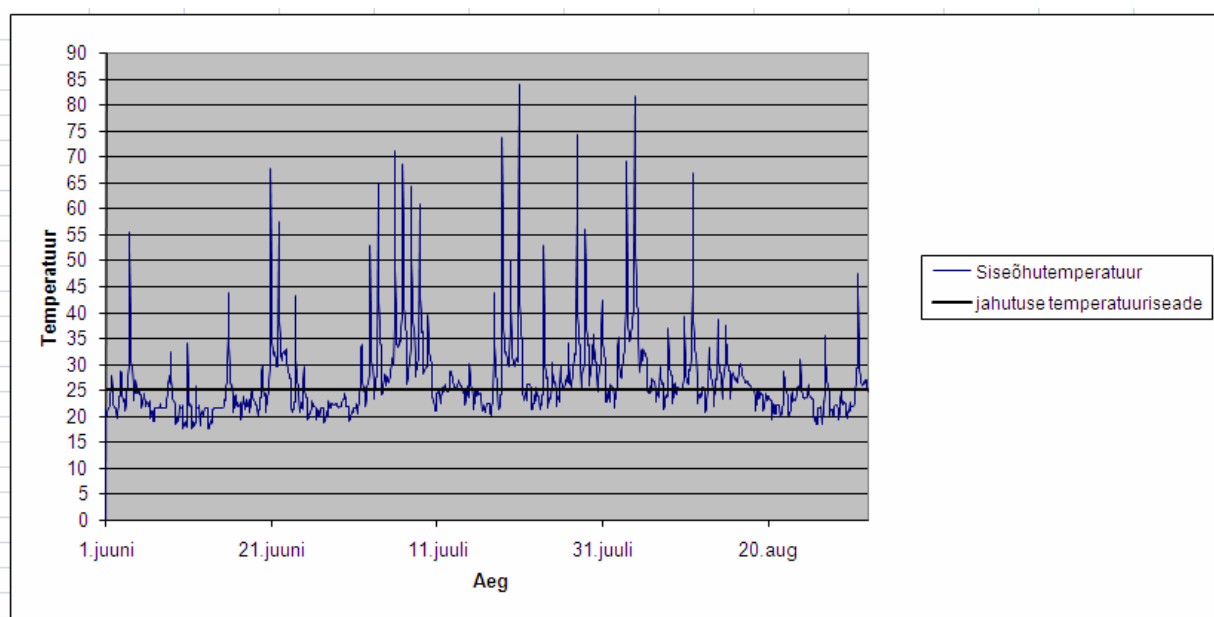
Joonis 6.11 Suvine kohalolekuprofiil

Ruum A

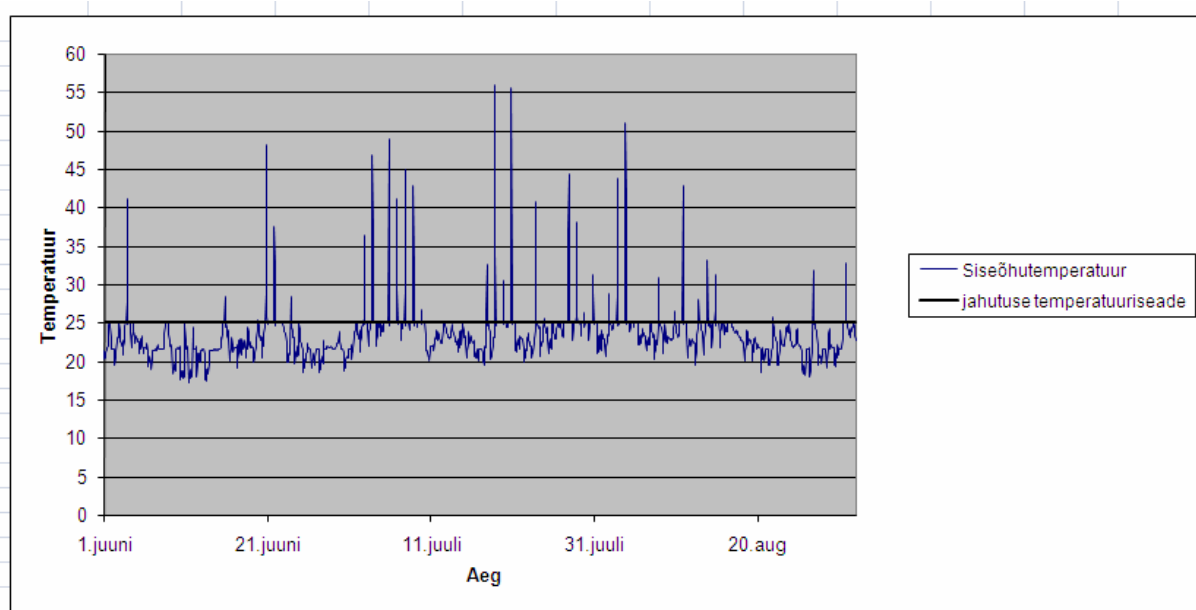
Tulemused on esitatud vastavalt määruses olevale tabelile (Tabel 6.7).

Tabel 6.7 Ruum A suvise ruumitemperatuuri kontrolli tulemuste esitamine

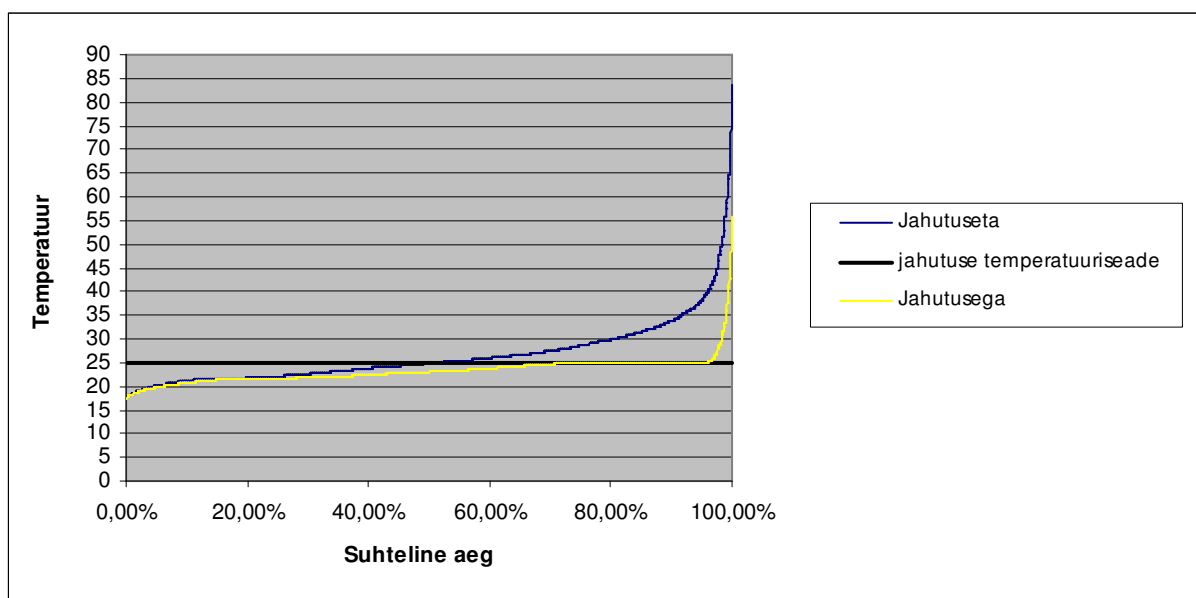
Ruum	A	Mänguruum/magamisruum		
Piirtemperatuur		25 °C		
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		965 °C□h (jahutuseta)	77 °C□h (jahutusega)	
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ²	Valgustus, W/m ²	
7.00–8.00	17,5	6	9	
8.00–10.00	35	12	18	
10.00–12.00	14	4,8	7,2	
12.00–15.00	35	12	18	
15.00–16.00	17,5	6	9	
16.00–18.00	14	4,8	7,2	
17.00–19.00	17,5	6	9	



Joonis 6.12 Ruumi A sisetemperatuur ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutuseta)



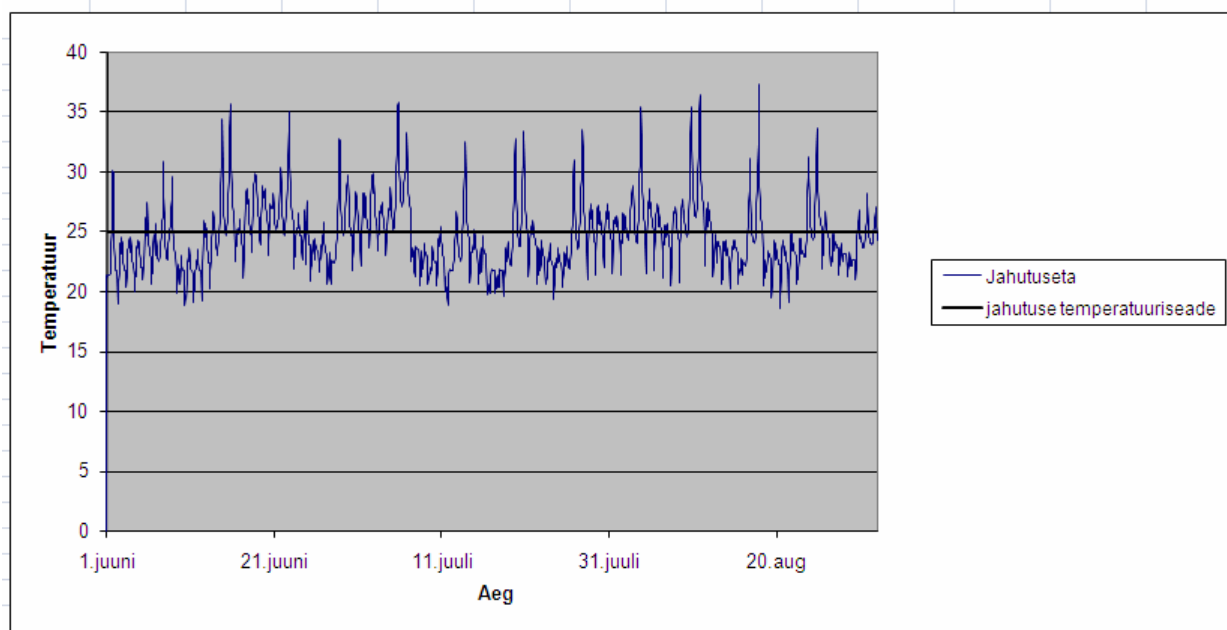
Joonis 6.13 Ruumi A sisetemperatuur ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutusega)



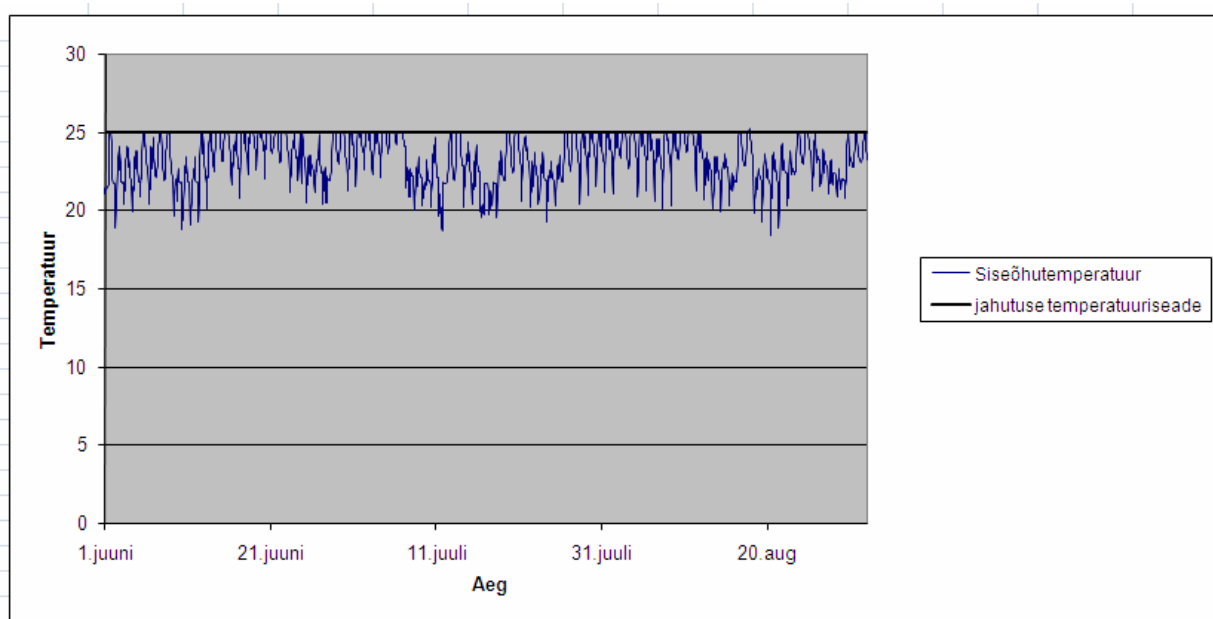
Joonis 6.14 Ruumi A sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06–31.08

Ruumis A teostatud suvise ruumiõhutemperatuuride kontrollimise tulemused (Joonis 6.12, 6.13, 6.14) näitavad, et temperatuur tõuseb rühmaruumis kohati võimatult kõrgele (jahutuseta ruumis isegi üle 80 °C), mis näitab, et kusagil on viga. Erinevate variantide katsetamisel ja vea otsimisel prooviti erinevaid mudeleid; tulemused näitasid, et väga kõrged ruumiõhutemperatuurid mõningate tundide vältel on põhjustatud päikesekiirgusest (välisõhutemperatuur püsis normi piires ja ka sisemiste koormuste puudumisel tõusid ruumiõhutemperatuurid väga kõrgele). Kontrolliti ka väliskliimafaili, selleks teostati simulatsioon Rootsisis asuva Kalmari linna väliskliimafaili põhjal (Joonis 6.15, 6.16, 6.17).

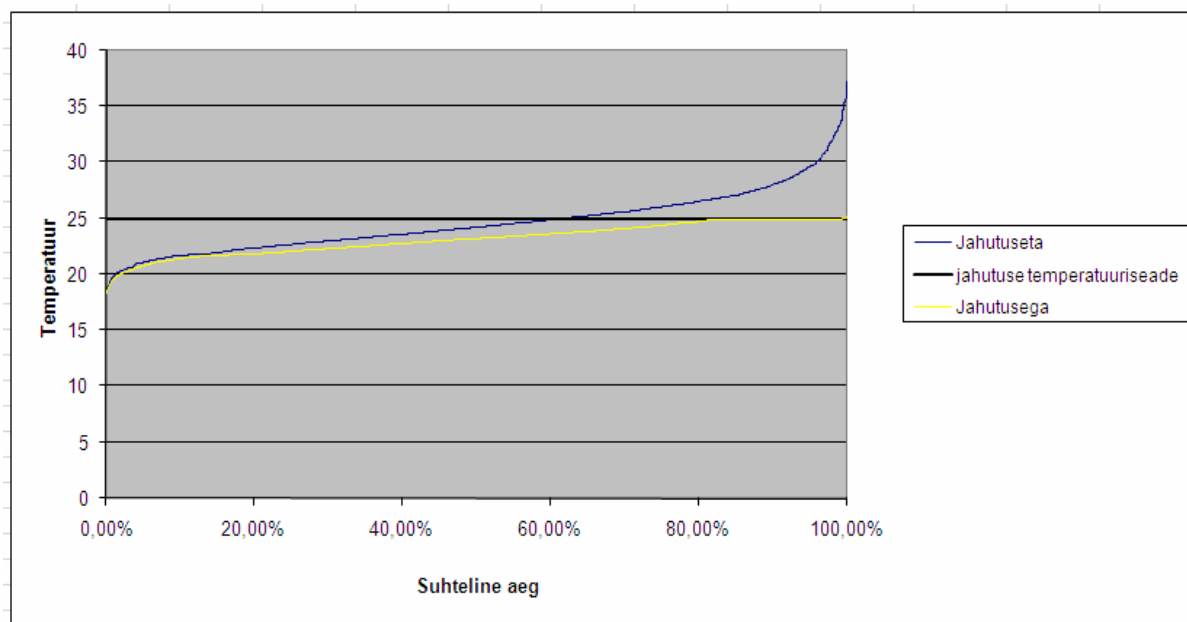
Suviste ruumitemperatuuride nõude seisukohalt on nõue täidetud jahutusega mudelis, kus piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv ajavahemikus 01.06–31.08 on 77 °C·h. Jahutuseta ei ole nõude täitmine antud lähteandmete juures võimalik.



Joonis 6.15 Ruum A rühmaruumi sisetemperatuur ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutuseta) Kalmar, Rootsi



Joonis 6.16 Ruum A rühmaruumi sisetemperatuur ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutusega) Kalmar, Rootsi



Joonis 6.17 Ruum A rühmaruumi sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06–31.08

Kalmar, Rootsi

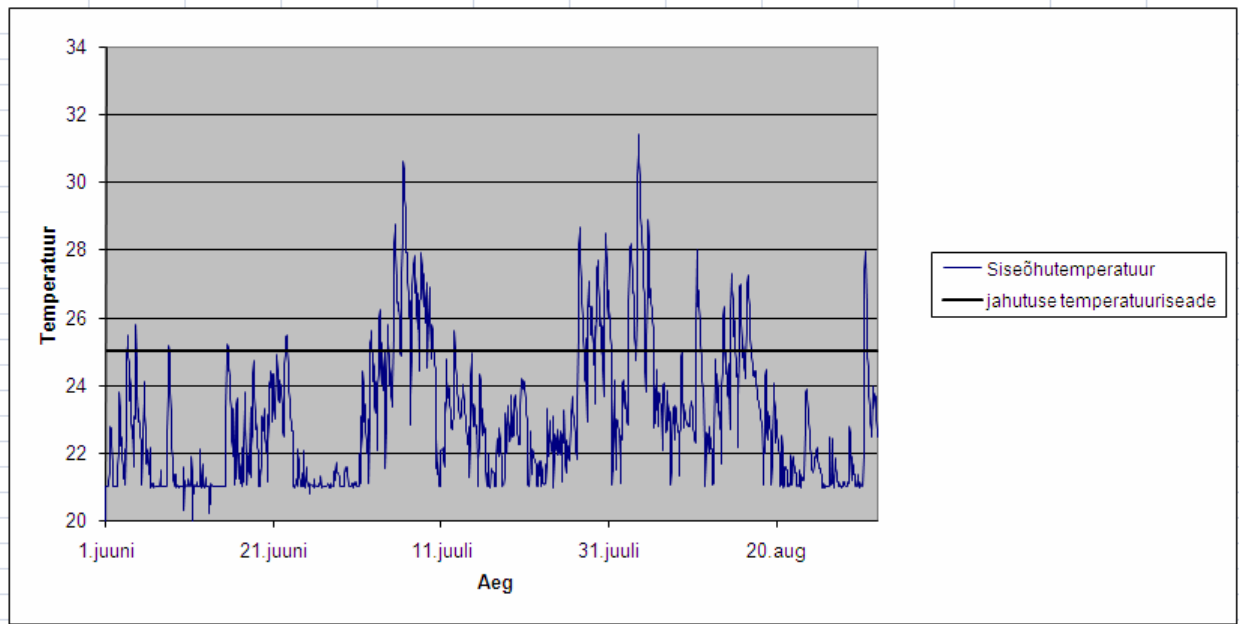
Kalhari linna väliskliimafailiga teostatud simulatsiooni tulemustes jäävad ruumi siseõhutemperatuurid mõistlikule tasemele (Joonis 6.15, 6.16, 6.17). Sellest võib järeldada, et viga võib peituda kasutatud väliskliimafailis. Väliskliimafailis avastatud võimaliku vea vältimiseks ja jahutussüsteemi vajaduse otsustamiseks teostati suviste ruumitemperatuuride kontroll ka teisele lõuna-lääne suunas paiknevale tüüpruumile.

Ruum B

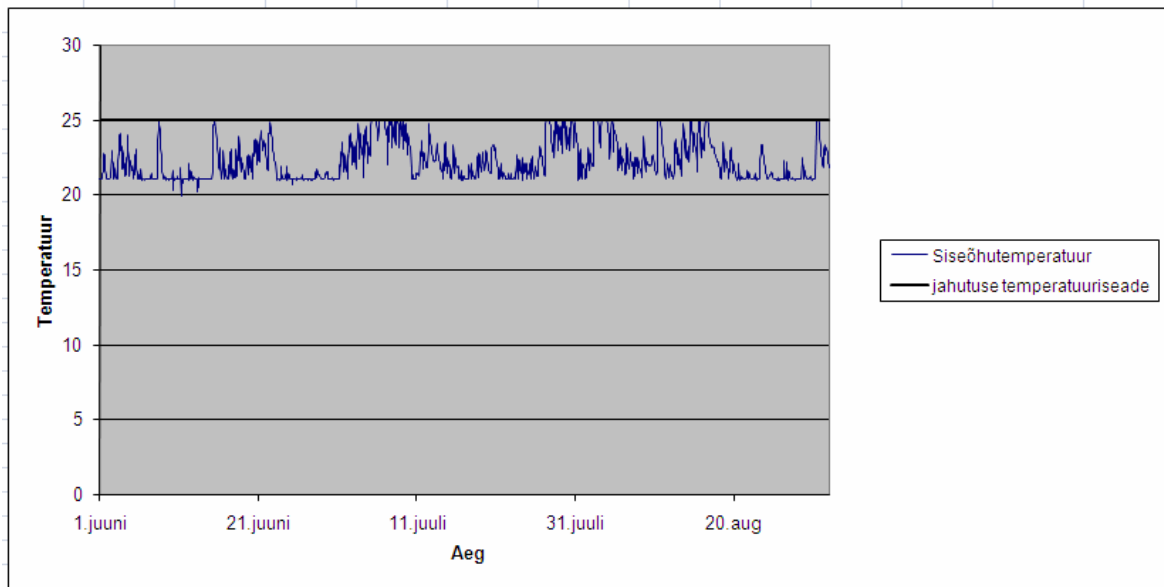
Teine analüüsitud ruum, kus väliskliimafailina on kasutatud Eesti baasaastat *Estonia-TRY*. Tulemused on esitatud vastavalt määruses olevale tabelile (Tabel 6.8):

Tabel 6.8 Ruum B suvise ruumitemperatuuri kontrolli tulemuste esitamine

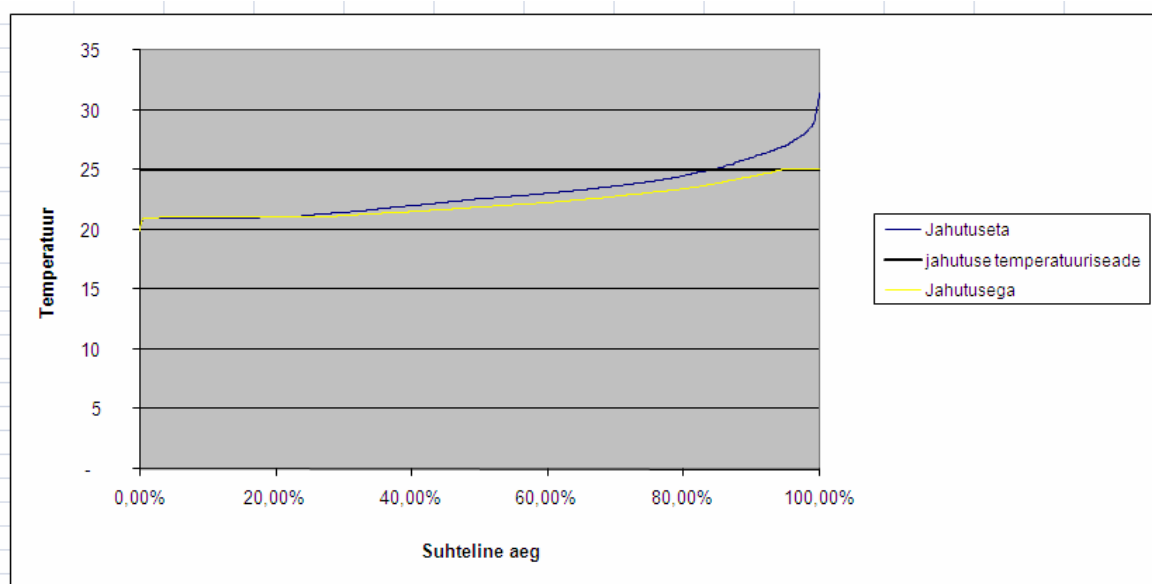
Ruum	B	Mänguruum/magamisruum
Piirtemperatuur		25 °C
Piirtemperatuuri ületavate kraadtundide arv		279 °C□h (jahutuseta) 22 °C□h (jahutusega)
Ajavahemik	Inimesed, W/m ²	Seadmed, W/m ² Valgustus, W/m ²
7.00–8.00	17,5	6 9
8.00–10.00	35	12 18
10.00–12.00	14	4,8 7,2
12.00–15.00	35	12 18
15.00–16.00	17,5	6 9
16.00–18.00	14	4,8 7,2
17.00–19.00	17,5	6 9



Joonis 6.18 Ruum B rühmaruumi sisetemperatuur ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutuseta)



Joonis 6.19 Ruum B rühmaruumi sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06–31.08 (jahutusega)



Joonis 6.20 Ruum B rühmaruumi sisetemperatuuri jaotusfunktsioon ajavahemikul 01.06–31.08

Ruumi B siseõhutemperatuurid jäävad mõistlikele tasemetele (Joonis 6.18, 6.19, 6.20). Sarnaselt ruumile A on suviste ruumitemperatuuride kontroll täidetud jahutussüsteemi olemasolul, ilma jahutuseta nõue ei ole täidetud (nõude täitmiseks ei piisa ka ainult sissepuhkeõhu jahutamisest, mille korral jahutuse temperatuuriseadet ületavate kraadtundide arv on 128 °C·h).

Võimaliku väliskliimafailis esineva vea tõttu on töös suviste ruumitemperatuuride nõude kontrollimisel arvestatud mõlema ruumiga. Jahutussüsteemi olemasolu vajaduse üle otsustamisel on võetud arvesse mõlema ruumi simulatsiooni tulemusi. Tänu suuremale klaaspinnale on ruumi A soojuseraldused suuremad, vea mitte esinemisel ei oleks ruumi B tulemuste arvestamine vajalik.

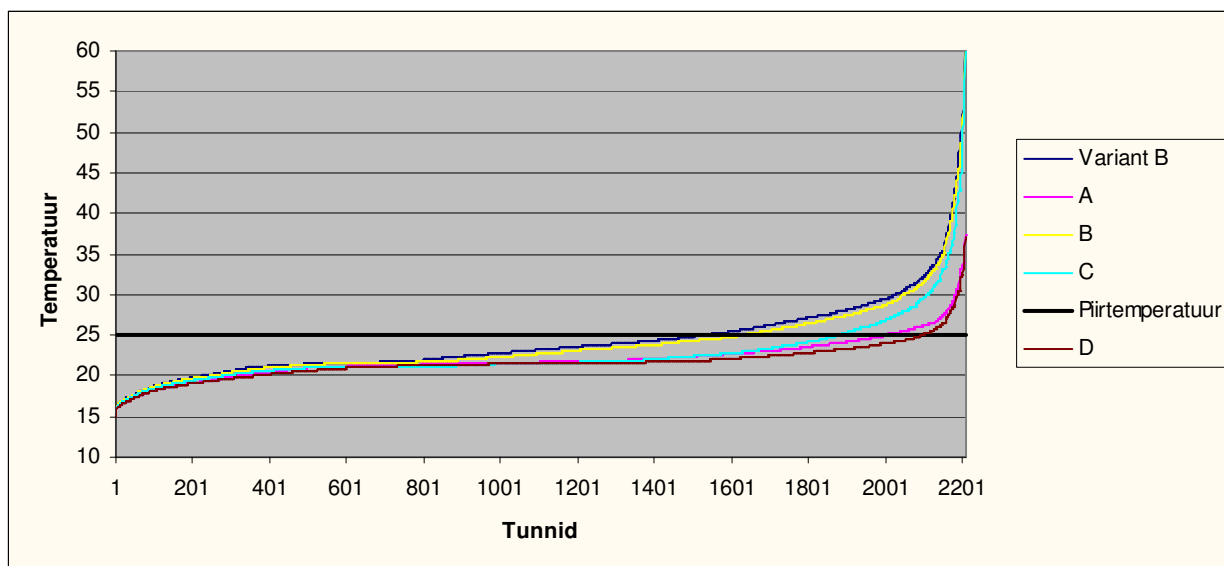
Täiendavalt on analüüsitud ruumi A erinevates olukordades (Joonis 6.21):

A-klaaspindadele on lisatud väline varikatust

B-kasutatud on sissepuhkeõhu jahutamist (ventilatsioon töövälisel ajal ei toimi)

C-kasutatud on lisaks ventilatsiooniõhujahutamisele ka jahutuskonvektoreid (ventilatsioon ja jahutus töövälisel ajal ei toimi)

D-kasutatud on sissepuhkeõhu jahutamist ja välist varikatust



Joonis 6.21 Ruum A erinevate lahenduste korral

Ka siin tõusevad ruumiõhu temperatuurid võimatult kõrgele, temperatuurid jäävad talutavale tasemele vaid olukordades kus on kasutatud välist varikatust.

Erinevate lahenduste võrdlusest on näha, et parima tulemuse kindlustab olukord D, kus on kasutatud varikatust ja sissepuhkeõhu jahutamist, selline lahendus osutub ka ainsaks lahenduseks kus suviste ruumitemperatuuride nõue on täidetud (piirtemperatuuri ületatakse 95°C·h jooksul). Olukord A kus kasutatakse vaid varikatust ületatakse piirtemperatuuri 206 °C·h jooksul. Olukord B ja C, kus on kasutatud jahutust ei ole samuti tagatud suviste ruumitemperatuuride nõua (olukorras B ületatakse piirtemperatuuri 579 °C·h jooksul ja olukorras C 322 °C·h jooksul). Tulemustest võib järeldada, et lasteaia puhul, kus klaaspinnad on suured võib suviste ruumitemperatuuri nõude täitmine kujuneda päris keeruliseks. Eelmises peatükis toodud energiaarvutuste juures on igal variandil teostatud suviste ruumitemperatuuride kontroll ja nõude täitmiseks on kasutatud jahutussüsteemi.

6.1 Kokkuvõtte koolimaja analüüsi kohta

Käesolevas osas uuriti lasteaedade energiatõhususe miinimumnõudeid Liivaku lasteaia näitel. Tööd läbivaks probleemseks punktiks osutusid nõuded suviste ruumitemperatuuridele. Lasteaiad on suvel avatud, kuid märksa väiksema koormusega ja lühiajaliselt ka suletud (olenevalt lasteaia ja piirkonnast, kuid põhjalikult uuritud Liivaku lasteaed on suviti suletud umbes neli nädalat). Vastavalt energiatõhususe miinimumnõuete määruuses toodud sisemiste koormuste ja kasutusprofiilide korral osutub suviste ruumitemperatuuride nõude täitmine ilma jahutussüsteemita praktiliselt võimatuks. Määruses on küll märgitud, et energiaarvutuses tuleb jahutuseks kuluva elektrienergiatarbega arvestada, kuid jahutussüsteemi väljaehitamine ei ole kohustuslik. Antud olukord tekitab liialt segadust nii projekteerijale kui ka tellijale. Olukorras, kus miinimumnõuete kontrollimisel leitud kaalutud energiatõhususarvu alusel määratakse hoone energiaklass, on jahutussüsteemi puudumisel oluline erinevus tegelikult tarbitava ja märgisel toodud arvutatud energiakulu vahel. Segaduste vältimiseks oleks mõistlik korrigeerida kehtestatud piirmäärasid ja üle vaadata suviste ruumitemperatuuride nõuded.

Tegelike kasutusprofiilide ja määruuses toodud kasutusprofiilide vahel on suured erinevused. Talveperioodil langevad inimeste kohalolekuprofiilid ja seadmete kasutusprofiilid enam-vähem tegeliku olukorraga kokku, suur erinevus on aga valgustuses. Tegelikuses kasutatakse lasteaedades valgustust nii minimaalselt kui võimalik, suured klaaspinnad võimaldavad loomuliku valgustusega hakkama saada. Määruses on toodud ühine kasutus- ja kohalolekuprofiil nii inimestele, seadmetele kui ka valgustusele. Lahenduseks oleks kehtestada valgustusele eraldi kasutusprofiil sarnaselt elamutega. Lasteaedade kasutus- ja kohalolekuprofiilid ei ole aastaringelt ühtlased, suveperioodil on kasutusaste märksa madalam

ja vähesed lapsed, kes suvel lasteaias on, viibivad maksimaalselt palju aega väljas. Soojuseraldused valgustuse ja elektriliste seadmete osas vastavad enam-vähem tegelikkusele (valgustuse osakaal oli Liivaku lasteaias väiksem, seadmete osakaal kõõgi ja pesuruumi seadmete sissearvestamise tõttu jällegi suurem). Täpsete arvude leidmiseks tuleks analüüsida veel mõnda lasteaeda.

Määruses kasutatav sooja vee tarbimine 460 l/m^2 aastas on ligi 1,5 korda suurem antud hoones tegelikult tarbitavast sooja tarbevee kogusest.

Energiamärgisel on kokku üheksa erineva otstarbega hoone jaoks loodud klassi, miinimumnõuetes on vaid kuus erineva otstarbega klassi, üsna mõistlik oleks, kui klasside arv ühtiks.

Analüüsides erinevaid variante erinevate primaarenergia saamise liikide poolest ja lähtudes määruses toodud piirmääradest, on näha, et nõuete rakendamine ei ole üldiselt problemaatiline. Probleeme võib tekitada vaid täielikult elektriküttel olev lasteaed, kuid praeguste elektrihindade juures ei oleks täielikult elektriküttel olev lasteaed mõeldav. Uuritud variantidest sobiksid enim uut hoonet iseloomustama variandid C ja D, P ei ole kõige sobivam, kuna nõu passiivmaja lahendus on eriline ja mitte igapäevane. Oluliselt rekonstrueeritavat hoonet sobib iseloomustama variant A.

Kokkuvõtvalt saaks parima tulemuse, kui korrigeerida kasutusprofiile (eelkõige just valgustuse oma), üle vaadata suvised sisemised koormused, korrigeerida vee tarbimist ja luua lasteaedadele eraldi hoonetüüp ning koos sellega kehtestada ka miinimumnõuete maksimaalse energiatarbimise piirmäär, mis oleks praegu avalikele hoonetele kehtivast määrast rangem.

7 Energiatõhususe miinimumnõuetele vastavuse tõendamise lihtsustatud meetodi arvutused väikeelamutele

7.1.1 Taust

Vastavalt uurimistöö „Määruse „Energiatõhususe miinimumnõuded“ täiendav analüüs” 20.03.09 toimunud koosolekul otsustatule on väikemajade energiatõhususe miinimumnõuete tõendamise meetod väljatöötatud välispiirete vajaliku summaarse soojaerikao järgi kõetava pinna ruutmeetri kohta.

Välispiirete summaarne soojaerikadu kõetava pinna ruutmeetri kohta, $W/(m^2K)$, on hoone soojakadu läbi välispiirete, kui temperatuuride erinevus hoone sees ja väljas on üks kraad arvestatuna kõetava pinna ühe ruutmeetri kohta. Soojaerikadu moodustub summaarselt kõikidest:

- välispiirete soojajuhtivuskadudest,
- külmasildade soojajuhtivuskadudest,
- välispiirete ebatihedustest (infiltratsioonist), tulenevatest soojakadudest.

7.1.2 Arvutused

Arvutused on tehtud:

- nelja väikeelamu kohta:
 - A: 1-korruseline, suletud netop.: $128m^2$, mg.tubade arv: 3, $A_{piirded}/A_{neto}=3,2$,
 - B: 1-korruseline, suletud netop.: $164m^2$, mg.tubade arv: 3, $A_{piirded}/A_{neto}=3,4$,
 - C: 1-korruseline, suletud netop.: $111m^2$, mg.tubade arv: 2, $A_{piirded}/A_{neto}=3,1$,
 - D: 2-korruseline, suletud netop.: $145m^2$, mg.tubade arv: 4, $A_{piirded}/A_{neto}=2,3$;
- viie erineva kütte ja sooja tarbevee süsteemi peamise energiaallika korral:
 - maasoojuspump,
 - õhk-vesi soojuspump,
 - puidupelleti katel,
 - kaugküte,
 - õli- või gaaskütusel kondensaatkatel;
- kahe erineva elektrienergia kaalumisteguriga:
 - 2,0,
 - 1,5.

Ventilatsioonisüsteemi elektriline erivõimsus on $<2 W/(l/s)$ ja soojusvaheti temperatuuri suhtarv on 0,8. Hooned on arvutatud kõetavana põrandaküttega. Elektrienergia kaalumisteguriga

7.1.3 Tulemused

Vajalik välispiirete summaarne soojaerikadu

Energiaarvutuste tulemusena leiti iga hoone iga energiaallika ja elektrienergia kaalumisteguri kombinatsiooni kohta energiatõhususarvu $180 kWh/(a \cdot m^2)$ tagav välispiirete summaarne soojaerikadu. Tulemused on esitatud tabelis 1.

Tabel 1 Vajalik välispiirete summaarne soojaerikadu, elektri kaalumisteguri 2,0 korral, mis tagaks energiatõhususarvu 180 kWh/(m²a) (arvutustulemused on ümardatud väikseima 0,05-ni)

Kütte ja sooja tarbevee süsteemi peamine energiaallikas	1-k. eramu A	1-k. eramu B	1-k. eramu C	2-k. eramu D
Maasoojuspump	2,0	1,95	1,95	1,85
Õhk-vesi soojuspump	1,75	1,7	1,75	1,60
Puidupelleti katel	1,30	1,25	1,30	1,20
Kaugküte	1,25	1,20	1,25	1,20
Õli- või gaaskütusel kondensaatkatel	1,0	1,0	1,0	0,90

Tabel 2 Vajalik minimaalne välispiirete summaarne soojaerikadu erinevate elektri kaalumistegurite korral, mis tagaks energiatõhususarvu 180 kWh/(m²a) (arvutustulemused on ümardatud väikseima 0,1-ni)

Kütte ja sooja tarbevee süsteemi peamine energiaallikas	Elektrienergia kaalumistegur 2,0	Elektrienergia kaalumistegur 1,5
Maasoojuspump	1,8	2,4
Õhk-vesi soojuspump	1,6	2,1
Puidupelleti katel	1,2	1,3
Kaugküte	1,2	1,3
Õli- või gaaskütusel kondensaatkatel	0,9	1,0

Kuigi lihtsustatud meetodil saab väikemajade energiatõhususe miinimumnõuete täidetust tõendada vaid kindlatel eeldustel:

- viis erinevat kütte- ja sooja tarbevee energiaallikat
- ventilatsioonisüsteemi elektriline erivõimsust peab olema <2 W/(l/s)
- soojusvaheti temperatuuri suhtarv peab olema ≥0,8,

ei takista see mingil moel teiste kütte- ja ventilatsioonilahenduste kasutamist. Teiste kütte- ja ventilatsioonilahenduste korral tuleb energiaarvutus tõendada tavaarvutuse teel. Seejuures ei eelda määrus väikemajade juures dünaamilise simulatsiooni kohustuslikkust, sest elamute energiaarvutuse võib sooritada ka lihtsustatud, kuude kaupa või kraadpäevade järgi arvutava tarkvaraga.

Välispiirete summaarset soojaerikadu tagavad välispiirete omadused

Välispiirete summaarset soojaerikadu mõjutavad:

- välispiirete soojajuhtivus,
- külmasildade lisakonduktantsid,
- hoone õhulekkearv.

Tabelites 3 ja 4 on toodud näiteid välispiirete omaduste ja kombinatsioonide kohta, mis tagavad energiatõhususarvu täidetuse erinevate küttesüsteemide korral. Arvutus on tehtud eramule, mis nõudis kõige väiksemat soojaerikadu. Ventilatsioonisüsteemi elektriline erivõimsus <2 W/(l/s) ja soojusvaheti temperatuuri suhtarv 0,8. Külmasildade geomeetriliste joonkülmasildade lisakonduktantside suurustena on kasutatud määruse lisas 10 suurusi, milliseid on suurendatud 1,25 korda.

Tabel 3 Välispiirete omadused, mis tagaks vajaliku välispiirete summaarse soojaerikao

Õhulekkearv q_{50} , $m^3/(h \cdot m^2)$	Elektri kaalumistegur 2,0				Elektri kaalumistegur 1,5			
	0,6	3	6	9	0,6	3	6	9
Maasoojuspump								
$U_{Välissein}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,80	0,70	0,70	0,60	1	1	1	0,8
U_{Katus} , $W/(m^2 \cdot K)$	0,60	0,55	0,50	0,50	0,6	0,52	0,43	0,6
$U_{Põrand}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,60	0,60	0,55	0,55	0,77	0,7	0,6	0,62
U_{Aken} , $W/(m^2 \cdot K)$	1,2	1,2	1,2	1,2	2,7	2,7	2,7	2,7
Õhk-vesi soojuspump								
$U_{Välissein}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,70	0,70	0,60	0,50	0,8	0,8	0,75	0,65
U_{Katus} , $W/(m^2 \cdot K)$	0,50	0,40	0,40	0,40	0,6	0,5	0,44	0,45
$U_{Põrand}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,50	0,45	0,45	0,45	0,6	0,53	0,5	0,5
U_{Aken} , $W/(m^2 \cdot K)$	1,2	1,2	1,2	1,2	2,7	2,7	2,7	2,7
Puidupelletikatel								
$U_{Välissein}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,45	0,40	0,36	0,30	0,5	0,45	0,4	0,35
U_{Katus} , $W/(m^2 \cdot K)$	0,35	0,32	0,26	0,20	0,4	0,35	0,3	0,25
$U_{Põrand}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,40	0,35	0,30	0,25	0,4	0,4	0,35	0,3
U_{Aken} , $W/(m^2 \cdot K)$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Kaugküte								
$U_{Välissein}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,45	0,40	0,36	0,30	0,5	0,45	0,4	0,35
U_{Katus} , $W/(m^2 \cdot K)$	0,35	0,32	0,26	0,20	0,4	0,35	0,3	0,25
$U_{Põrand}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,40	0,35	0,30	0,25	0,4	0,4	0,35	0,3
U_{Aken} , $W/(m^2 \cdot K)$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Kondensaatkatel								
$U_{Välissein}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,30	0,28	0,20	0,15	0,35	0,3	0,25	0,2
U_{Katus} , $W/(m^2 \cdot K)$	0,22	0,18	0,15	0,12	0,24	0,2	0,16	0,13
$U_{Põrand}$, $W/(m^2 \cdot K)$	0,25	0,18	0,16	0,13	0,28	0,25	0,2	0,14
U_{Aken} , $W/(m^2 \cdot K)$	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Nagu tabelist näha võib soojuspumpade korral piirete soojajuhtivus olla kaunis suur. Välispiirete suur soojajuhtivus suureneb veelgi elektri kaalumisteguri 1,5 korral: näiteks maasoojuspumba korral on vajalik välisseinte soojajuhtivus $1,0 W/(m^2 \cdot K)$ sama, mis nõukogudeaegsetel korterelamutel.

Motivatsioon piirete väiksemate soojajuhtivuste kasutamiseks võib tulla parema energiaklassi saavutamise võimalusest. Väikeelamutel saab ju energiatõhusus miinimumnõuete täitmisel vaid energiamärgise klassi D.

Elektri kaalumistegur 2,0 nõuab hoone välispiiretelt suuremat soojapidavust. Seetõttu on elamute näitel elektrienergia kaalumistegur 2,0 soovitatav. Kui büroodel oli olemasoleva energiatõhususarvu saavutamine probleemne, tuleks analüüsida, milline on optimaalne energiatõhususarvu elektri kaalumisteguri 2,0 juures. Muidugi võib muuta ka elamute energiatõhususarvu. Võimalusi on mitmeid.

8 Märkused ja muudatusettepanekud määruse kohta

Määruses esitatud arvutusmeetod on hoonete energiatõhususe hindamiseks sobiv, piisavalt põhjalik ja ehituskvaliteeti parandav. Siiski on mõned märkused, mida võiks arvestada võimaliku määruse uuendamise korral.

Tuleks ära mainida, et hetkel on laialdaselt arenev temaatika individuaalne soojuskulu mõõtmine. Seejuures tuleks esialgsel hinnangul kasutada soojuse arvestuse 70%-list baastaset ning ülejäänud sõltuks korterite tarbimisest soojusarvesti näitude alusel. Samuti on lubamatu üksiku korteri lahtiühendamine tsentraalsest küttesüsteemist.

Uurimistöö käigus tekkinud ettepanekud määruse korrektuuriks on toodud tabelis 8.1.

Tuleb täheldada, et vahearuande valmimisel tehtud muudatusettepanekud on suures osas määruse viimases redaktsioonis arvesse võetud.

Tabel 8.1 Parandusettepanekud energiatõhususe miinimumnõuete määrusele

Koht	On määruses praegu	Ettepanek muudatuseks	Märkus, kommentaar
§ 3 (3)	Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: 2) korterelamutes 200 kWh aastas ruutmeetri kohta;	Oluliselt rekonstrueeritava hoone energiatõhususarv ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: 2) korterelamutes 230 kWh aastas ruutmeetri kohta;	Korterelamud oluliselt renoveeritavad 200 kWh/m ² a on raskesti saavutatav – meh. sundventilatsioon soojustagastiga. Reaalsed numbrid 220-240 kWh/m ² a. Võiks pilootprojektiga uusi ventilatsiooni lahendusi välja töötada.
§ 3 (5)	Energiakandjate kaalumistegurid on järgmised: 1) taastuvtoormel põhinevad kütused (puit ja puidupõhised kütused ning muud biokütused, v.a turvas ja turbabrikett) 0,75; 2) kaugküte 0,9; 3) vedelkütused (kütteõlid ja vedelgaas) 1,0; 4) maagaas 1,0; 5) tahked fossiilkütused (kivisüsi jms) 1,0; 6) turvas ja turbabrikett 1,0; 7) elekter 1,5 .		Kaalumistegurite revideerimist võib kaaluda lähitulevikus. Hetkel loob kaalumisteguri 1,5 kasutamine suure eelise soojuspumpade kasutamisel.
§ 8 (3)	Suvised ruumitemperatuuri kontroll tehakse ruumitüüpidele, kus on kõige rohkem vabasoojust (eeldatavalt hoone lõuna- või läänepool asuvatele või suurte klaaspindadega ruumidele) või kus on ette näha kasutajate pidevat kohalolekut.	Suvised ruumitemperatuuri kontroll tehakse ruumitüüpidele, kus on kõige rohkem vabasoojust (eeldatavalt hoone lõuna- või läänepool asuvatele suurte klaaspindadega ruumidele) või kus on ette näha kasutajate pidevat kohalolekut.	Lõuna- või läänepool asuvad suurte klaaspindadega ruumid on eeldatavalt suvel liiga soojad.
§ 25 (2)	1) ristivoolu plaatsoojusvahetitele 0,6; 2) vastuvoolu plaatsoojusvahetitele 0,8 ; 3) rootorsoojusvahetitele 0,8 .	1) ristivoolu plaatsoojusvahetitele 0,6; 2) vastuvoolu plaatsoojusvahetitele 0,7 ; 3) rootorsoojusvahetitele 0,7 .	Soojustagastite temperatuuri suhtarve tuleks edaspidi korrigeerida. Praeguse kogemuse kohaselt ebareaalselt suured.

Koht	On määruses praegu	Ettepanek muudatuseks	Märkus, kommentaar
§ 37 (2)	Hoone välispiirete summaarne soojaerikadu köetava pinna ruutmeetri kohta ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: 1) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on maasoojuspump – 1,8 W/(m²·K) ; 2) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on õhk-vesi soojuspump – 1,6 W/(m²·K) ; 3) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on puidupelletikütusel katel – 1,2 W/(m²·K) ; 4) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on kaugküte – 1,2 W/(m²·K) ; 5) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on õli- ja gaaskütusel kondensaatkatel – 0,9 W/(m²·K)	Hoone välispiirete summaarne soojaerikadu köetava pinna ruutmeetri kohta ei tohi ületada järgmisi piirväärtusi: 1) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on maasoojuspump – 2,4 W/(m²·K) ; 2) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on õhk-vesi soojuspump – 2,1 W/(m²·K) ; 3) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on puidupelletikütusel katel – 1,3 W/(m²·K) ; 4) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on kaugküte – 1,3 W/(m²·K) ; 5) juhul, kui hoone küttesüsteemi ja sooja tarbevee süsteemi peamiseks energiaallikaks on õli- ja gaaskütusel kondensaatkatel – 1,0 W/(m²·K)	Muudatused tekkisid kaalumisteguri ebatäpsel kasutamisel (elektri puhul kasutati vatem kaalumistegurit 2,0 kuid määruses on hetkel kehtiv 1,5).
Lisa 2	Avalikud hooned, büroo- ja administratiivhooned, ärihooned ja transpordihooned. Jahutuse seade: 25 °C	Avalikud hooned, büroo- ja administratiivhooned, ärihooned ja transpordihooned. Jahutuse seade: 25 °C Lasteaiad: 27 °C	Alajaotusena pakume välja tuua lasteaedade jahutuse seadeparametri tõstmist. 25 °C temperatuuriseade juures tuleks kasutada mehaanilist jahutust, mis ei ole majanduslikult mõeldav. Lisaks on lasteaedades rühmaruumide aknad avatavad.
Lisa 3	Ventilatsiooni õhuhulgad	Ventilatsiooni õhuvooluhulgad	Kirja korrektuur
Lisa 4			Tuleb kaaluda elamute energiaarvutuse ventilatsiooni õhuvooluhulga 0,42 l/(s m ²) muutmist või kasutusprofiilide muutmist. Muutes ventilatsioonisüsteemide arvutuslikke suurusid, muutuvad ka energiatõhususarvud, viimast tuleb arvesse võtta edaspidiste muudatuste tegemisel
Lisa 5	Hoonete tüüpiliste ruumide standardkasutus ja sellele vastavad vabasoojused	Hoonete tüüpiliste ruumide standardkasutus ja sellele vastavad vabasoojused	Kuna tehnilistes näitajates esitatakse netopind, võiks id vanasoojused olla selle alusel.

Koht	On määruses praegu	Ettepanek muudatuseks	Märkus, kommentaar
	ruumi põrandapinna ruutmeetri kohta	ruumi netopinna ruutmeetri kohta	Erinevus netopinna ja põrandapinna vahel tulevad esile kaldkatuse ja trapi aluse ruumi osas, kus netopinna hulka ei arvestata ruumi madalamat osa, kui 1,6meetrit. Selle madalama osa kohta vabasoojusi ei arvestata.

Korterelamutes energiasäästu saavutamiseks võiks kasutada „Eesti eluasemefondi suurpaneel-korterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“ toodud soovitusi.