



TÜ Energiatõhusa ehituse tuumiklabori võimalustest projekteerijate toetamisel

Jaanus Hallik | TÜ Energiatõhusa ehituse tuumiklabor

Jaanus.hallik@ut.ee

Tel: 7374842

Hoone asukohavalik ja orientatsioon

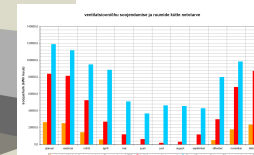
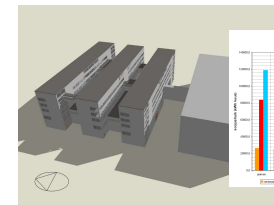
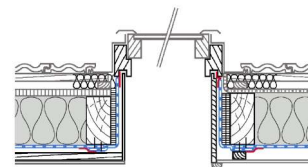
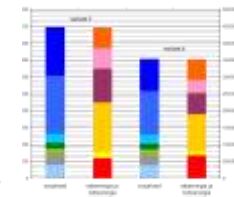
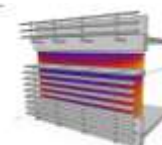
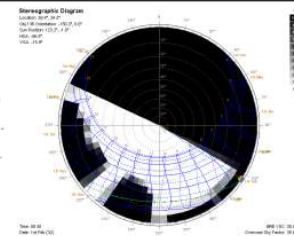
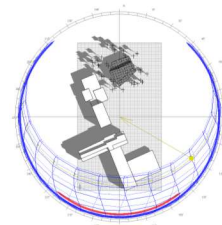
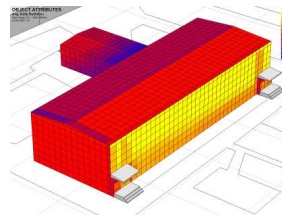
Eskiisprojekt

Tööprojekt

Ehitustööde planeerimine

Järelvalve

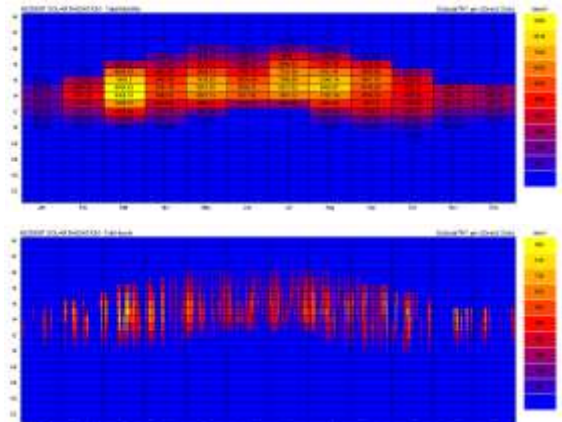
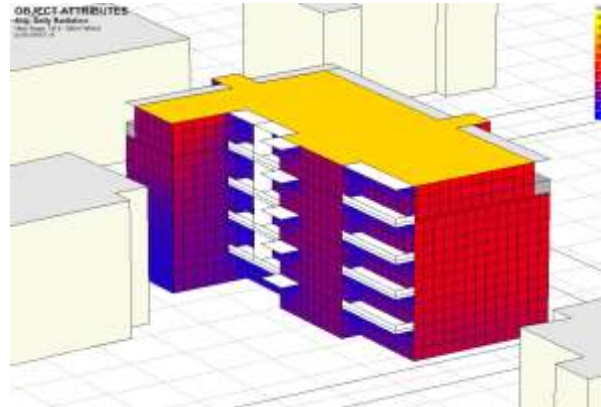
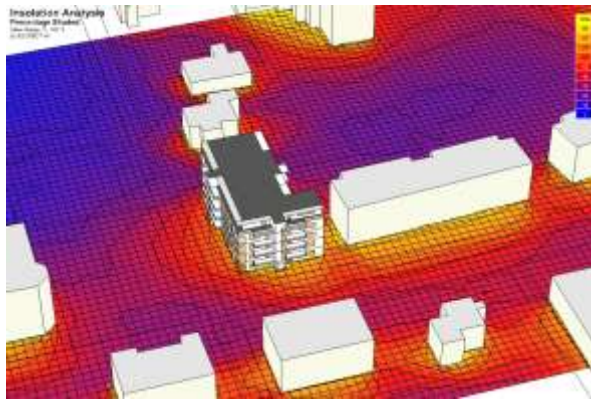
projekti staadium



EETL – TÜ Energiatõhusa ehituse tuumiklabor.

- Labori ülesandeks on hoonetes energiakasutuse tõhustamist toetavate innovatiivsete teenuste arendamine ja pakkumine.
- Labori tegevusaladeks on:
 - dünaamilise simulatsiooni meetodite rakendamine hoonete energiakasutuse tõhustamiseks planeerimisfaasis;
 - Päevavalguse tasemete simulatsioon ja optimeerimine;
 - Päikeseenergia soojuslike seadmete optimeerimine;
 - Ehituslike sõlmlahenduste külmasildade soojusjuhtivuse staatilised ja dünaamilised arvutused;
 - Hoone ehitusfüüsikaliste mõõtmiste teostamine (BD ja IR);
 - (uute materjalide, toodete ja teenuste arendamine).

1. Päikesekiirguse hulkade analüüs



- Päikese otse- ja hajukiirguse jaotumise visualiseerimine,
- Päikese otse- ja hajuskiirguse hulkade analüüs maapinnal, fassaadil erinevatel ajaperioodidel
 - Päikesepaneelide asukohavalik.
 - Päikesekaitsetahenduste mõju analüüs.



Näide 2. Kortermaja Viinis

- Uuringu sisu: Dynamic calculation of solar incident radiation levels on PV and building surfaces for project SUNpowerCity (Vienna, AT)
- Uuringu eesmärgiks oli arvutada ühel konkreetsel krundil Viinis (Austrias) **summaarse päikesekiirguse** (otsekiirgus + hajuskiirgus) **hulgad** hüpoteetilise hoone akende ja päikesepaneelide pindadel erinevate arhitektuursete lahenduste (ja hoone erineva orientatsiooni) lõikes.
- Tellija: Austria arhitektibüroo (POS architekten).

Kliimafailide eelanalüüs

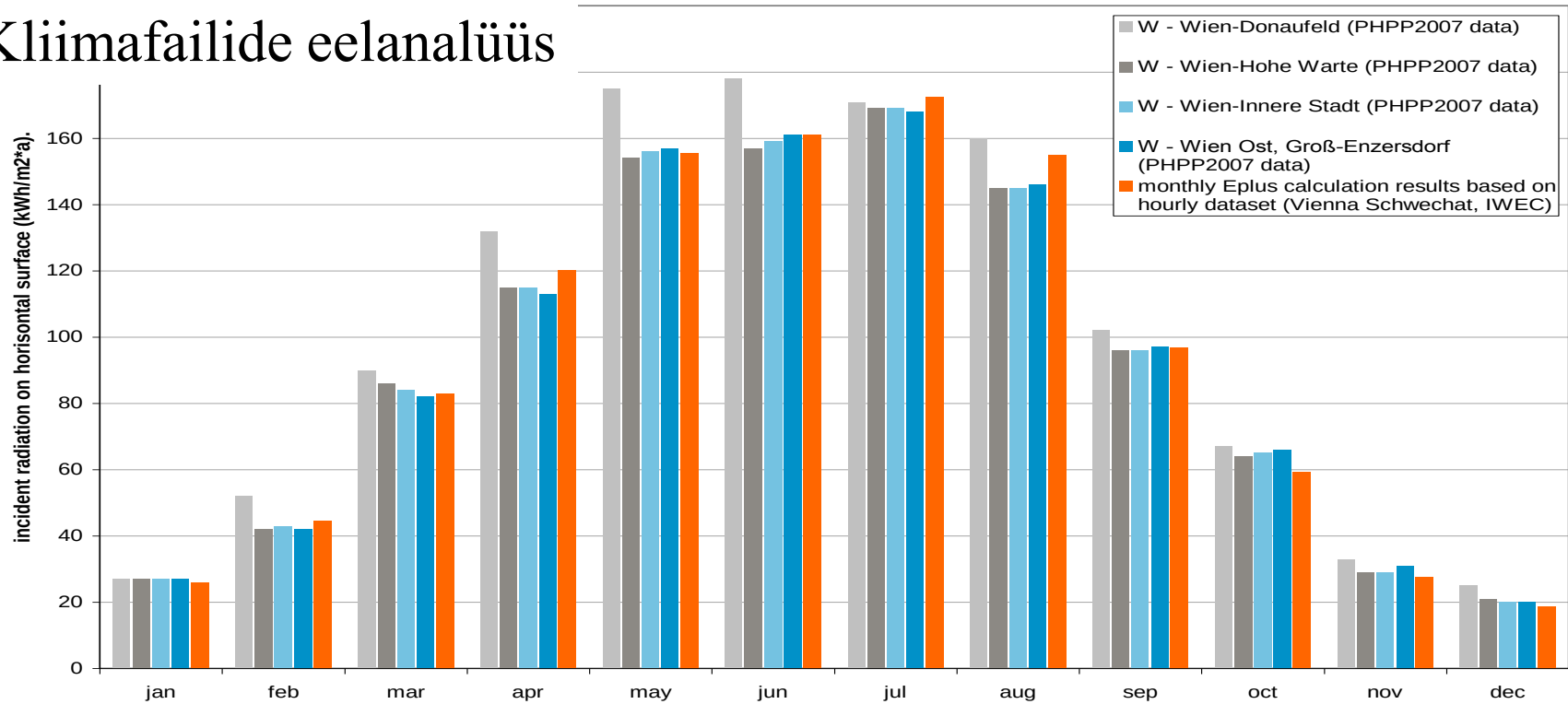
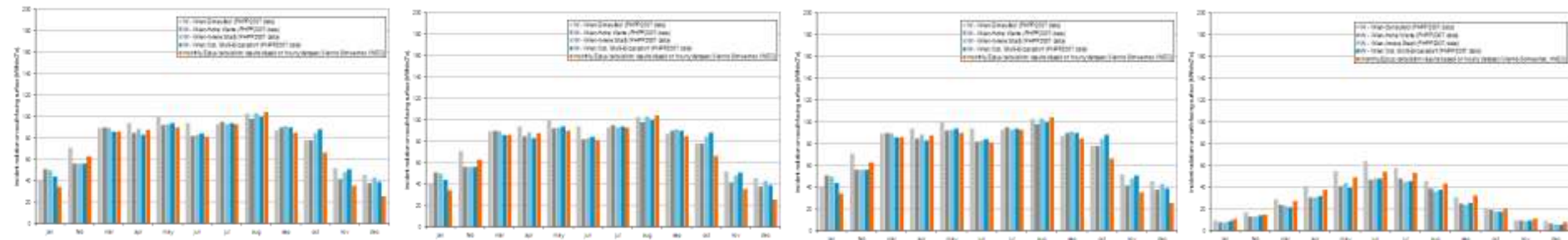
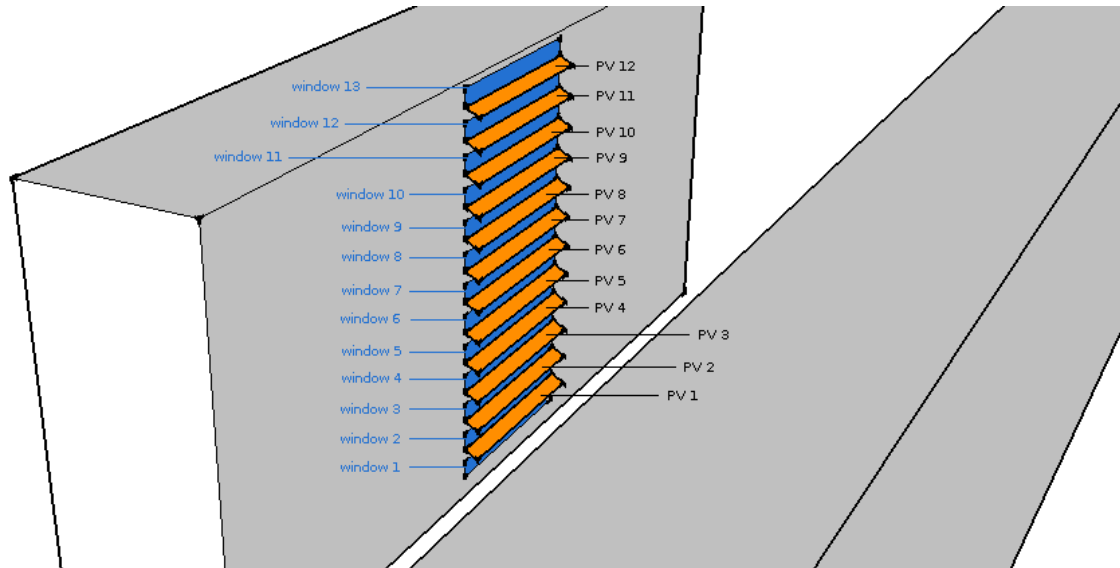


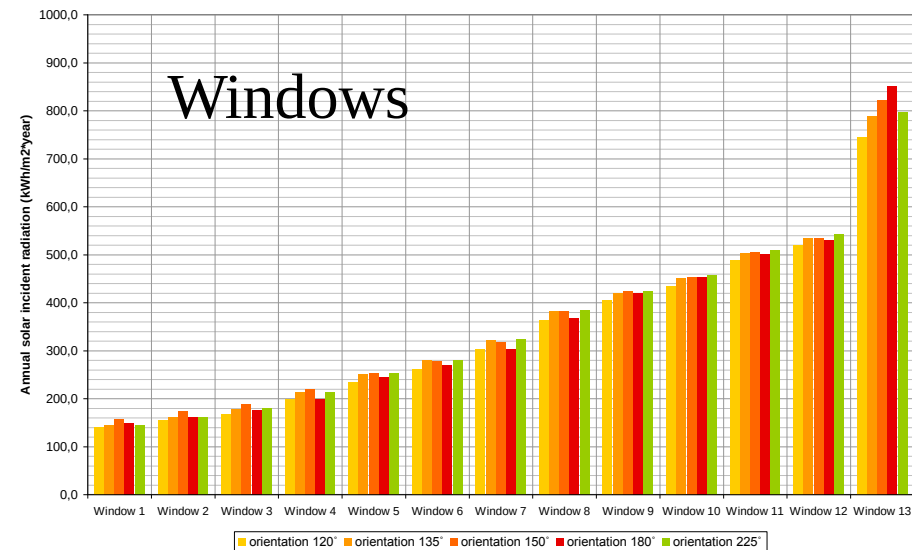
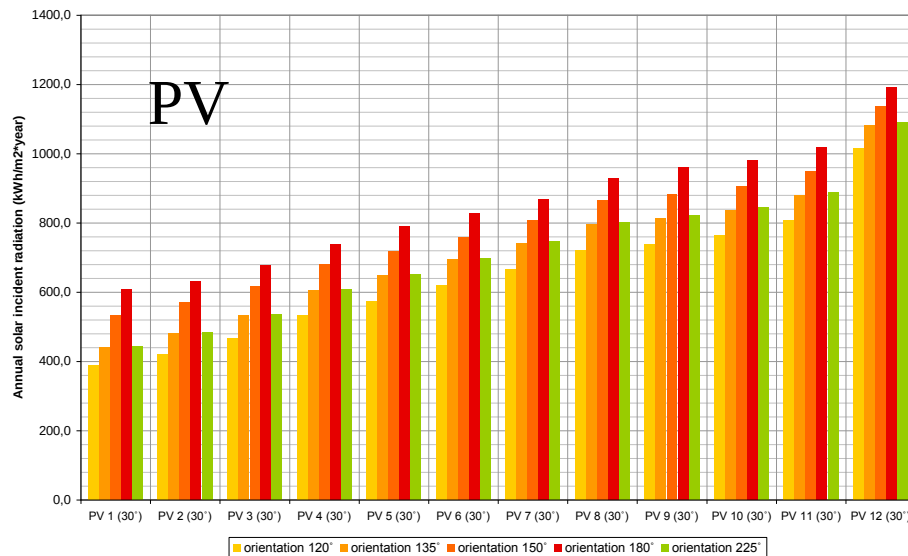
Figure 1. Comparison of weather data. Monthly incident radiation levels (kWh/m²*month) on horizontal surface.

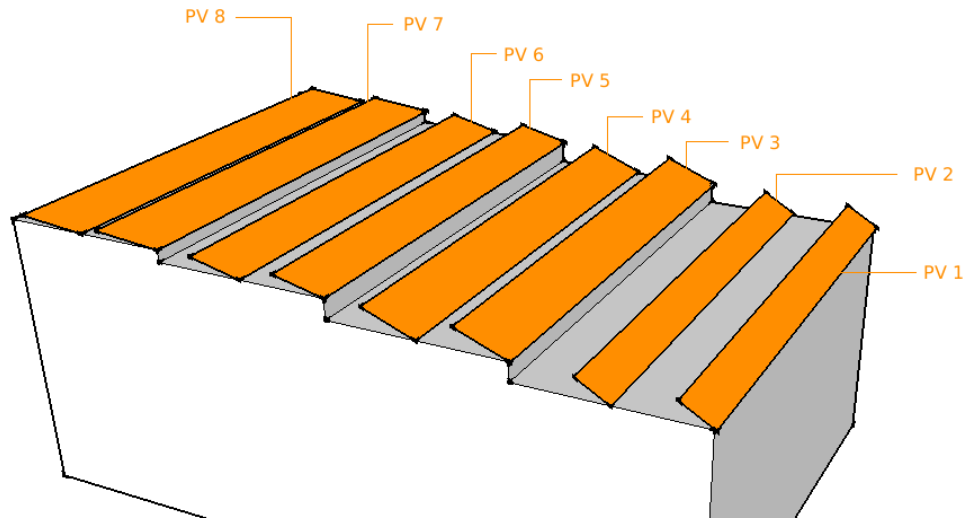




- Varju heitva kõrvalhoone mõju
- Erinevad PV kaldenurgad
- Erinev fassaadi orienteeritus

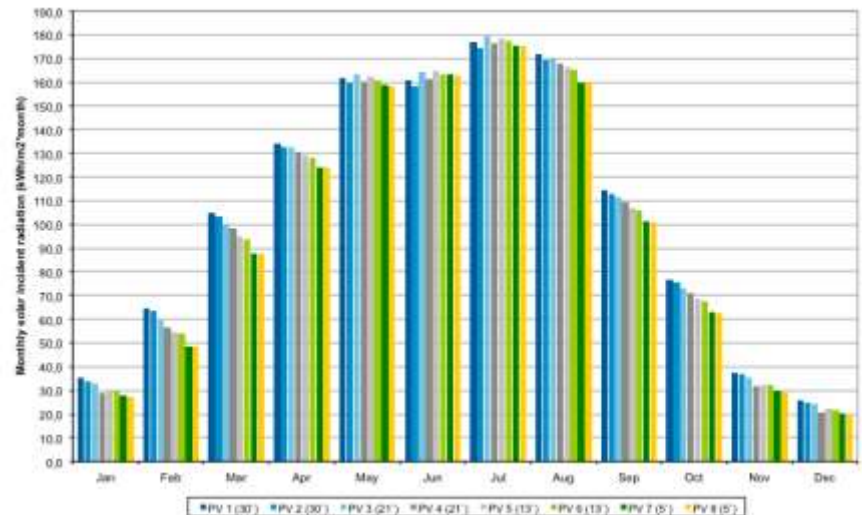
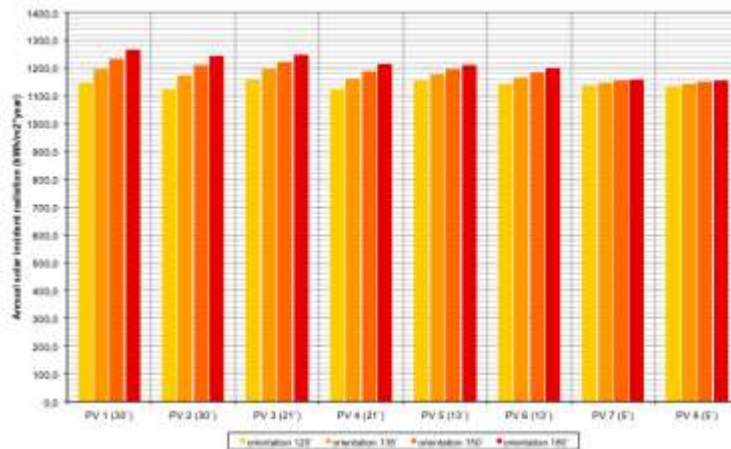
Figure 8. The numbering sequence of analyzed façade surfaces.





- Erinevad PV kaldenurgad
- Erinev hoone orienteeritus

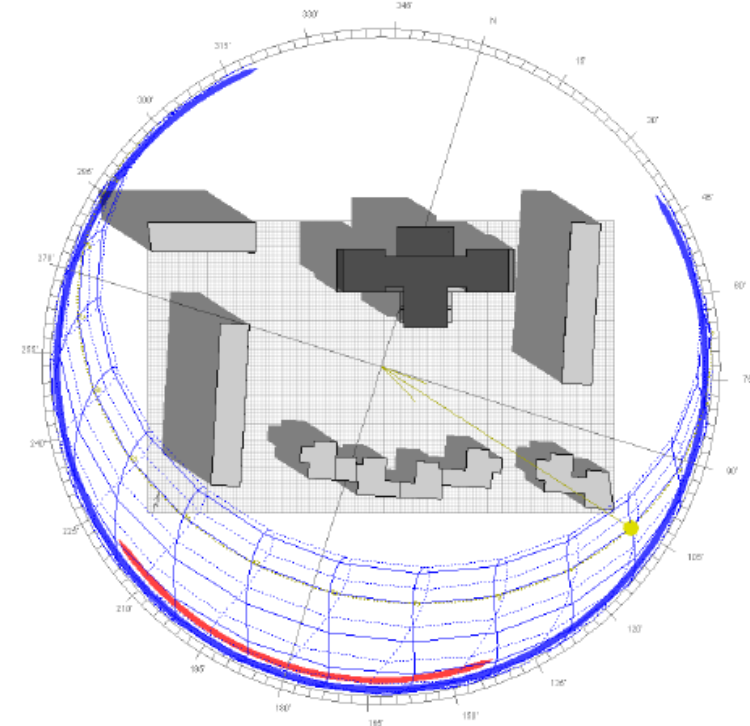
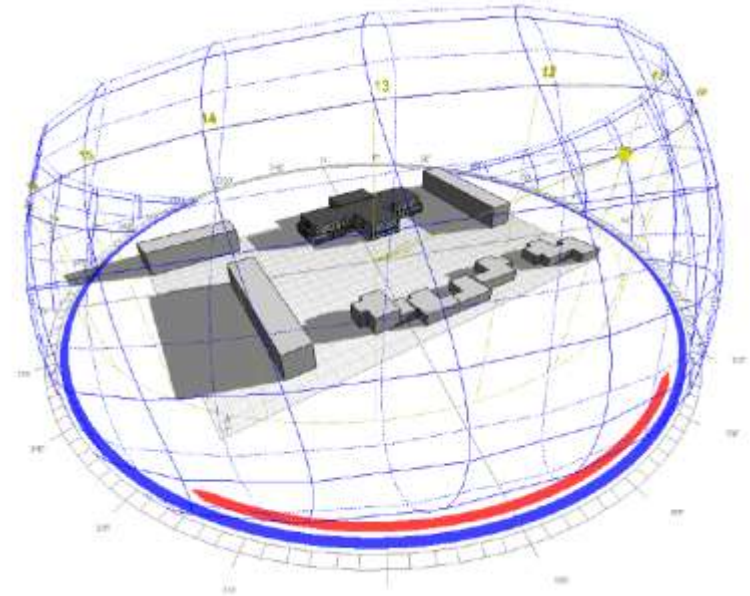
Figure 9. The numbering sequence of analyzed roof surfaces.

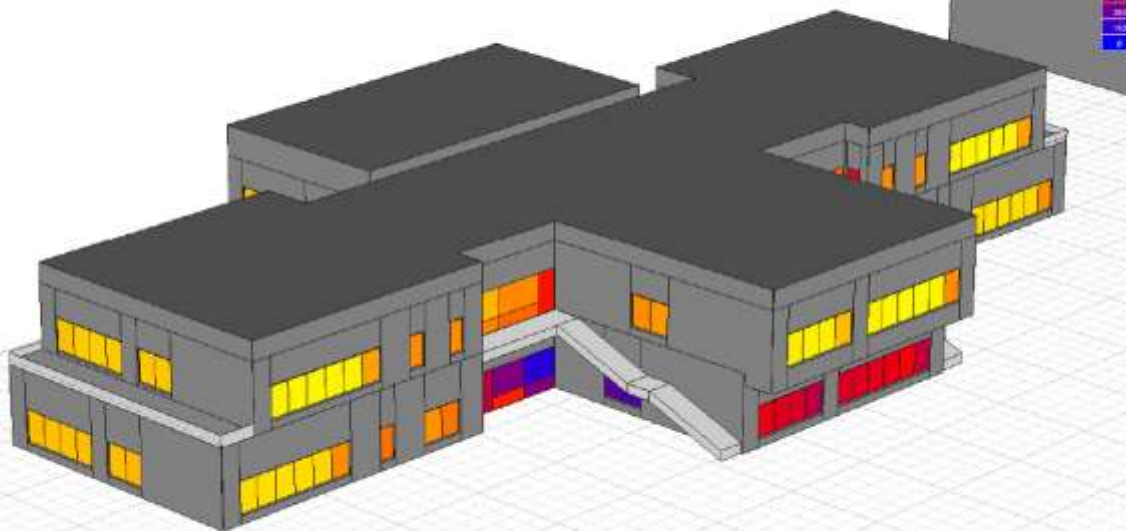


Näide 3. Lasteaed Tartus

- Statsionaarse päikesekaitse kavandamine.
- Probleem/ülesanne:
 - Leida erinevate päikesekaitstesirmide efektiivsus päikese otsekiirguse vähenemisele erinevatel fassaadidel.
- Lahendus: Ecotectis hoone 3D mudel ja sirmide võimaliku mõju uuring erineva suunaga fassaadidel päikese otsekiirguse vähenemisele.

1. Esmane suveolukorra analüüs (juuni - august).
2. 1,0m ja 1,5m hor.sirmi mõju analüüs suveolukorras.
3. 1,0m ja 1,5m hor.sirmi mõju detailne analüüs ja visualiseerimine kuude ja kellaaegade lõikes.
4. Eelneva põhjal arhitekti poolt koostatud lahenduse mõju detailne analüüs.





“Lõunafassaad”

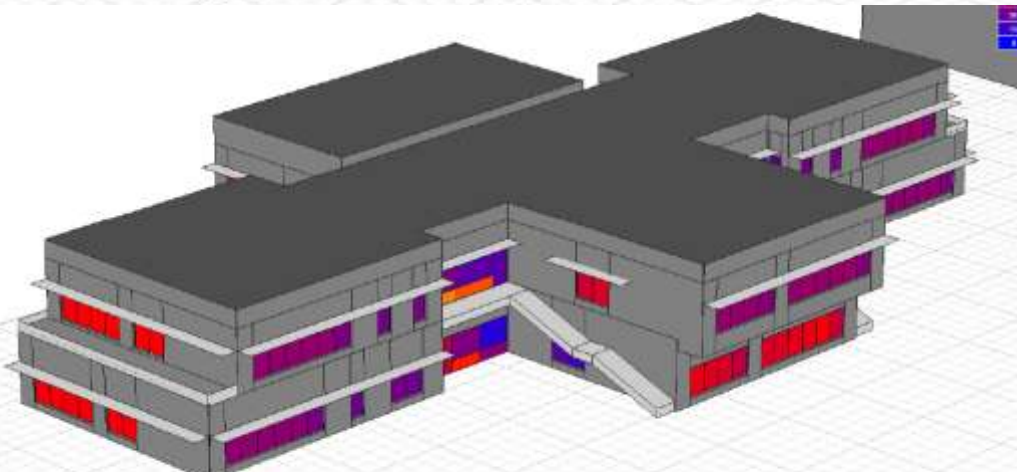


“Põhjafassaad”

Esialgne olukord

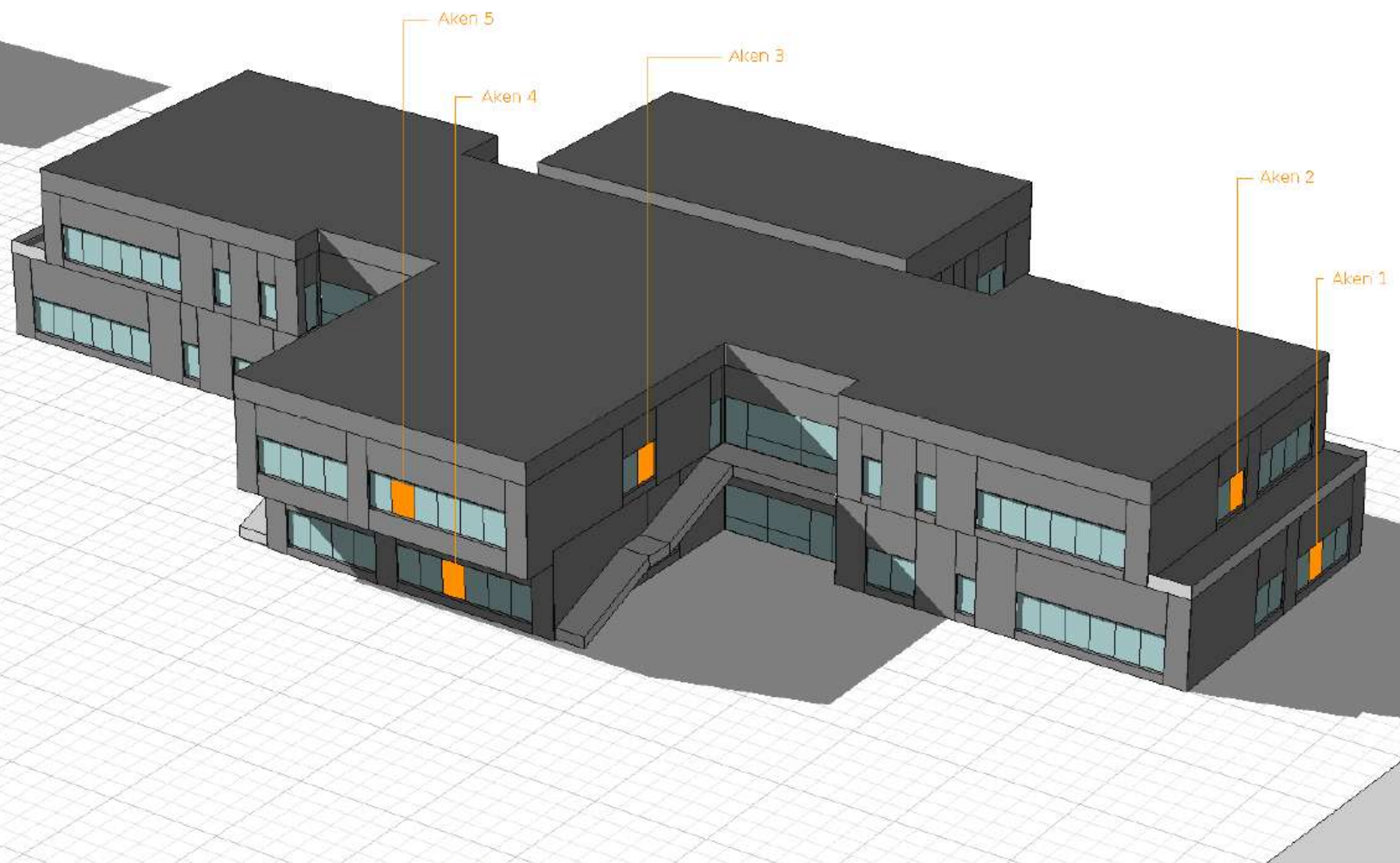


1,0m sirm



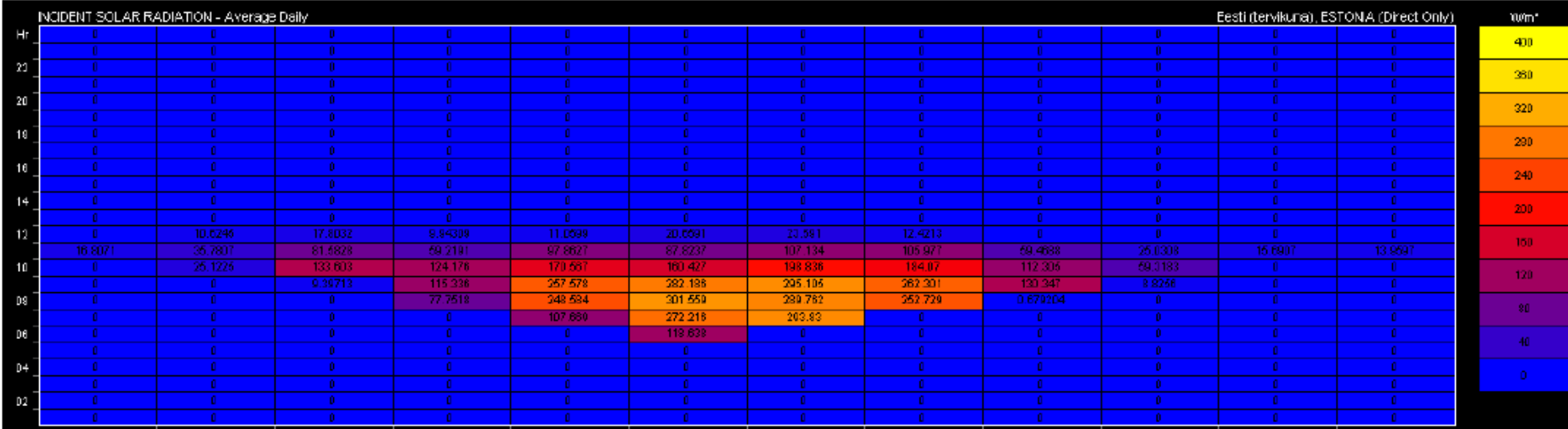
1,5m sirm



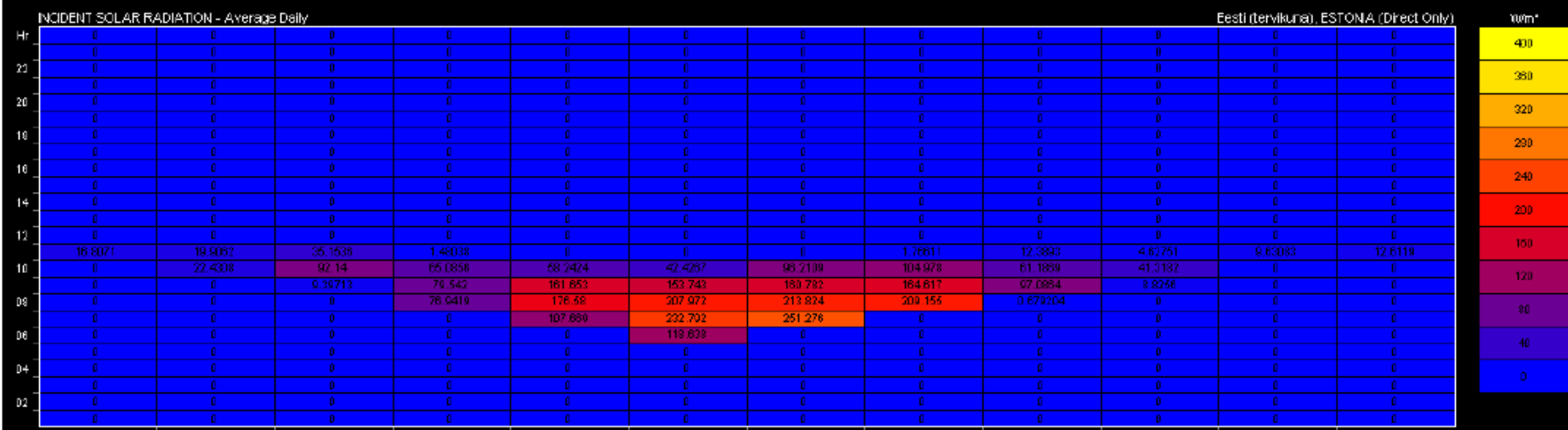


Joonis 22. Detailsemalt analüüsitud aknad.

Aken 2.



Joonis 27. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaühiku kohta esialgses olukorras

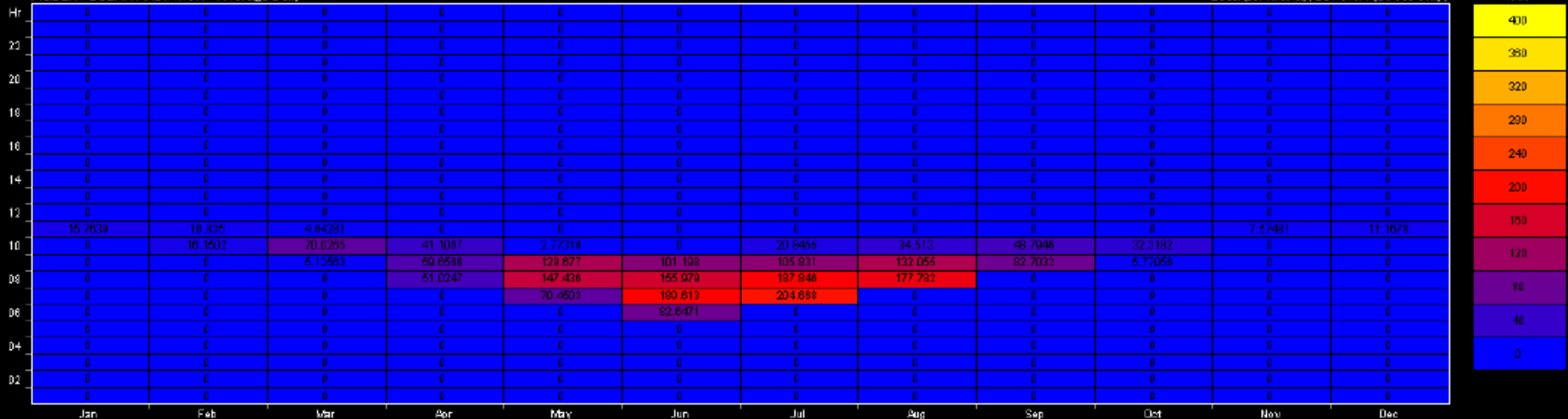


Joonis 28. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m^2 tunnis ehk W/m^2) akna pinna pinnaiühiku kohta 1m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

“Idapoolne” aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm

INCIDENT SOLAR RADIATION - Average Daily

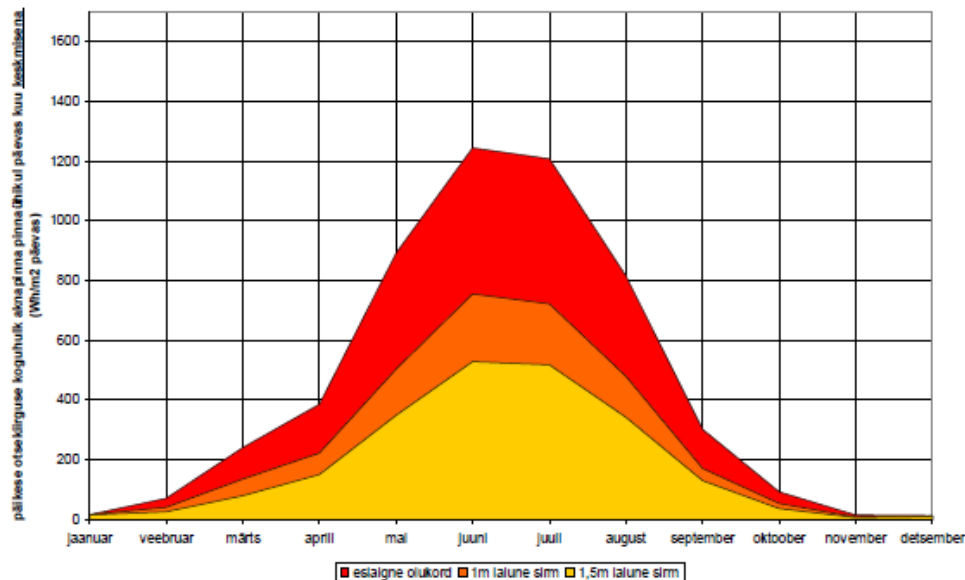
Eesti (tervikuna, ESTONIA (Direct Only)

W/m²

Joonis 29. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnauhiku kohta 1,5m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

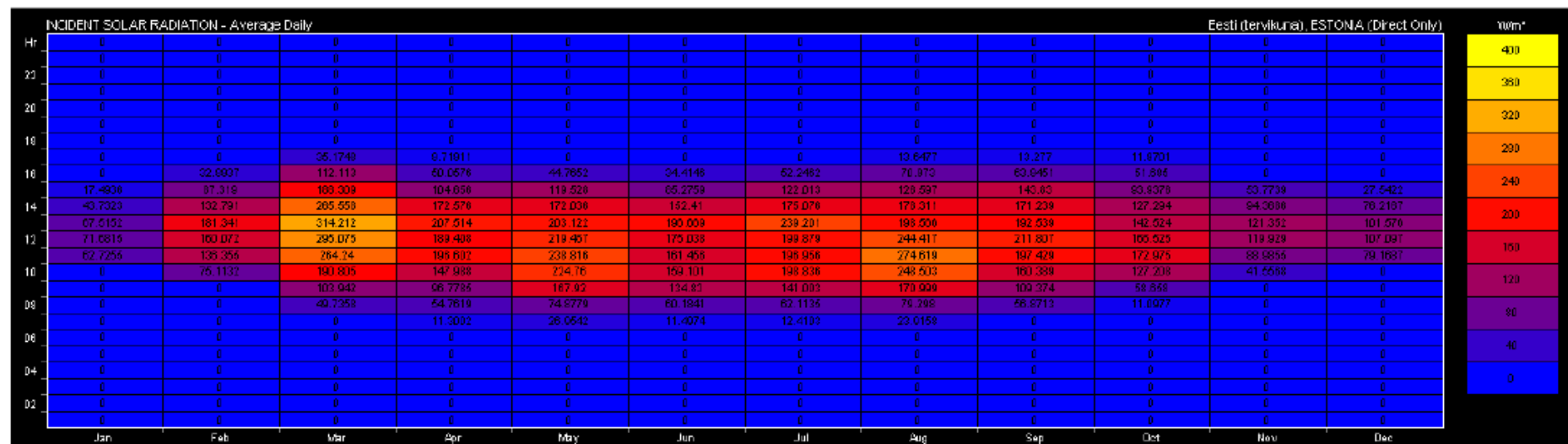
	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	17	17	0,0%	16	5,9%
veebruar	72	42	41,7%	27	62,5%
märts	242	137	43,4%	80	66,9%
aprill	386	223	42,2%	152	60,6%
mai	893	504	43,6%	350	60,8%
juuni	1244	756	39,2%	529	57,5%
juuli	1208	722	40,2%	519	57,0%
august	817	481	41,1%	344	57,9%
september	303	171	43,6%	131	56,8%
oktoober	93	55	40,9%	38	59,1%
november	16	10	37,5%	8	50,0%
detsember	14	13	7,1%	11	21,4%

Tabel 2. Iga kuu keskmise päeva jooksul aknapinna pinnauhikule langev kiirgushulk (Wh/m² päevas) ning päikesekaitsetahenduste protsentuaalse mõju otsekiirguse vähenemisele.

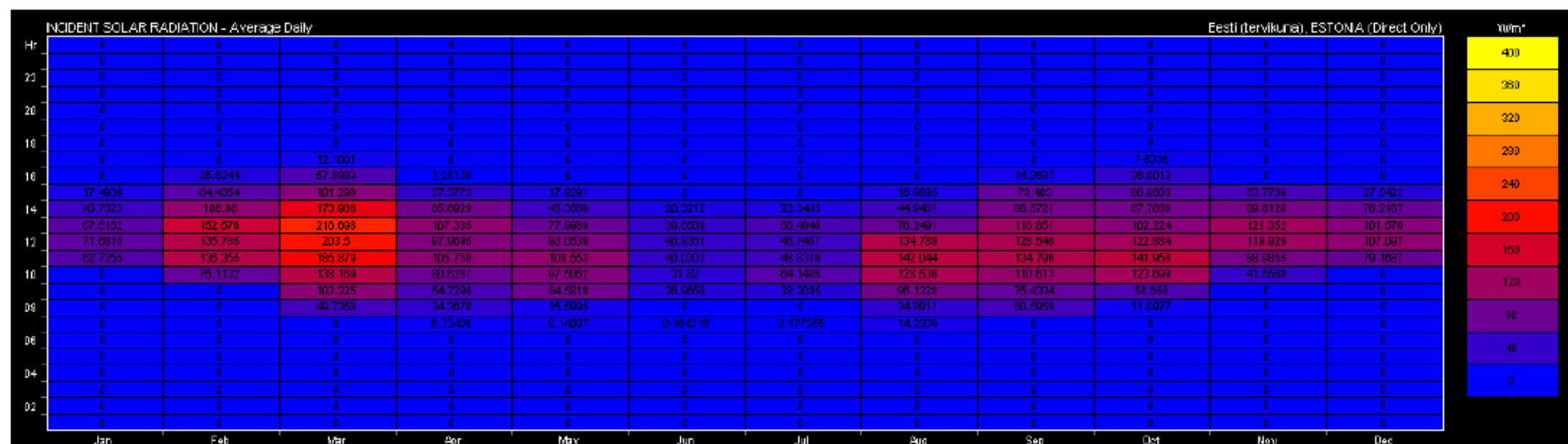


“Idapoolne” aken, 1,5m sirm ja mõjude koondgraafik

Aken 5.

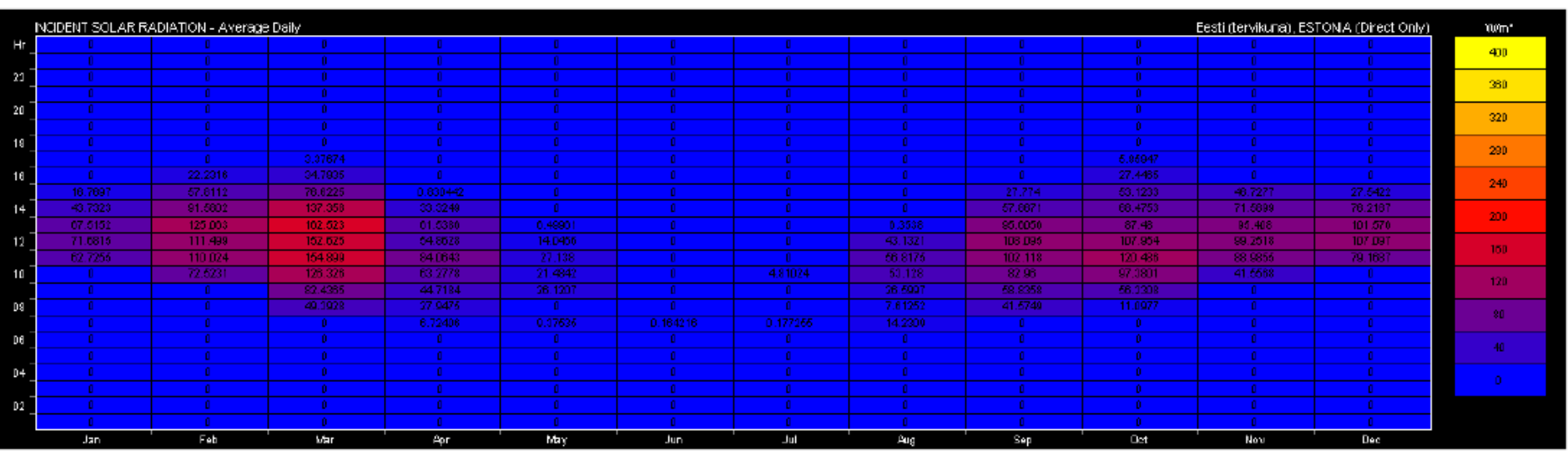


Joonis 34. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaiühiku kohta esialgses olukorras.



Joonis 35. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaiühiku kohta 1m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

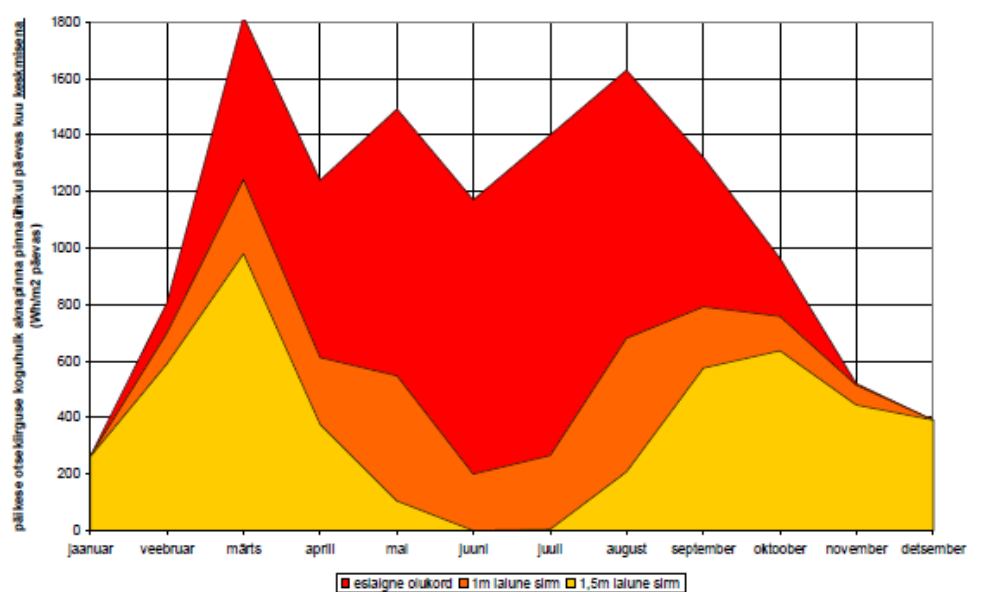
“Lõunapoolne” aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm



Joonis 36. Iga kuu keskmised päevase otsese päikese kiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaiühiku kohta 1,5m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

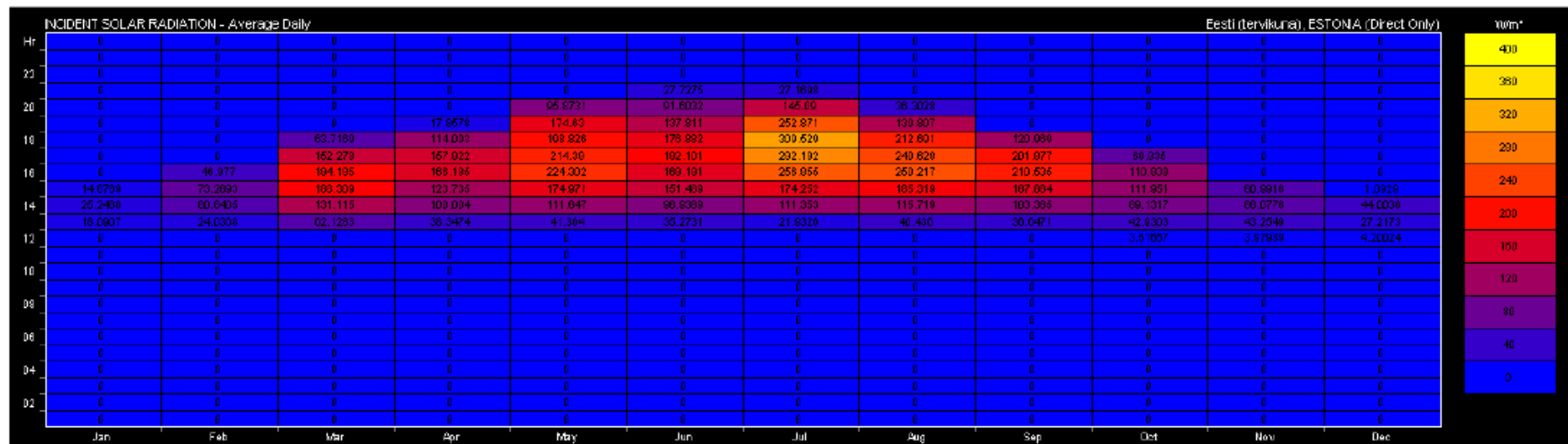
	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	263	263	0,0%	262	0,4%
veebruar	806	699	13,3%	591	26,7%
märts	1819	1243	31,7%	980	46,1%
aprill	1241	612	50,7%	377	69,6%
mai	1492	548	63,3%	105	93,0%
juuni	1171	200	82,9%	0	100,0%
juuli	1400	267	80,9%	5	99,6%
august	1630	681	58,2%	208	87,2%
september	1321	793	40,0%	575	56,5%
oktoober	964	758	21,4%	636	34,0%
november	520	515	1,0%	444	14,6%
detsember	392	392	0,0%	392	0,0%

Tabel 5. Iga kuu keskmise päeva jooksul aknapinna pinnaiühikule langev kiirgushulk (Wh/m² päevas) ning päikese kiirguse protsentuaalse mõju otsekiirguse vähenemisele.

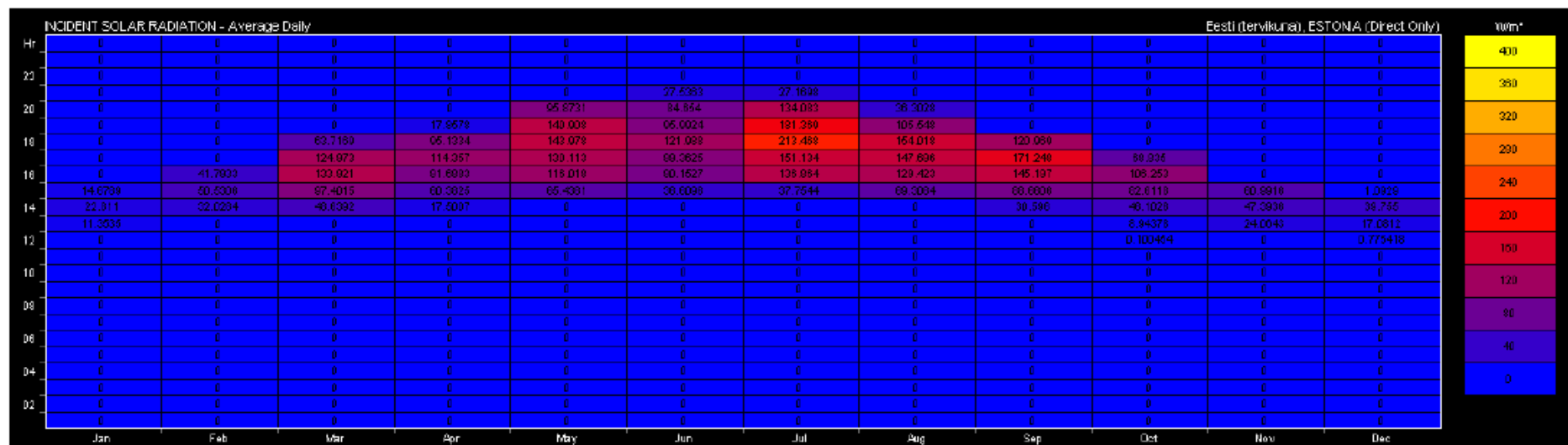


“Lõunapoolne” aken, 1,5m sirm ja mõjude koondgraafik

Aken 6.

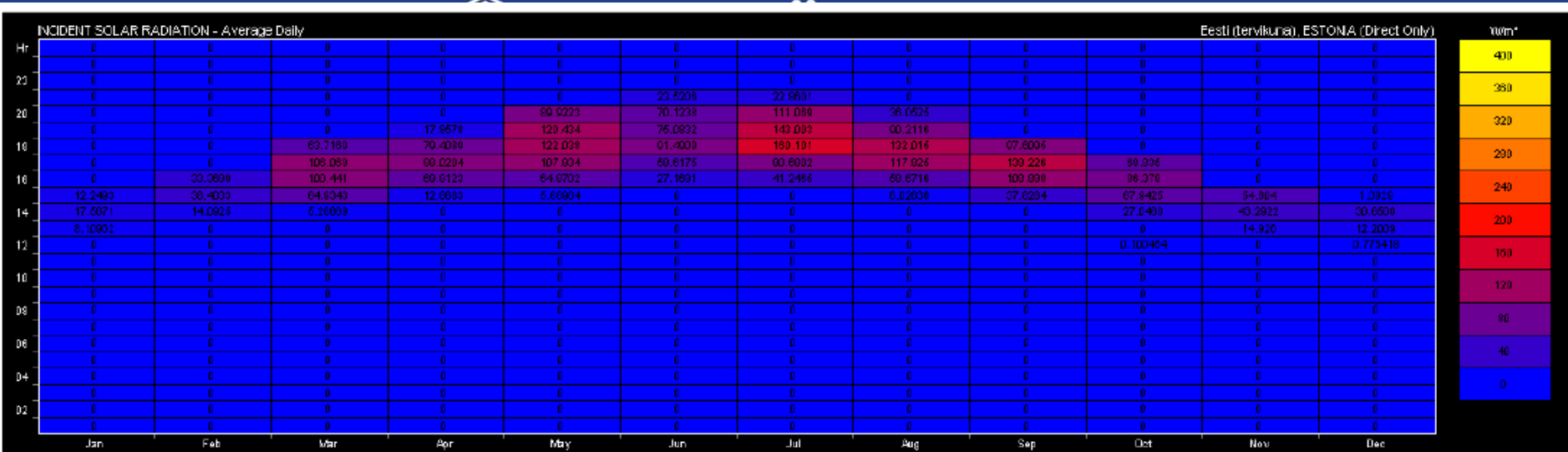


Joonis 37. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaühiku kohta esialgses olukorras.



Joonis 38. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaühiku kohta 1m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

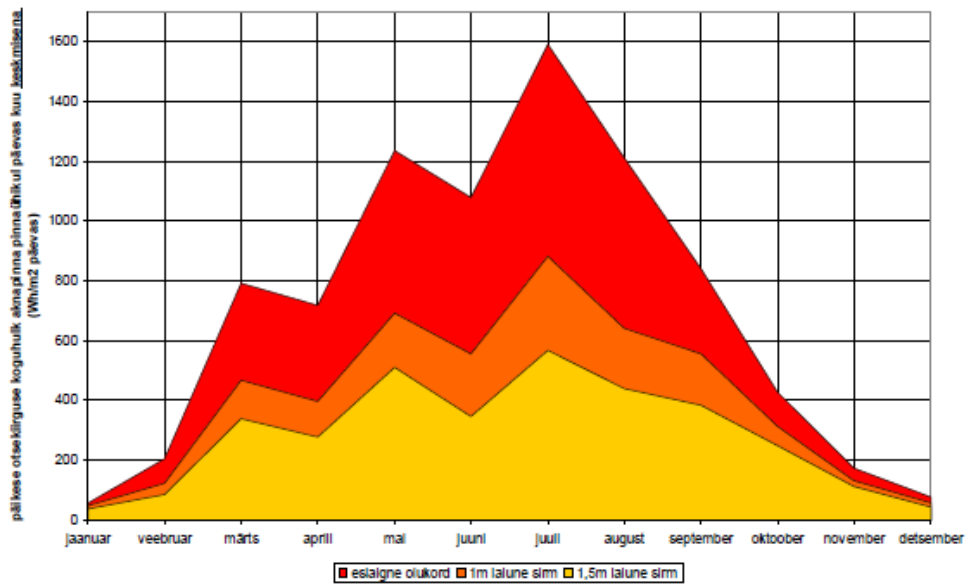
“Läänepoolne” aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm



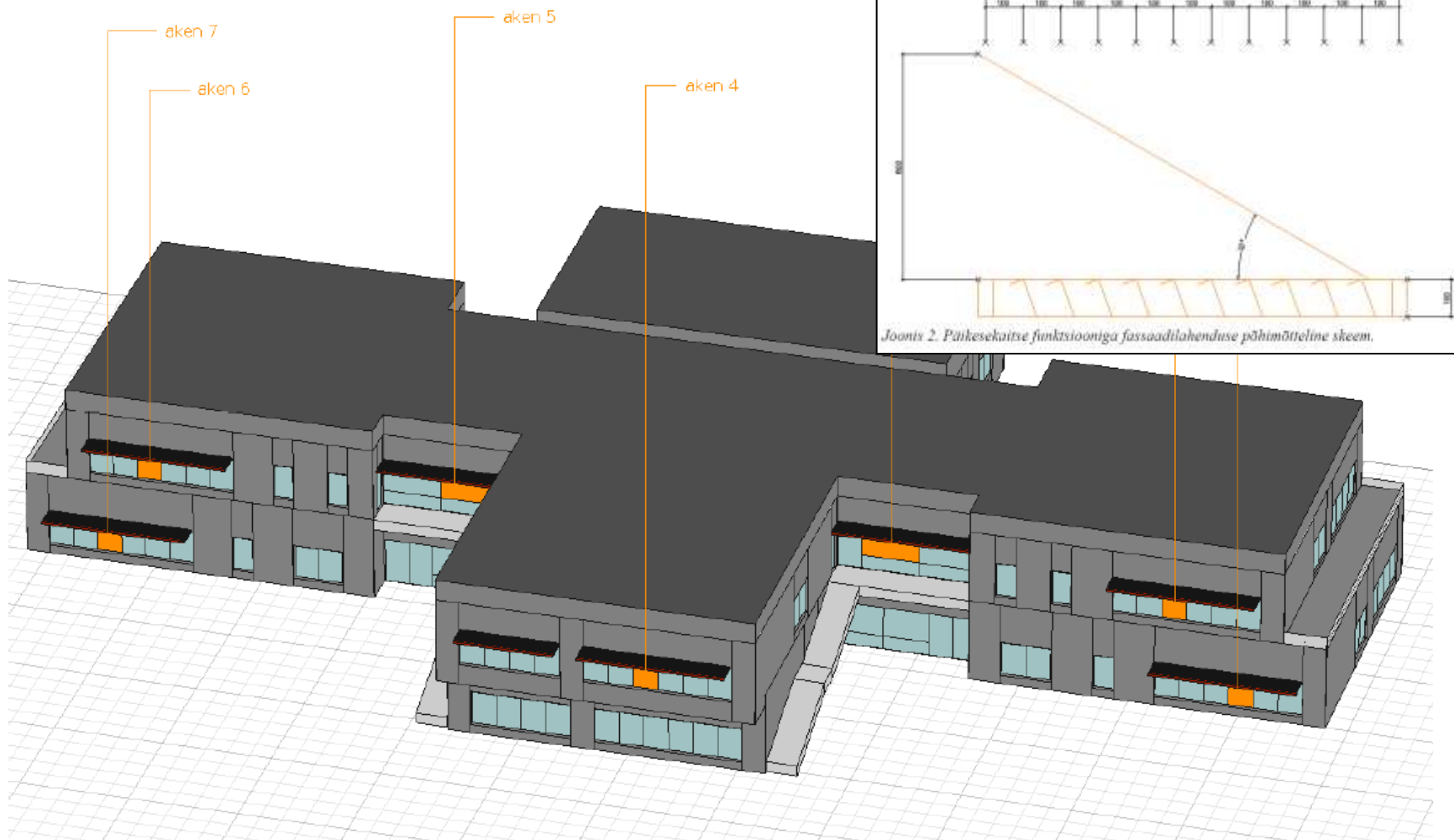
Joonis 39. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaiühiku kohta 1,5m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	58	49	15,5%	38	34,5%
veebruar	205	124	39,5%	86	58,0%
märts	792	469	40,8%	340	57,1%
aprill	718	397	44,7%	278	61,3%
mai	1236	692	44,0%	511	58,7%
juuni	1079	556	48,5%	347	67,8%
juuli	1591	882	44,6%	569	64,2%
august	1212	642	47,0%	441	63,6%
september	841	557	33,8%	384	54,3%
oktoober	427	313	26,7%	250	41,5%
november	174	132	24,1%	113	35,1%
detsember	77	59	23,4%	45	41,6%

Tabel 6. Iga kuu keskmise päeva jooksul aknapinna pinnaiühikule langev kiirgushulk (Wh/m² päevas) ning päikesekaitsetahenduste protsentuaalse mõju otsekiirguse vähenemisele.



“Läänepoolne” aken, 1,5m sirm ja mõjude koondgraafik



Joonis 4. Detailsemalt analüüsitud aknad koos arhitekti poolt ette nähtud päikesekaitselahendusega.

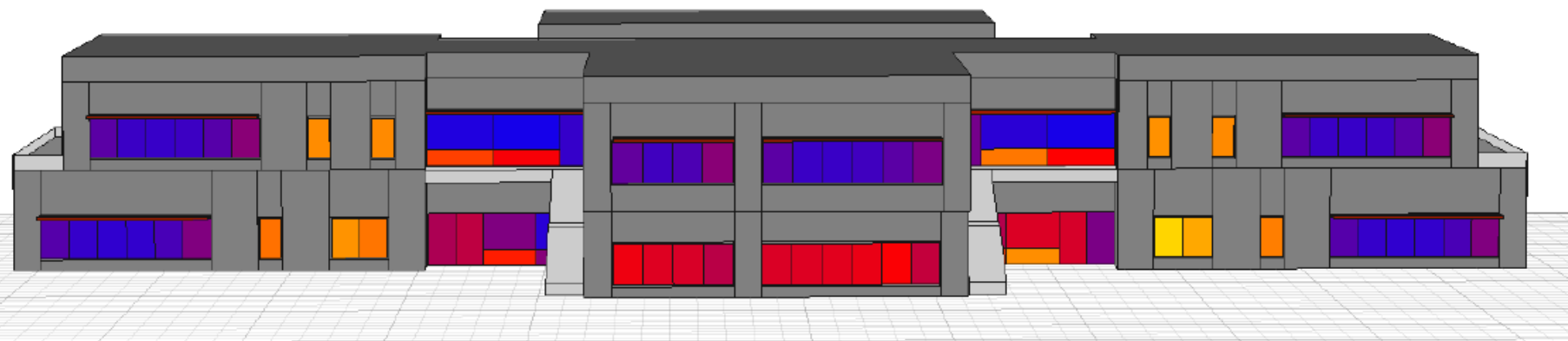
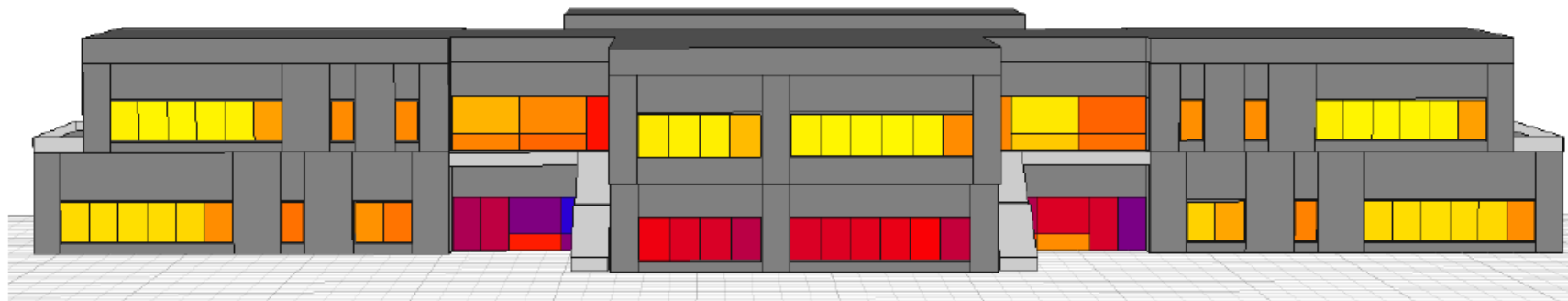
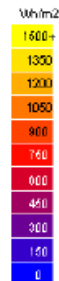
Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt. Ainult “lõunafassaad”

OBJECT ATTRIBUTES

Avg. Daily Direct Radiation

Value Range: 0.0 - 1600.0 Wh/m²

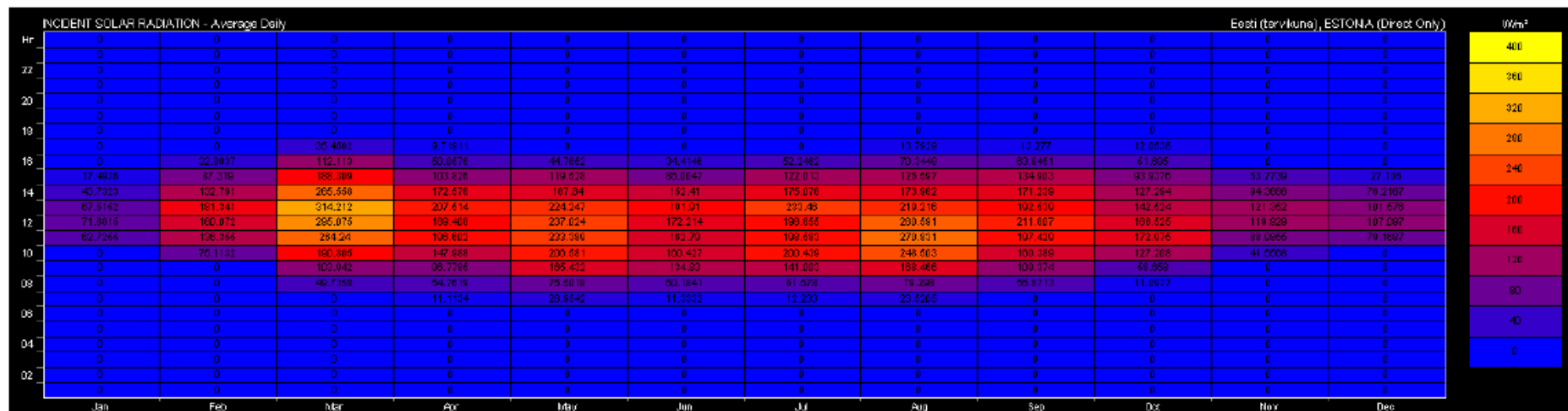
(c) ECOTECT v5



Joonis 3. Päikese otsekiirguse hulgad lõunafassaadi aknapindadel suvekuude (juuni - august) keskmisena ühe päeva jooksul (Wh/m² päevas) esialgses olukorras (ülemine joonis) ning arhitekti poolt ette nähtud lahenduse korral (alumine joonis).

Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt

3.4. Detailse analüüsi tulemused (Aken 4).

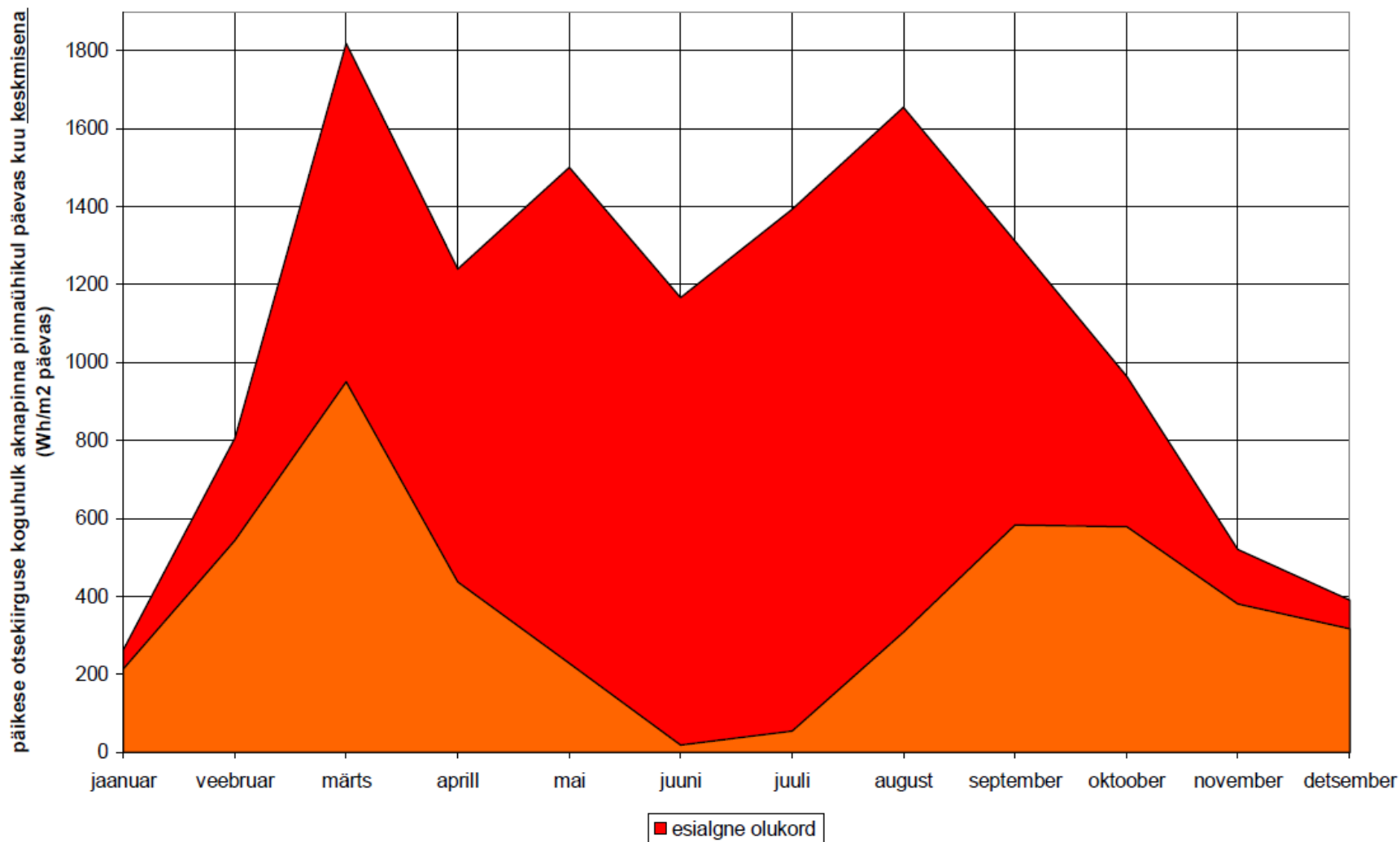


Joonis 14. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaühiku kohta esialgses olukorras.



Joonis 15. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m² tunnis ehk W/m²) akna pinna pinnaühiku kohta arhitekti poolt ette nähtud horisontaalse sirmi korral akna kohal.

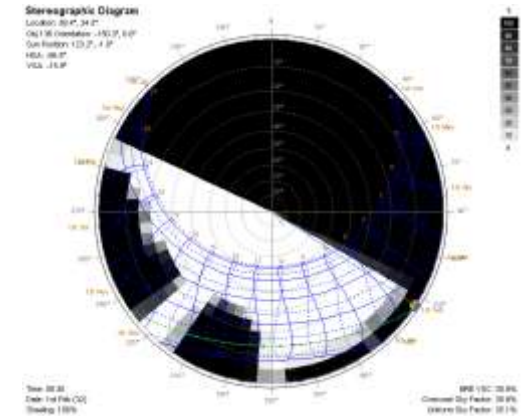
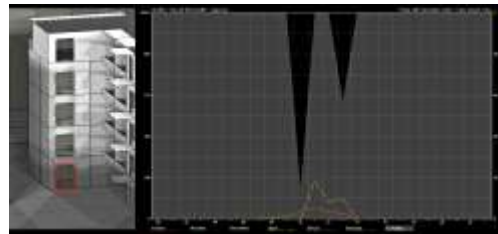
Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt



Joonis 16. Iga kuu keskmise päeva jooksul aknapinna pinnatühikule langev kiirgushulk (Wh/m² päevas)

Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt

2. Insolatsiooniolukorra analüüs

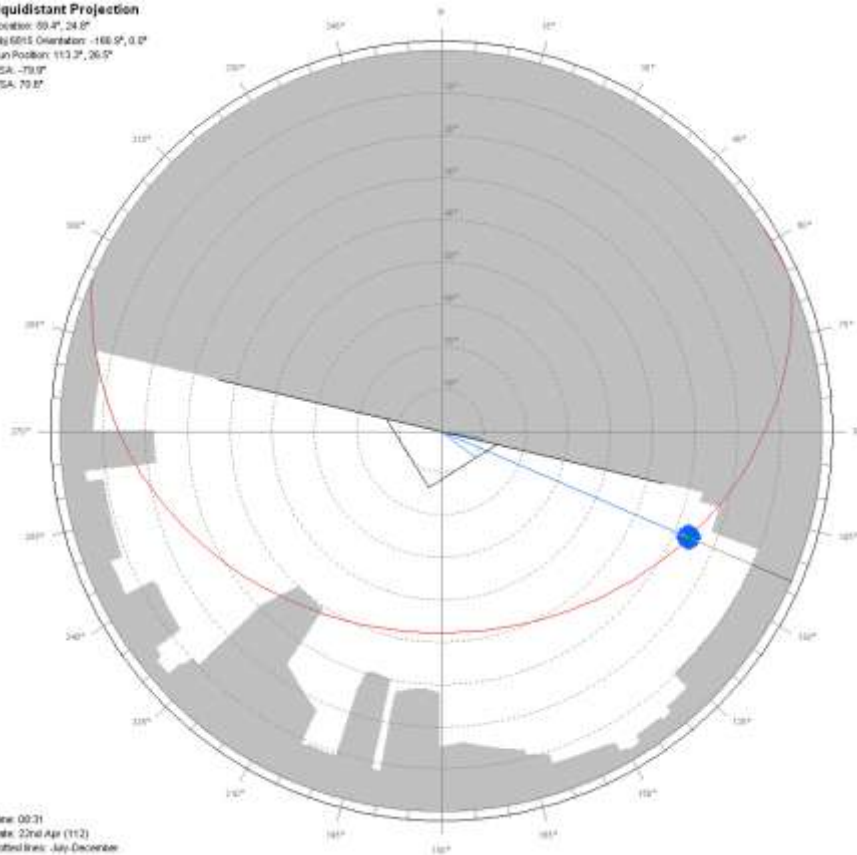


- Arvestusliku insolatsiooni kestuse arvutused ja nõuetele vastavuse kontroll (vastavalt EVS 894 metoodikale),
- horisontogrammide koostamine aastase insolatsiooni olukorra visualiseerimiseks,
- erinevate arendusotsuste mõju eristamine ning maksimaalse lubatud hoonestuse mahu visualiseerimine valitud vaatepunktide suhtes.

horisontogramm

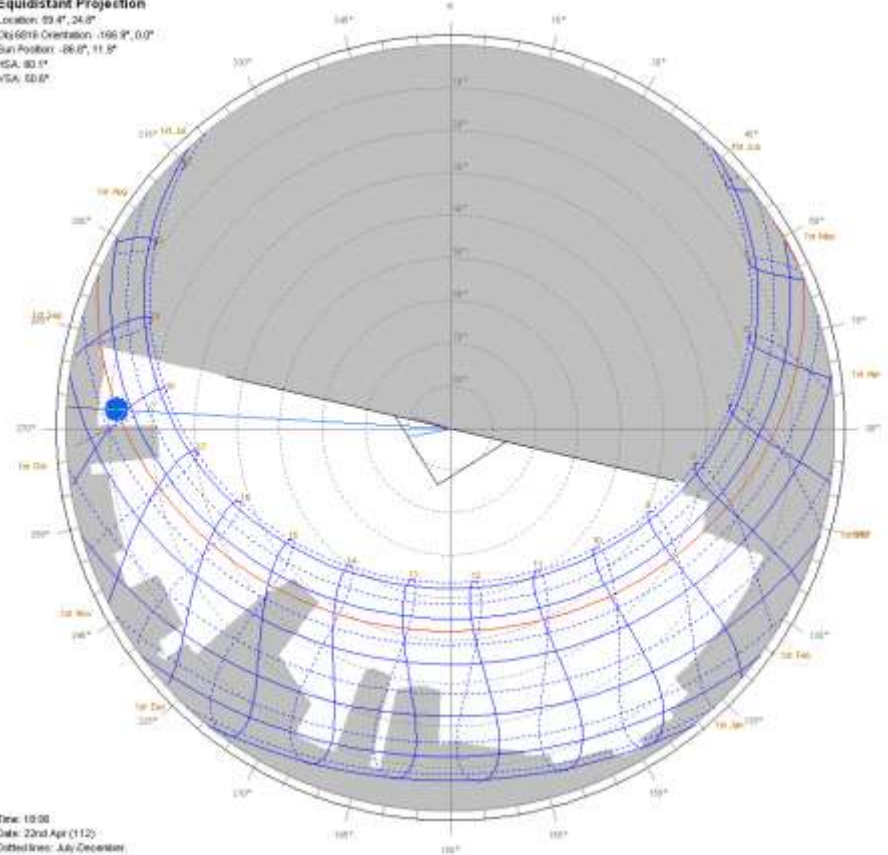
Equidistant Projection

Location: 59.47, 24.87
Obj 6015 Orientation: -168.9°, 0.0°
Sun Position: 113.3°, 26.5°
HSA: -79.0°
VSA: 79.8°

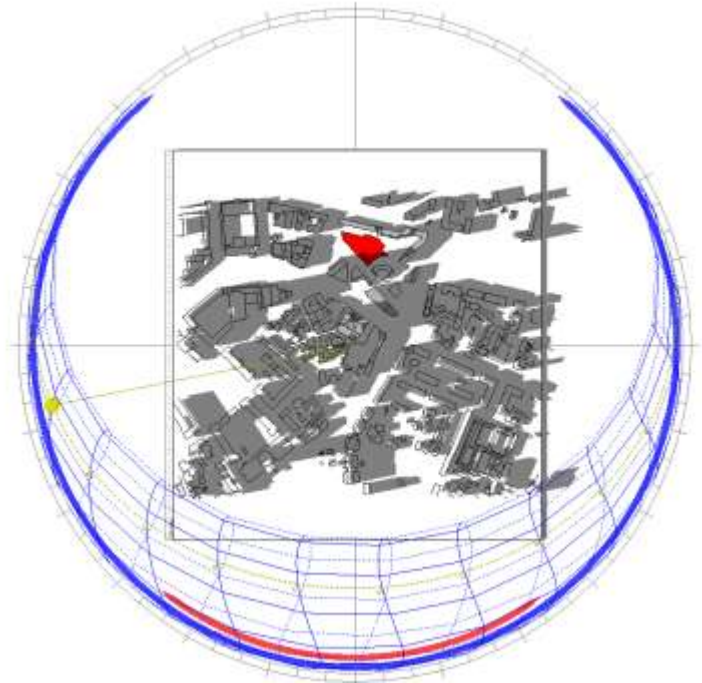
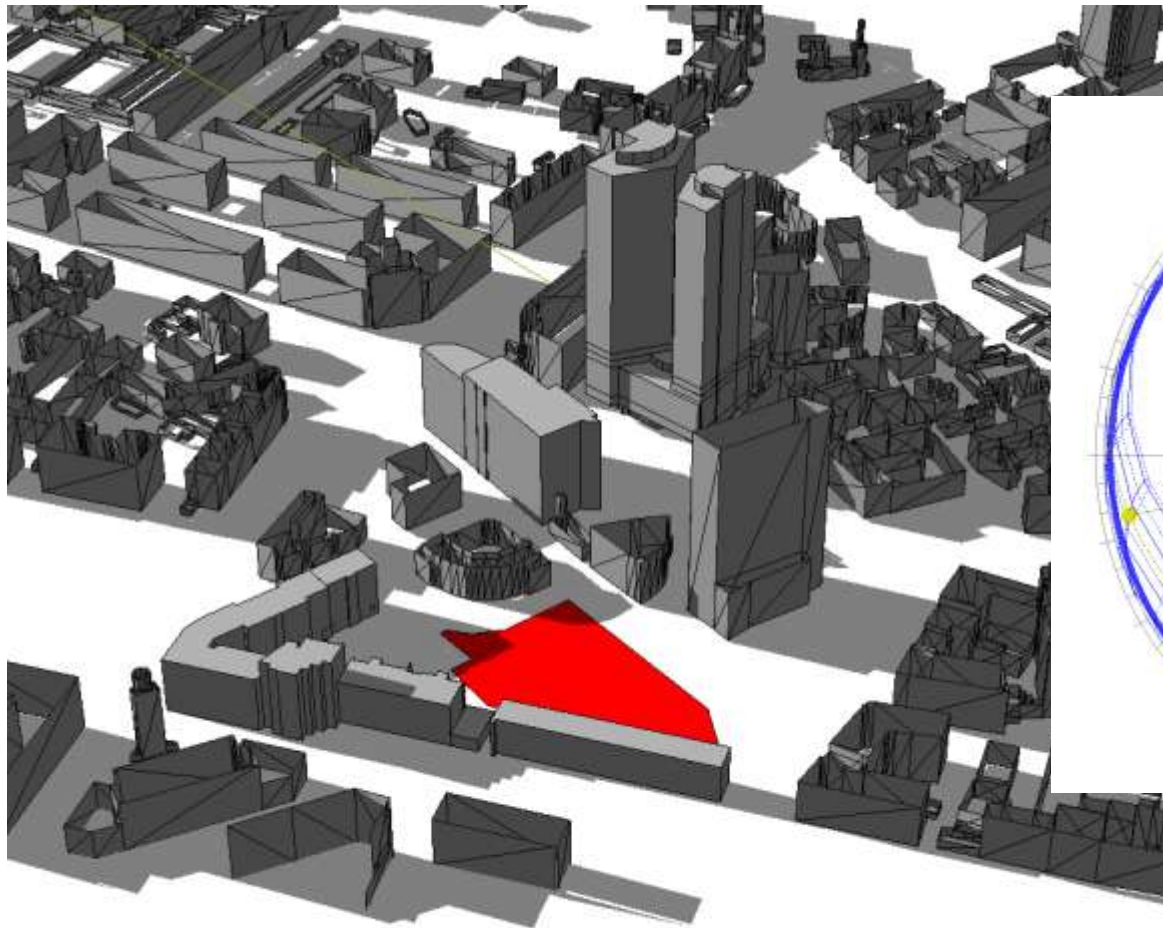


Equidistant Projection

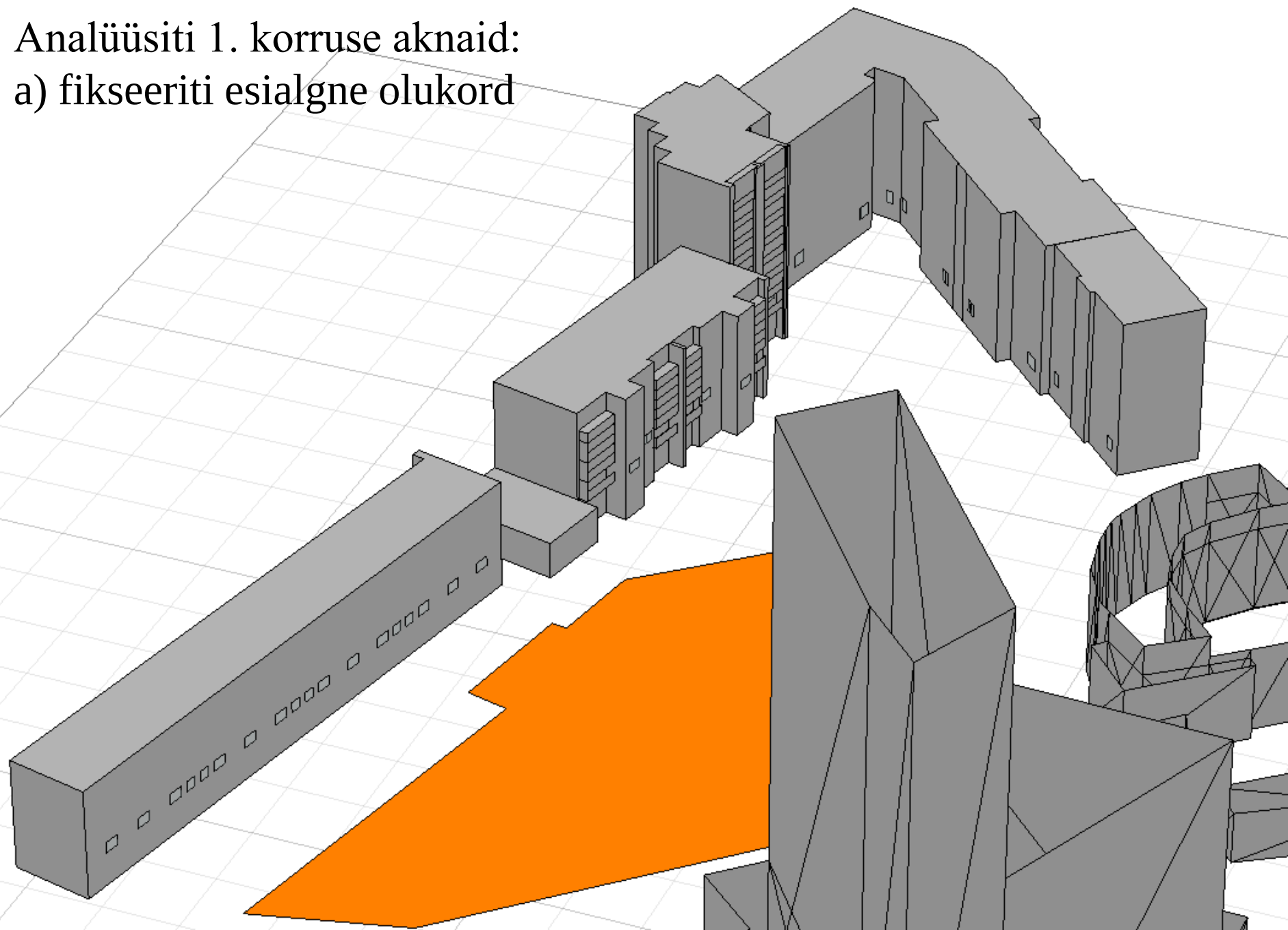
Location: 59.47, 24.87
Obj 6016 Orientation: -196.9°, 0.0°
Sun Position: -86.0°, 11.8°
HSA: 80.1°
VSA: 50.8°



Näide 1. Maksimaalse lubatud mahu genereerimine (kavandatav kõrghoone Tallinnas)

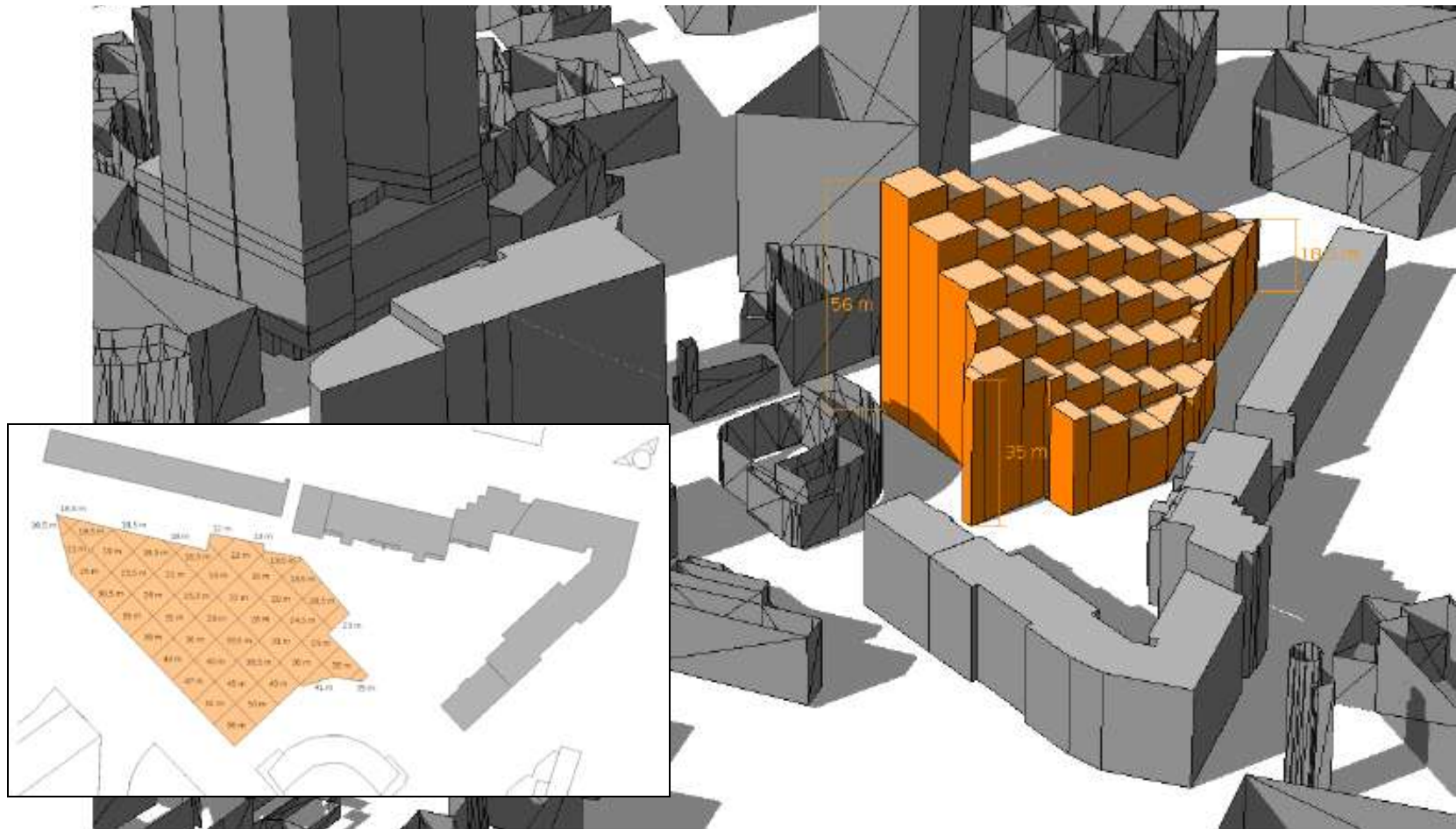


Analüüsi 1. korruse aknaid:
 a) fikseeriti esialgne olukord



Analüüsiti 1. korruse aknaid:

b) leiti maksimaalne mittemõjutav maht

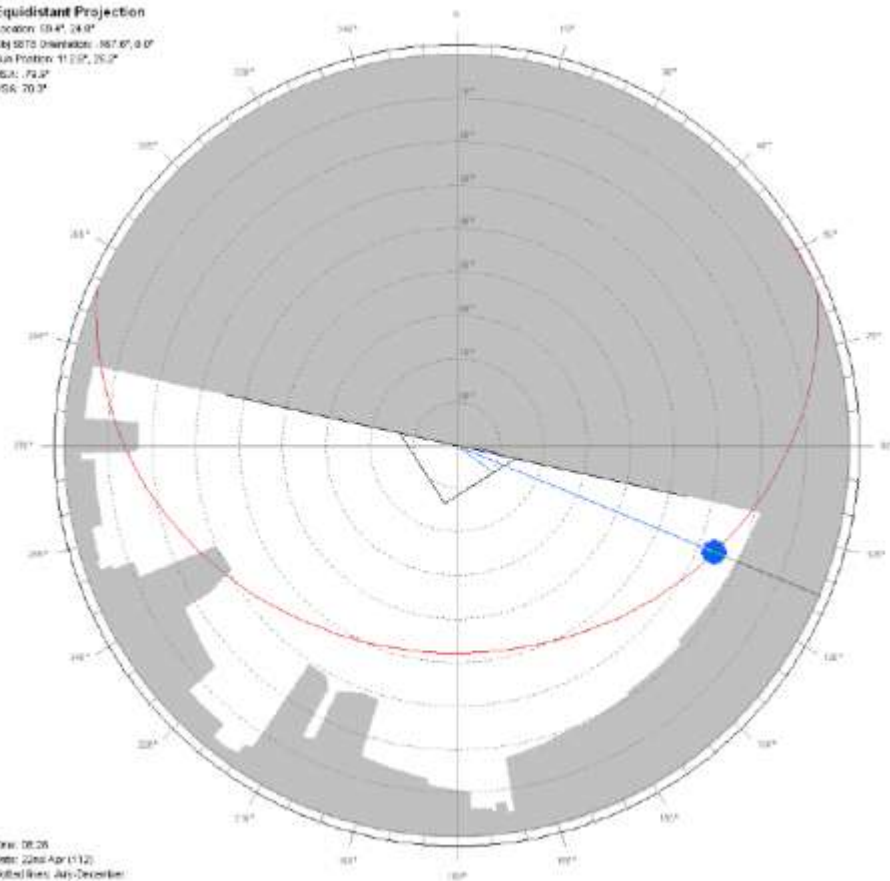


Joonis 89. Optimaalne hoonestuse maht, mis kõrvalhoonete insolatsioonitingimusi standardikohaselt ei mõjuta.

Arvestusliku insolatsiooni kestuse määramine horisontogrammi abil

Equidistant Projection

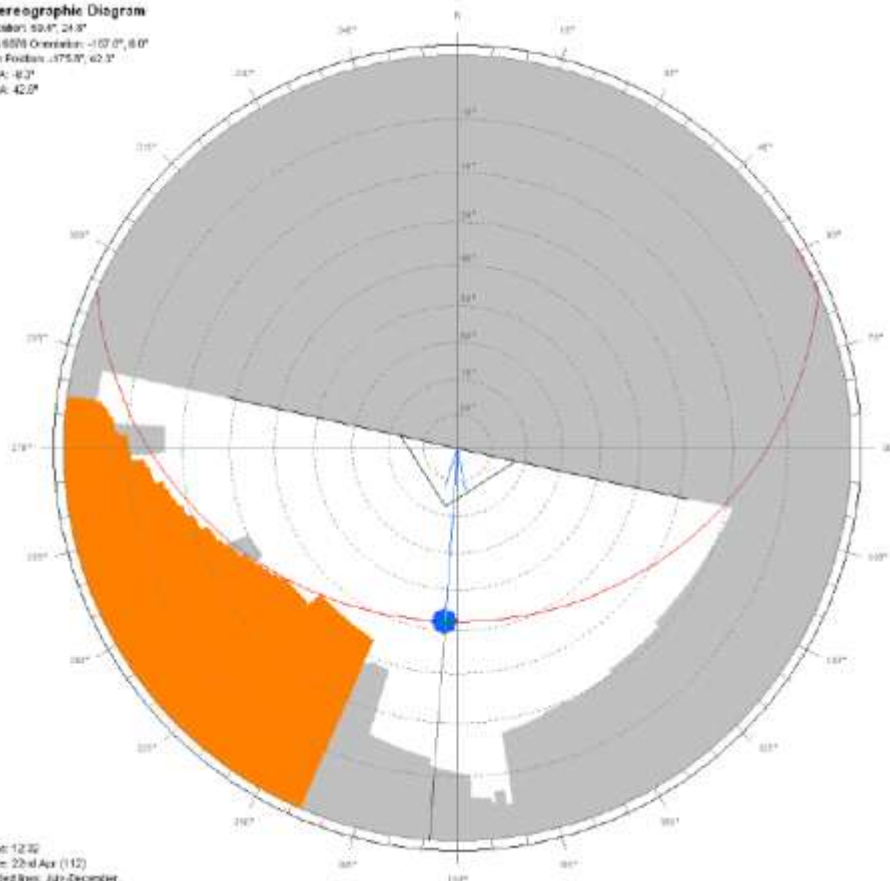
Location: 59.4°, 24.8°
Obj 5070 Orientation: -167.6°, 8.0°
Sun Position: 111.5°, 25.2°
HGA: -72.3°
VSA: 70.3°



Time: 08:28
Date: 22nd Apr (112)
Dotted lines: July-December

Stereographic Diagram

Location: 59.4°, 24.8°
Obj 5070 Orientation: -167.6°, 8.0°
Sun Position: 111.5°, 25.2°
HGA: -72.3°
VSA: 42.8°



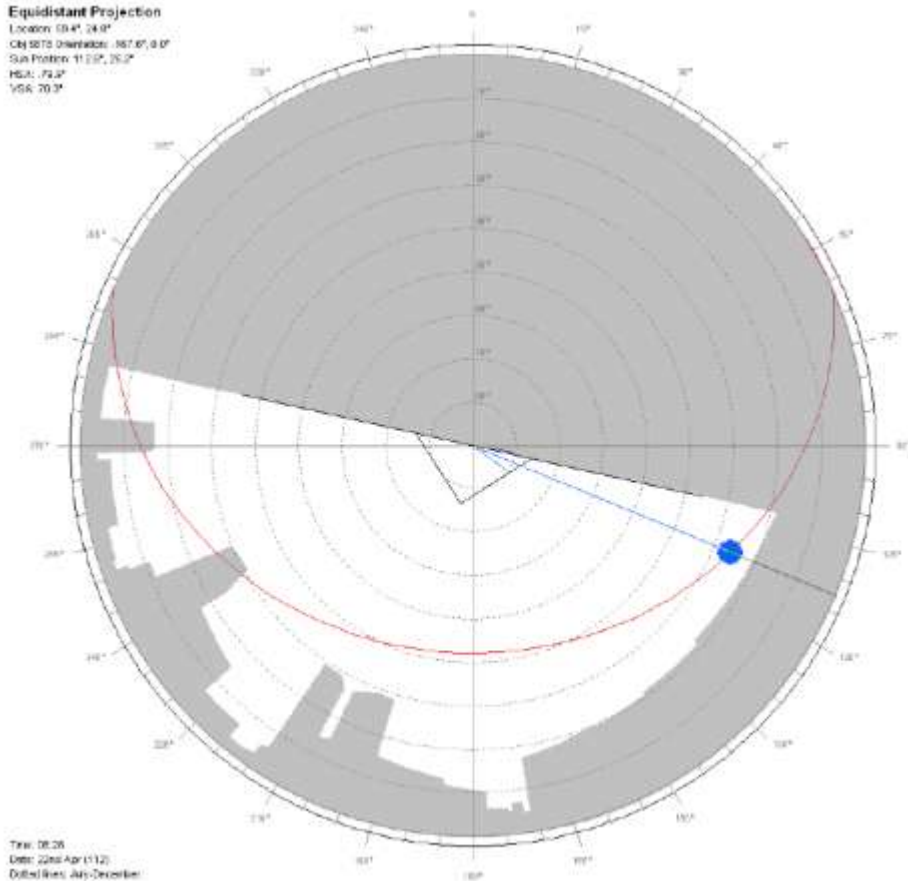
Time: 12:30
Date: 22nd Apr (112)
Dotted lines: July-December

	1. vahemik			2. vahemik			3. vahemik			insolatsiooni kestus kokku
	algus	Lõpp	kestus	algus	Lõpp	kestus	algus	Lõpp	kestus	
päikese asimuut	112,6	240,6		247,5	268,9		-	-		
vööndiaeg / vahemik	8:28	15:43	07:15	16:11	17:46	01:35	-	-	-	08:50

Arvestusliku insolatsiooni kestuse määramine horisontogrammi abil

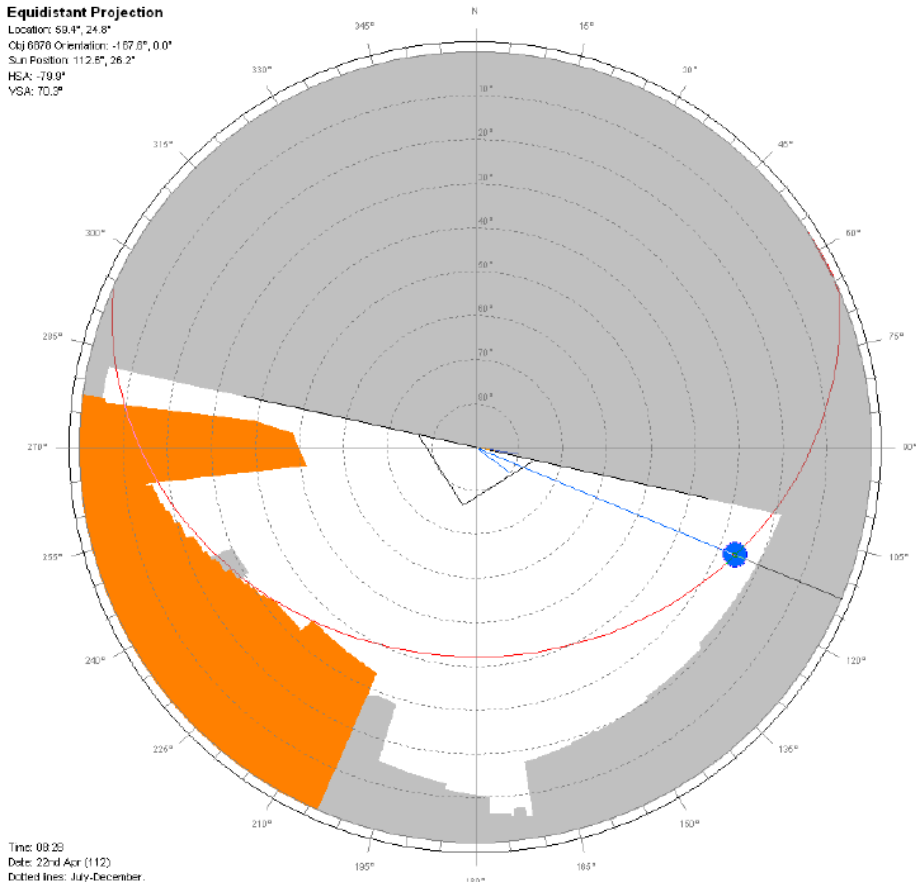
Equidistant Projection

Location: 59.4°, 24.9°
Obj 5270 Orientation: 165.6°, 0.0°
Sun Position: 11.25°, 25.2°
HGA: 79.3°
VGA: 70.3°



Equidistant Projection

Location: 59.4°, 24.8°
Obj 6878 Orientation: -157.8°, 0.0°
Sun Position: 112.6°, 26.2°
HSA: -79.9°
VSA: 70.3°

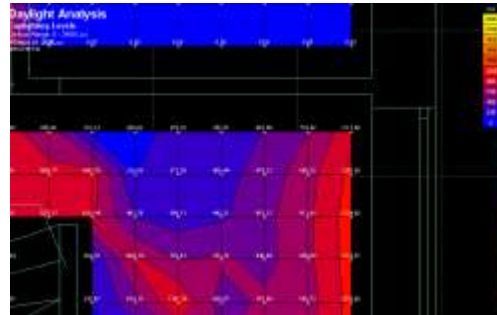
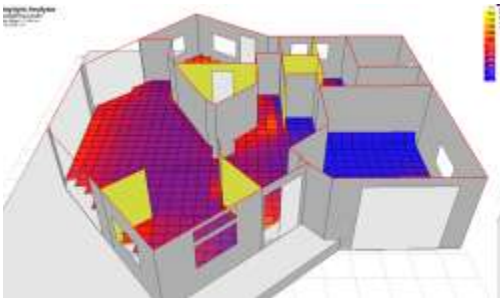
[illegible]

- Horisontogrammidel põhineva insolatsioonianalüüsi töömahukuse vähendamiseks oleme praeguseks välja arendanud eraldi skripti, mis võimaldab:
 - Iteratiivselt kõikidel valitud akendel leida insolatsiooni summaarse kestuse vastavalt EVS 894 nõuetele.
 - Raporteerida koondtabelina insolatsiooni summaarsed kestused kõikidel akendel.
- Arendamisel on skriptid maksimaalse mahu automaatseks leidmiseks.

Abstract

© 2007 THE AUTHOR
JOURNAL COMPILATION © 2007 BLACKWELL PUBLISHING LTD

3. Loomulike valgustingimuste analüüs



- Päevavalgusfaktori (DF) väärtuste arvutused ruumide töötasapinnal (vastavalt EVS 894 metoodikale),
- täiendavate dünaamiliste, päevavalgustingimusi iseloomustavate parameetrite kalkulatsioonid (DA, DAm_{max} jne).

Daylight Analysis

Daylight Factor

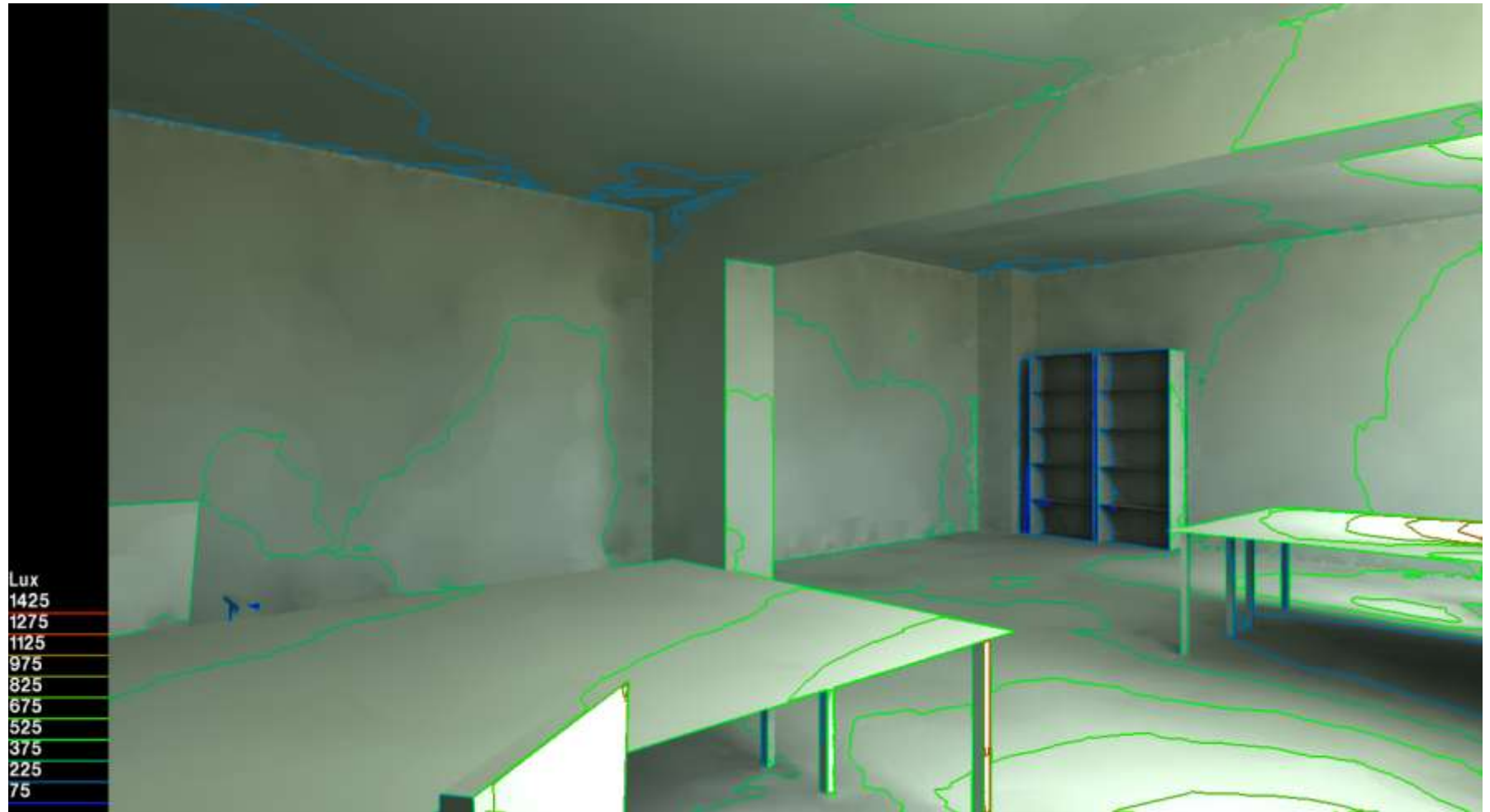
Contour Range: 0.0 - 40.0 %

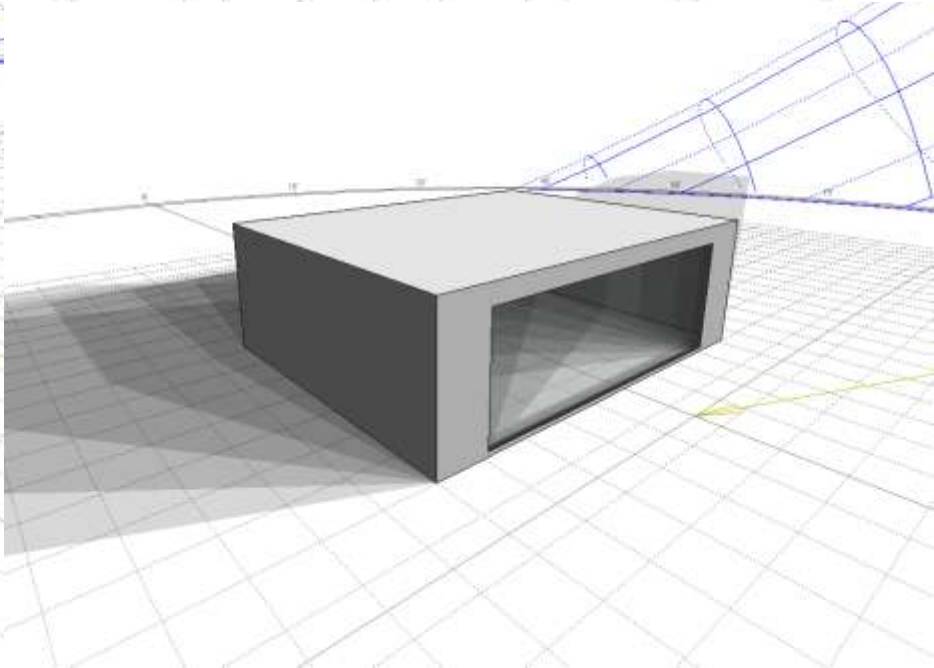
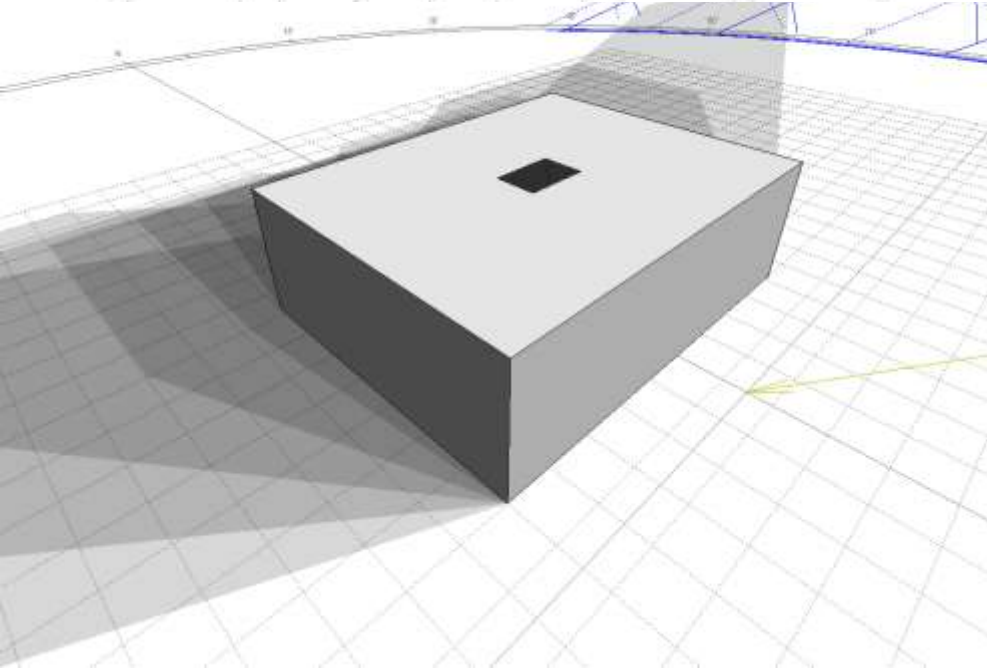
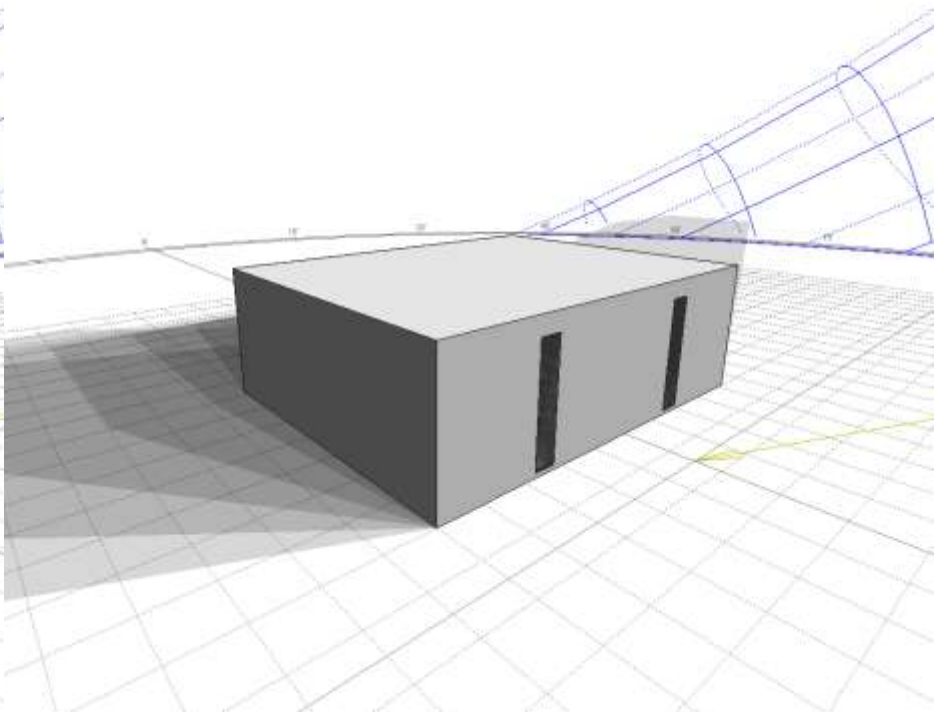
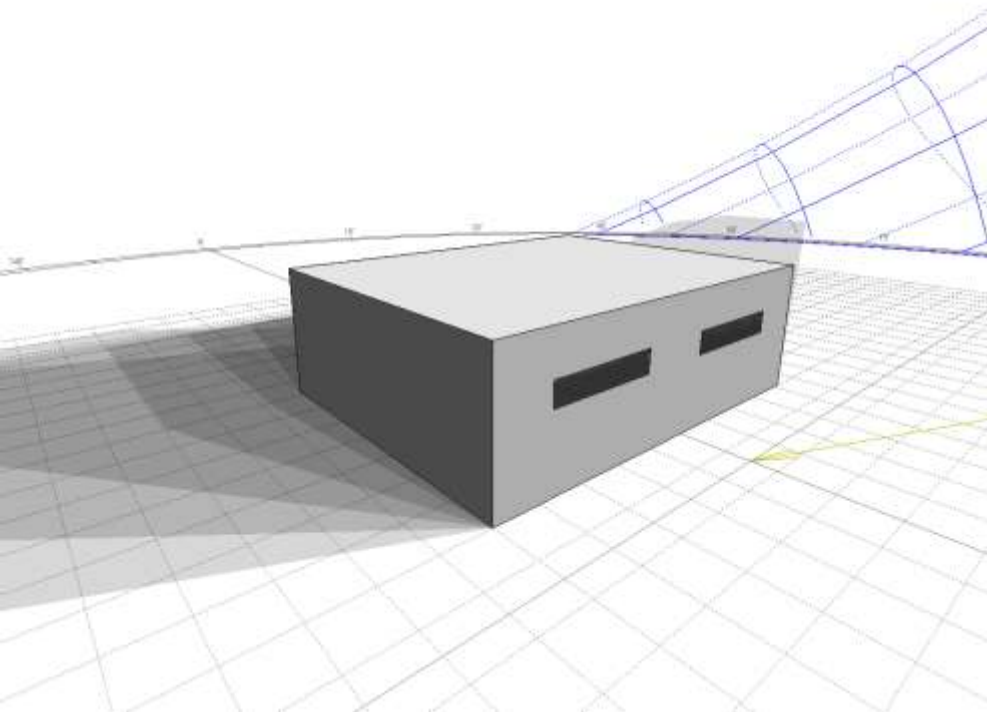
In Steps of: 4.0 %

■ ECOTECT 15









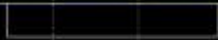
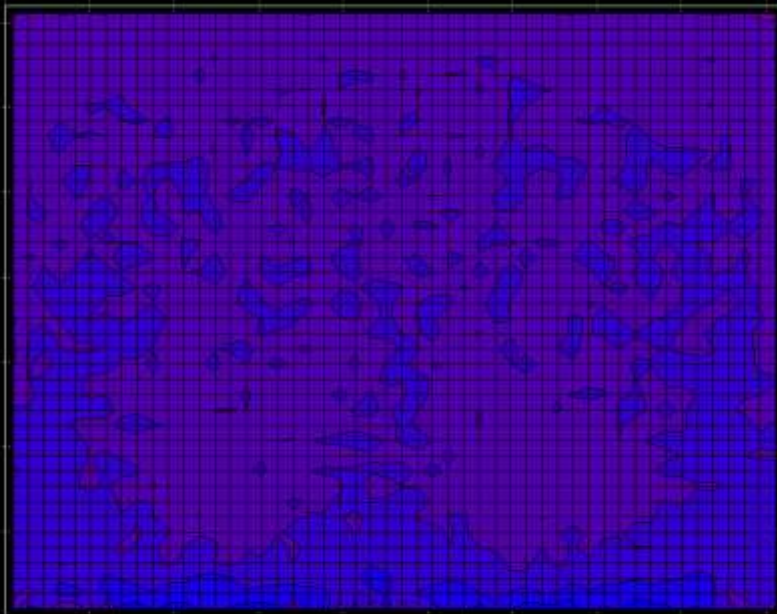
Daylight Analysis

Daylight Factor

Colour Range: 0.0 - 200.0 %

In Steps of: 1.0 %

■ 2001/01/06



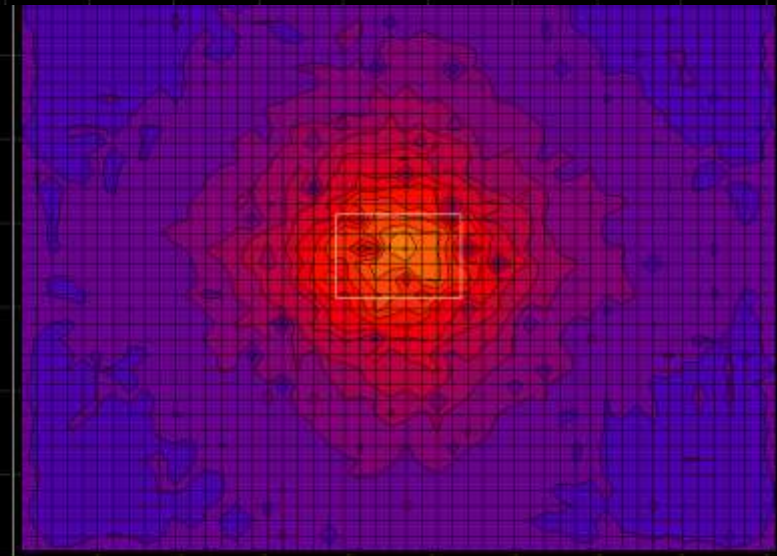
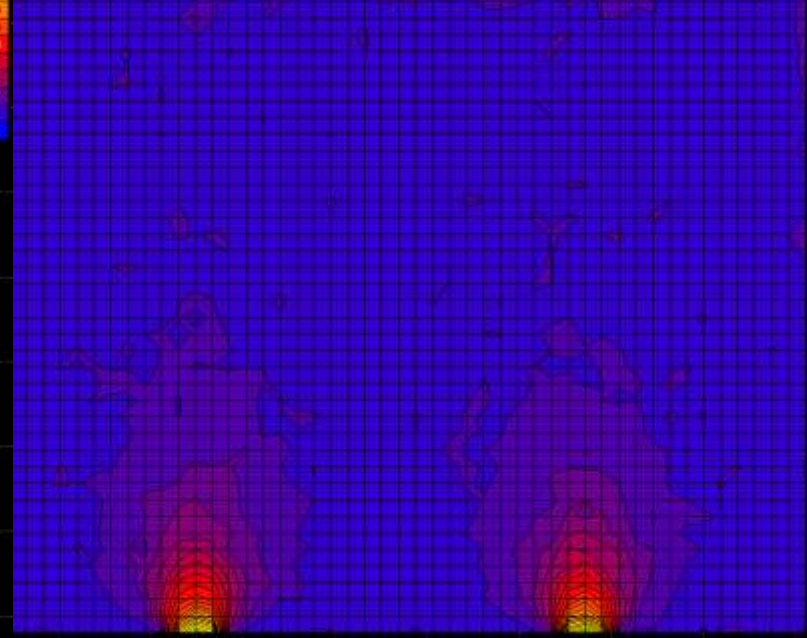
Daylight Analysis

Daylight Factor

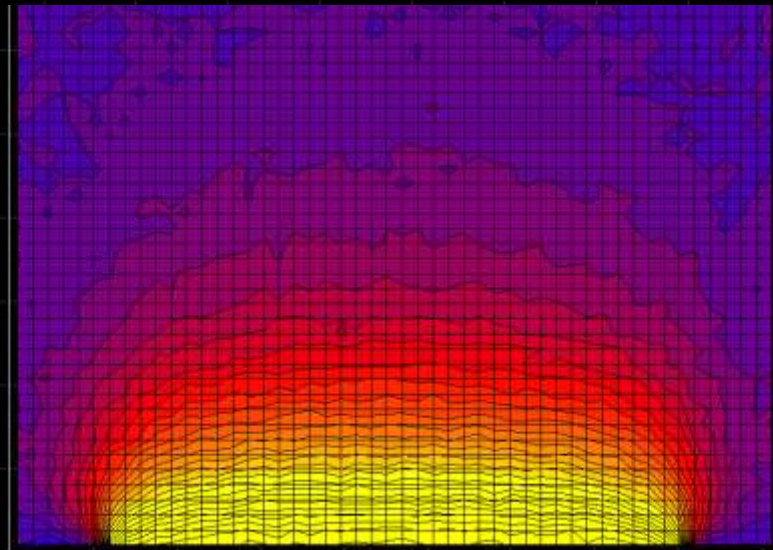
Colour Range: 0.0 - 200.0 %

In Steps of: 1.0 %

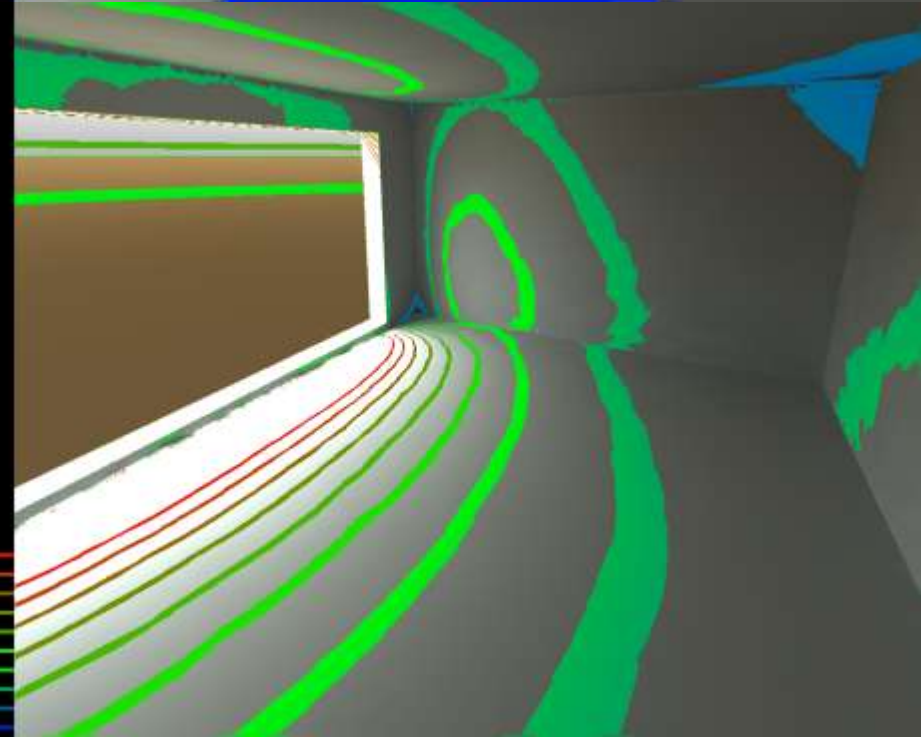
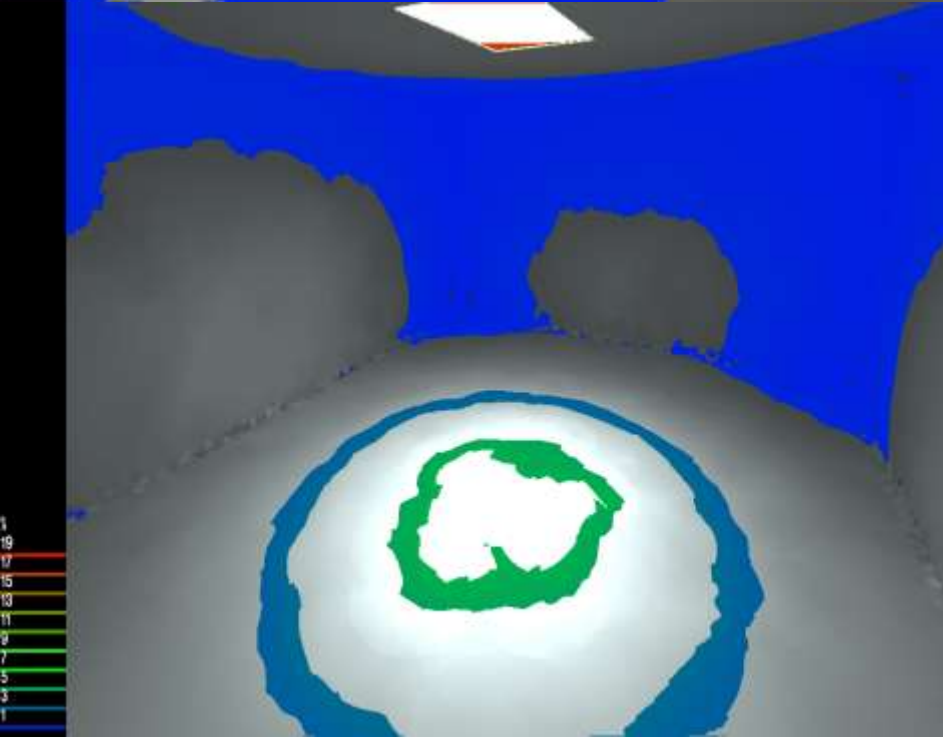
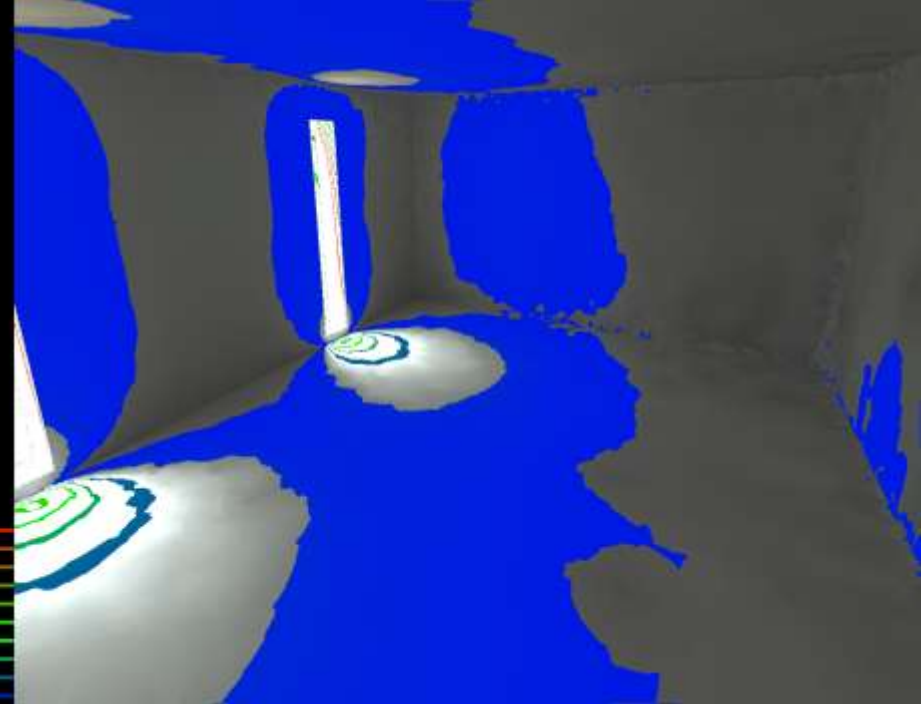
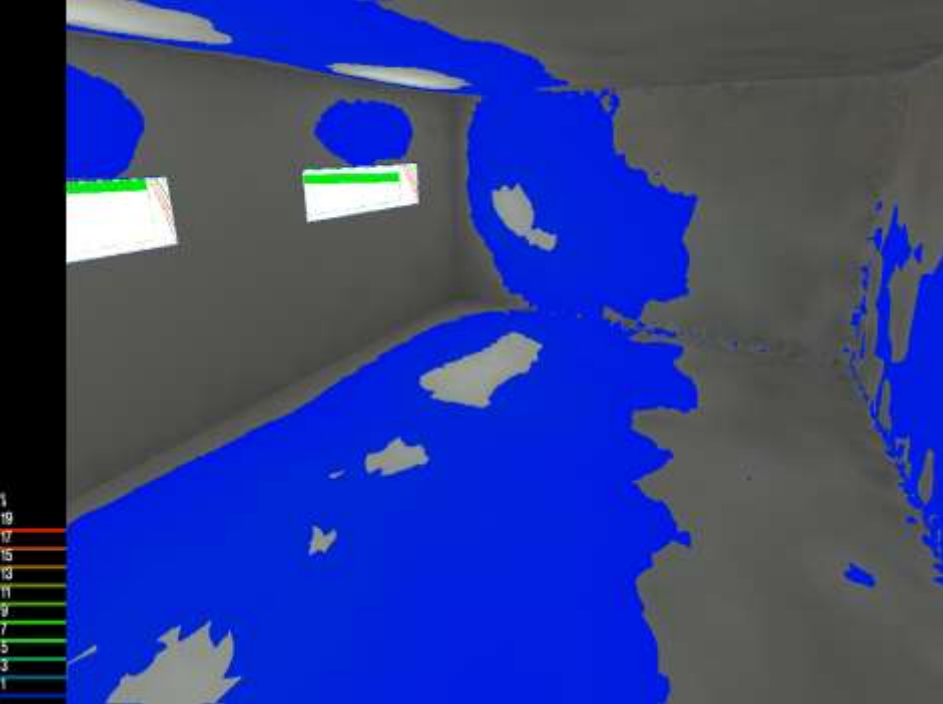
■ 2001/01/06



200.0
180.0
160.0
140.0
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0



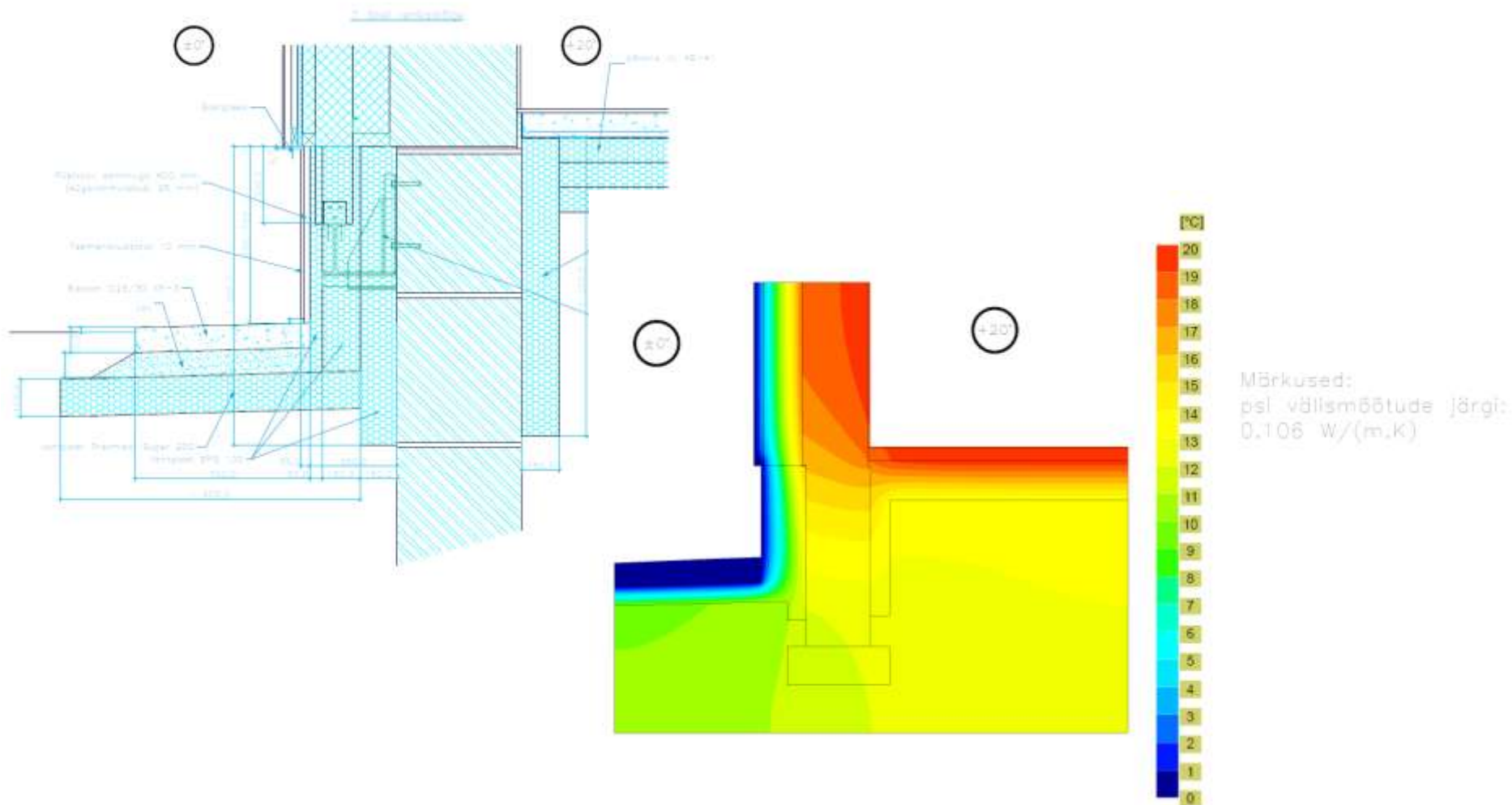
200.0
180.0
160.0
140.0
120.0
100.0
80.0
60.0
40.0
20.0
0.0



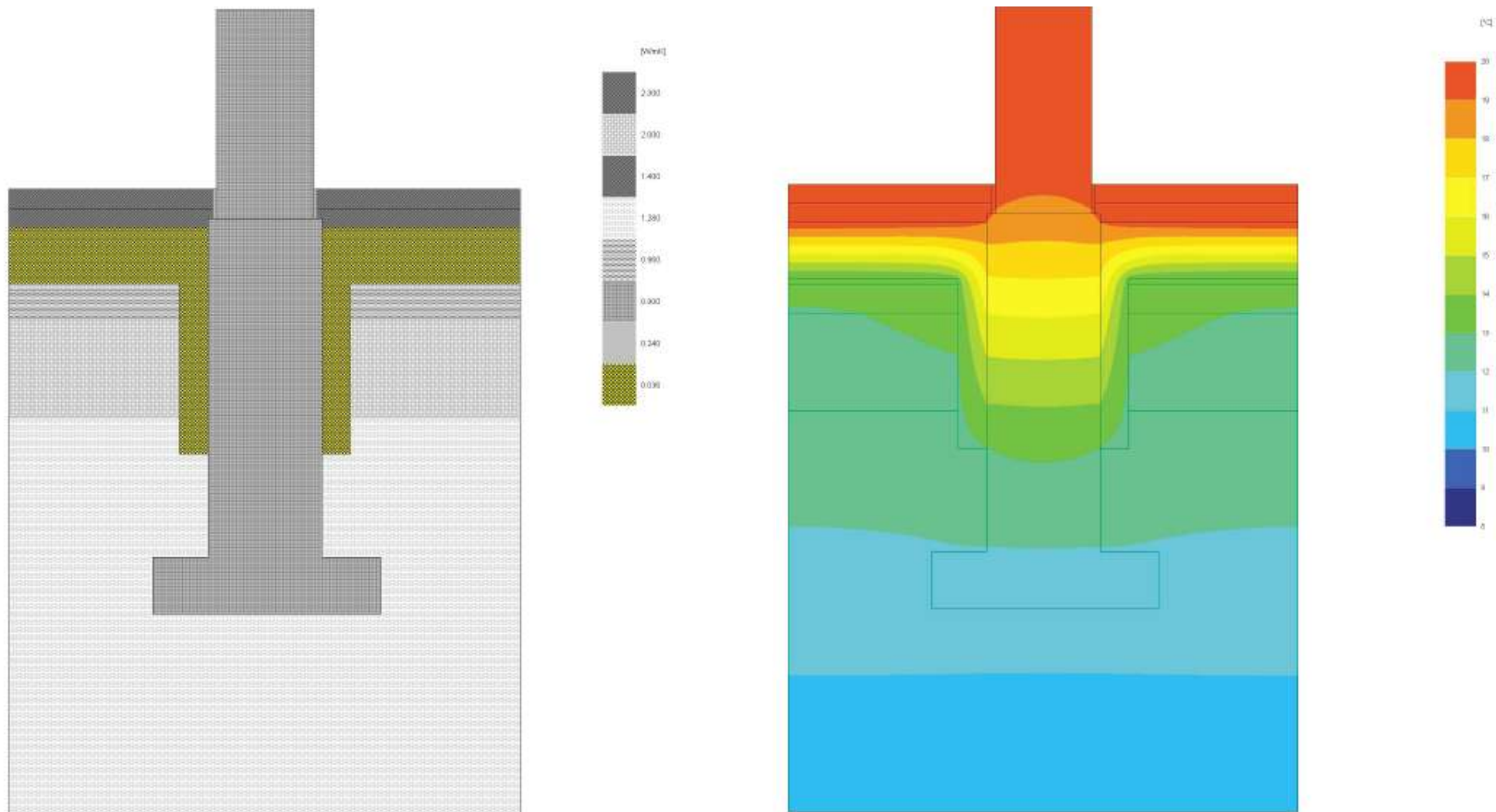
4. Külmasildade ja soojavoogude arvutused hoone konstruktsioonides

- Ehituslike sõlmlahenduste külmasildade soojusjuhtivuse staatilised ja dünaamilised arvutused (vastavalt EVS-EN ISO 10211-1 ja EVS-EN ISO 10211-2 metoodikale);
- Aknaraamide soojajuhtivuse arvutused (vastavalt EVS-EN ISO 10077-1 ja EVS-EN ISO 10077-2 metoodikale);

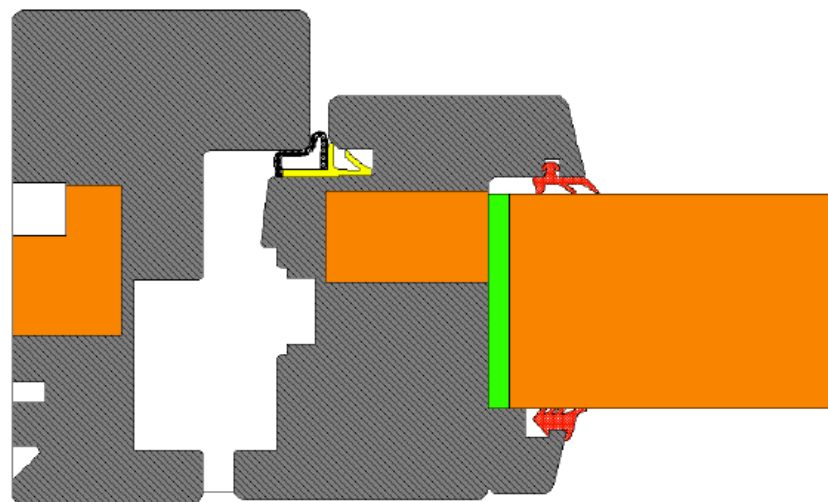
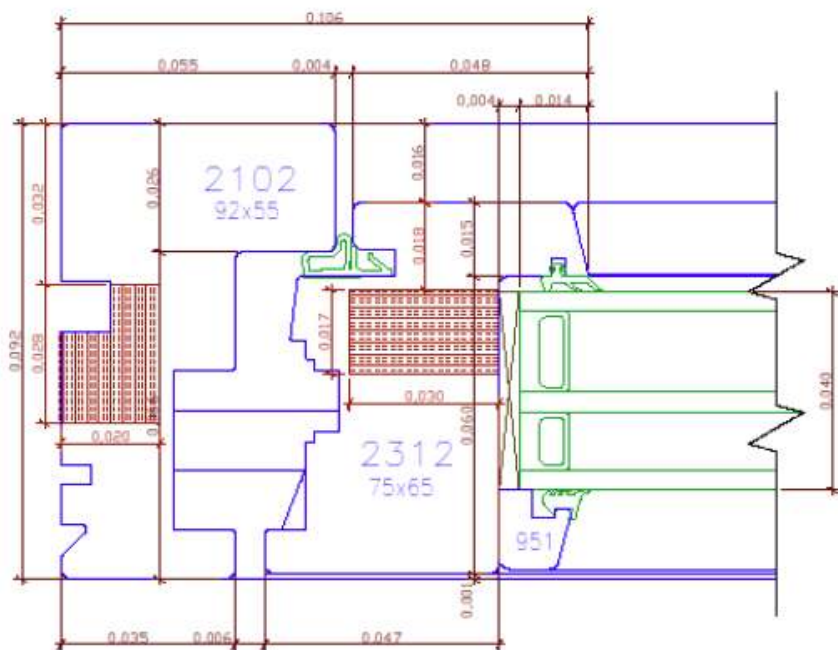
Näide 1. Soklisõlme soojajuhtivuse arvutus (Valga lasteaed “Kaseke”)



Näide 2. Kandva seina ühendussõlm põrandaga (Valga lasteaed “Kaseke”)



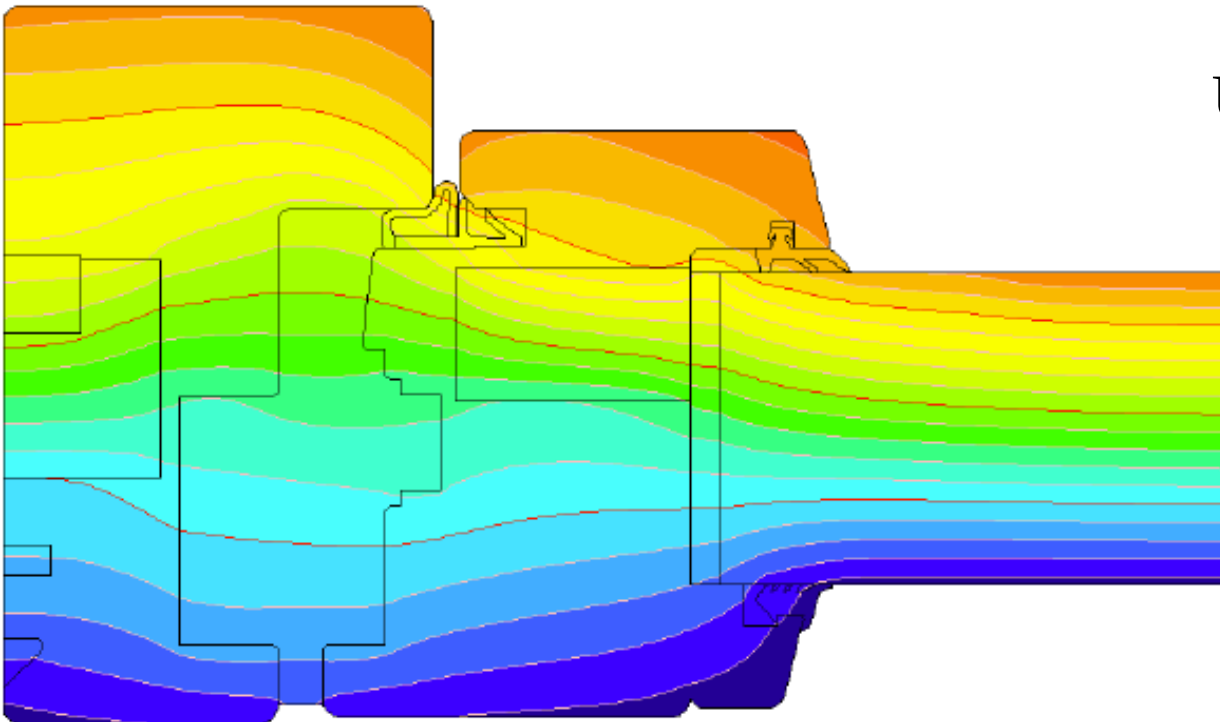
Näide 3. Puidust aknaraami soojajuhtivuse arvutus (Viking Window arenduse näitel)



Joonis 4.5. Viking 3K aken polüuretaanist vaheisolatsiooni kihiga, lõige külgmisest lengist ja raamist

Näide 3. Puidust aknaraami soojajuhtivuse arvutus (Viking Window arenduse näitel)

Kahedimensionaalsete soojavoogude numbrilisel analüüsil saadi külgmise raami ja lengi soojajuhtivuse väärtuseks $U_f = 1,300 \text{ W/m}^2\text{K}$. Temperatuuride jaotumine külgmises aknaraamis ja -lengis on esitatud joonisel 4.8.



$$U_f = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$$

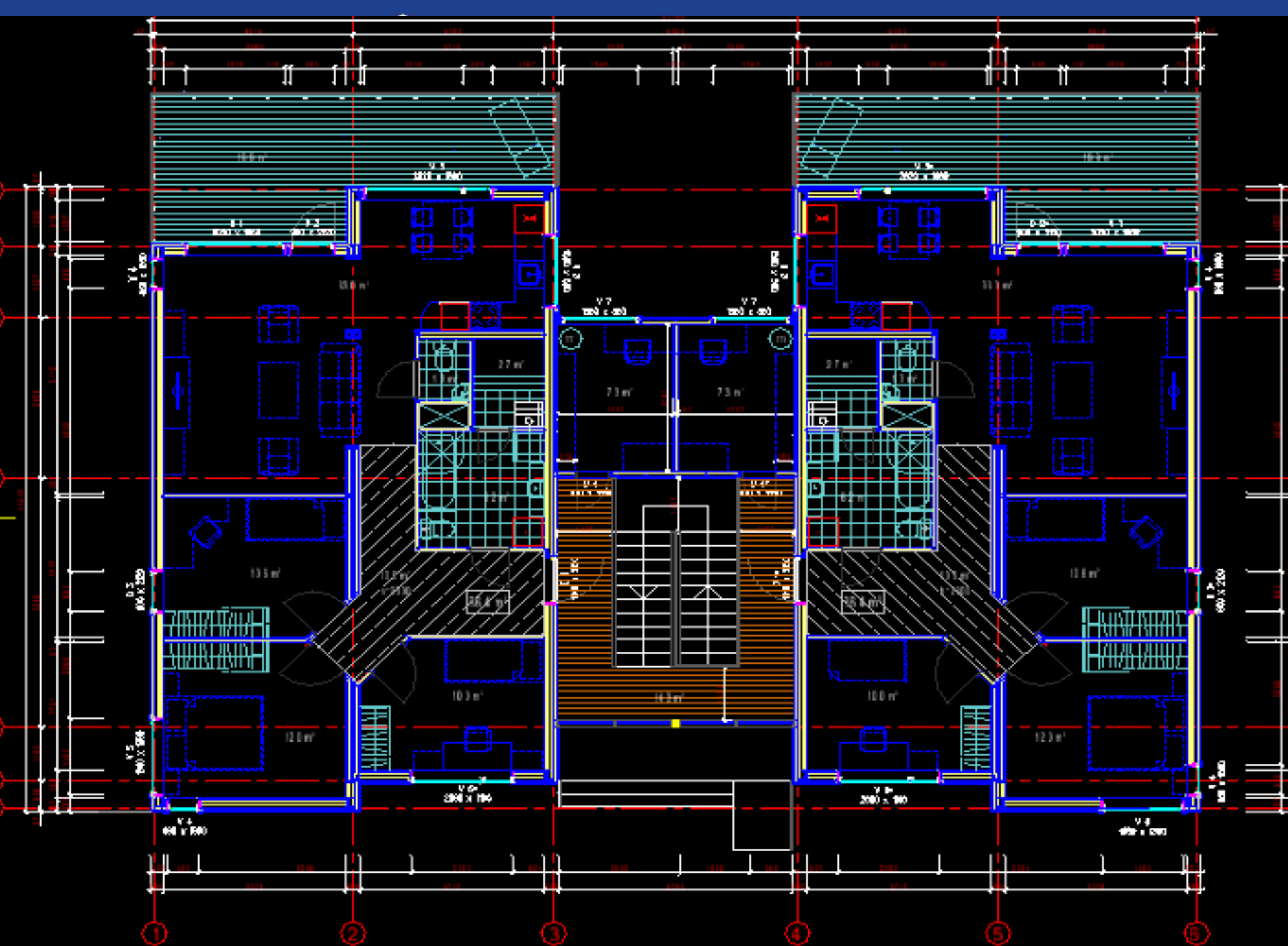
Näide 4. As-iga Kodumaja läbi viidud uuring

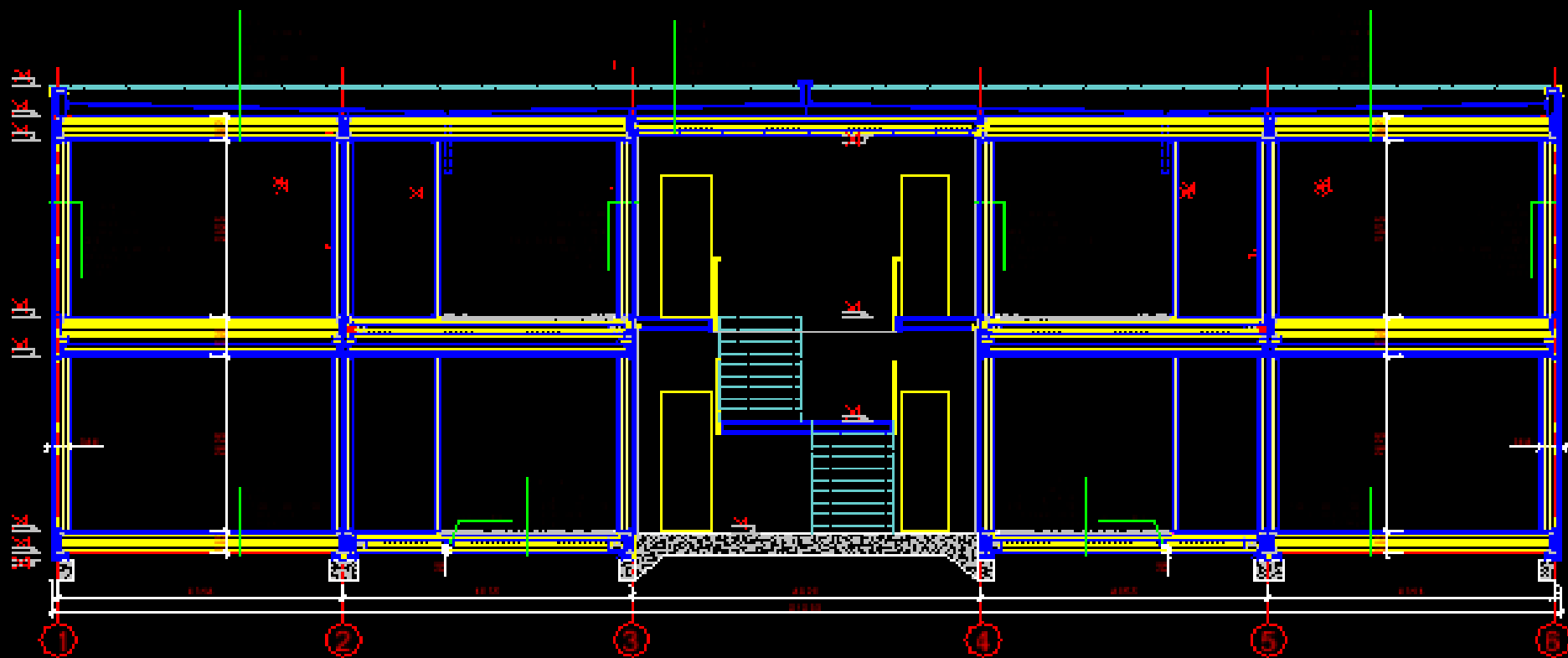
Analüüsitud hoone kirjeldus:

Ca 86,4 m² elupinnaga moodulitest hooned koos mitteköetava trepikoda/tehnoruum/töötuba vaheruumiga:

- 3-kordne ja 2-kordne
- 1.kordne paarismajana
- 1.kordne eramuna (ilma vaheruumita)



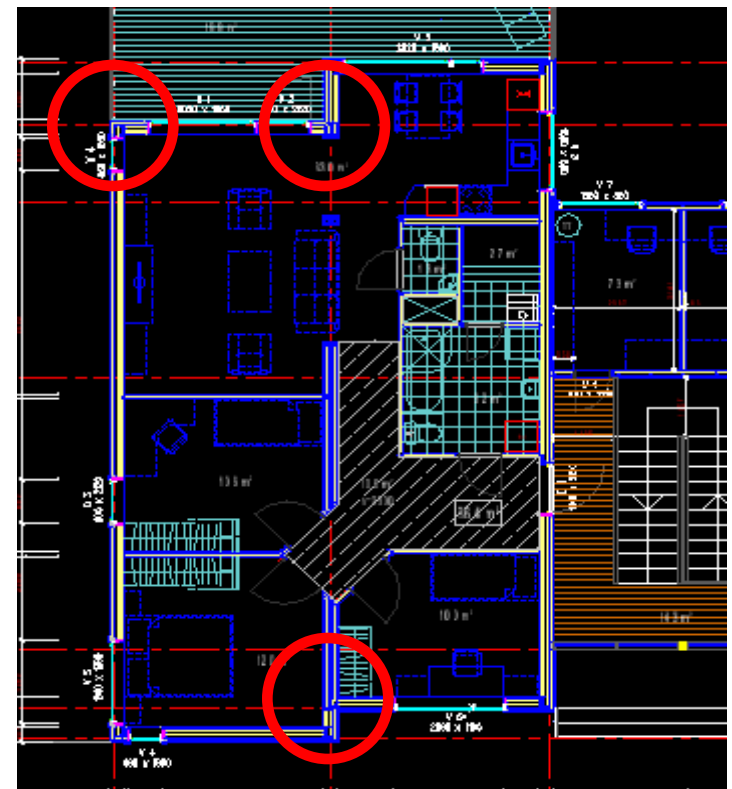
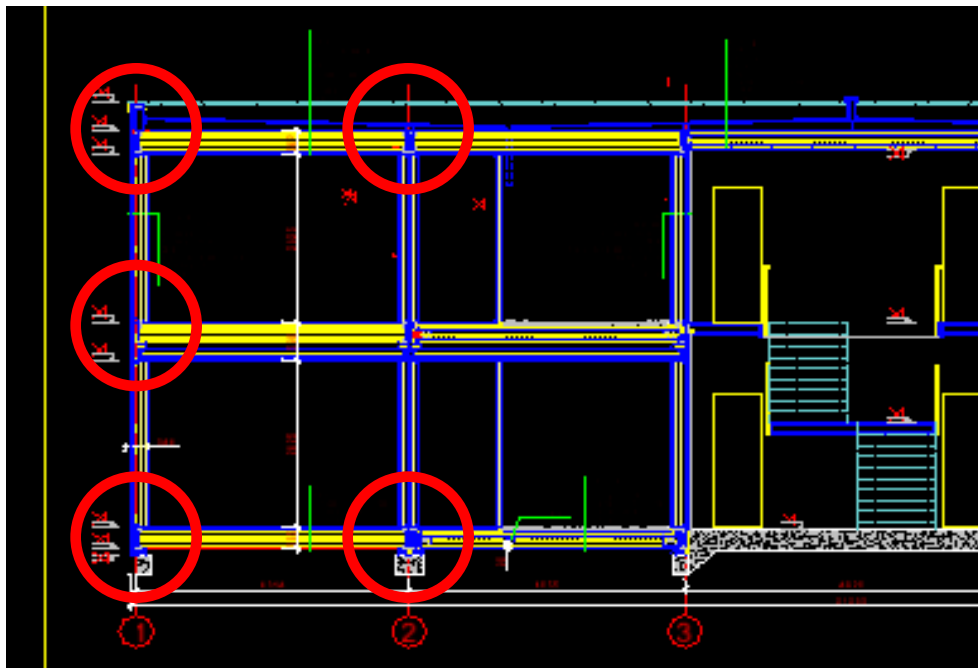




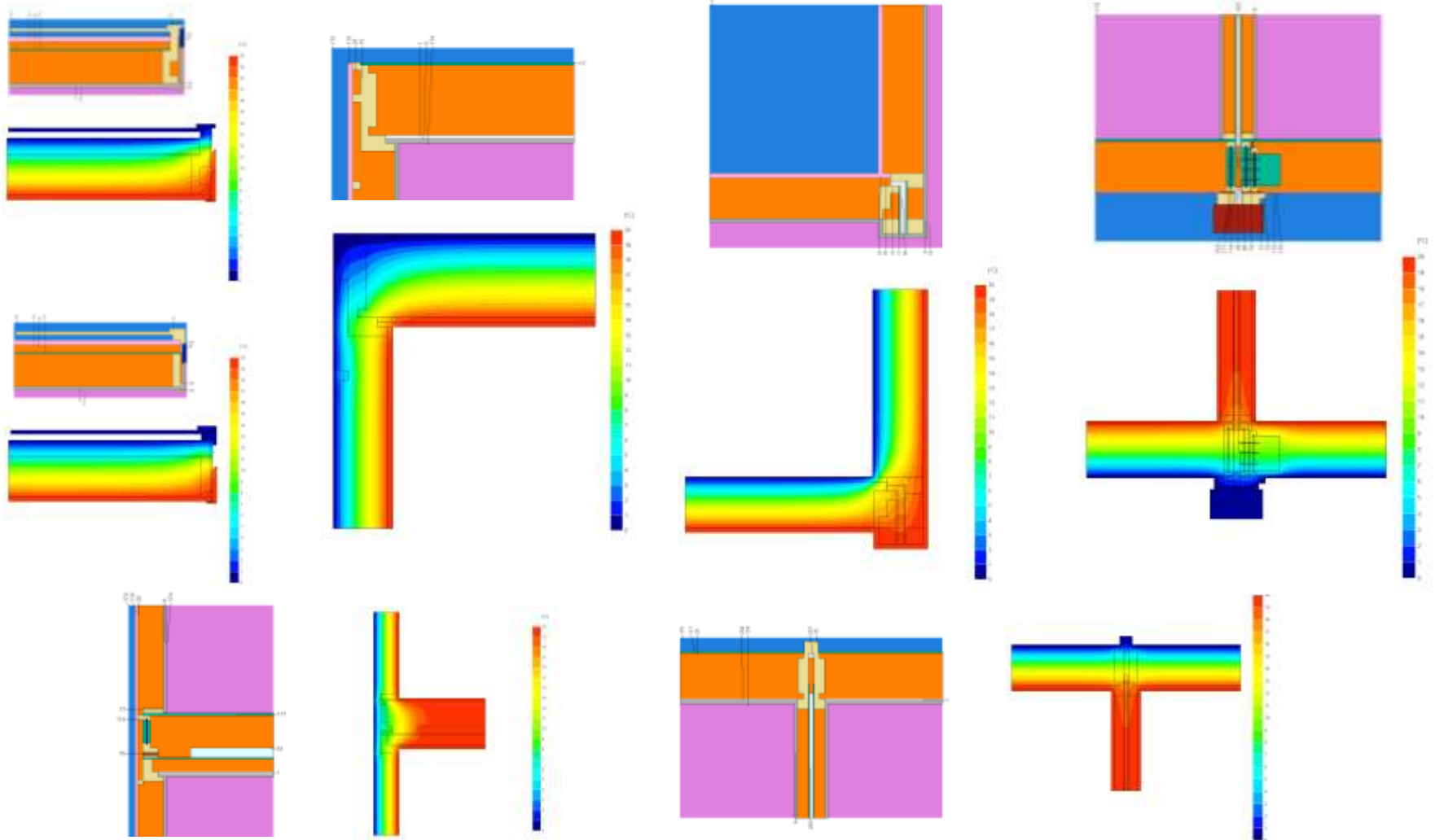
PROJEKSI	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)
PROJEKSI	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)
PROJEKSI	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)	4. KUBIKUR (10.000 m ³)

Analüüsitud sõlmed 3 “klassi” lõikes

- Ehituslike sõlmelahenduste külmasildade soojusjuhtivuse staatilised arvutused (EVS-EN ISO 10211-1 ja EVS-EN ISO 10211-2 metoodikale);



Analüüsitud sõlmed 3 “klassi” lõikes



Analüüsitud sõlmed 3 “klassi” lõikes

	"Väga madal" tase		"40" tase		"70" tase	
	välismõõdude järgi (W/mK)	sisemõõdude järgi (W/mK)	välismõõdude järgi (W/mK)	sisemõõdude järgi (W/mK)	välismõõdude järgi (W/mK)	sisemõõdude järgi (W/mK)
katuslae nurk	-0,048	0,028	-0,033	0,049	-0,027	0,054
seina sisenurk1	0,044	-0,041	0,035	-0,038	0,046	-0,029
seina sisenurk2	0,045	-0,040	0,039	-0,034	0,049	-0,026
seinanurk	-0,038	0,034	-0,023	0,050	-0,015	0,060
sokli nurk	-0,039	0,033	-0,030	0,049	-0,023	0,054
vahelagi	0,015	0,015	0,033	0,033	0,045	0,045
vahesein katuslagi	0,026	0,026	0,032	0,032	0,039	0,039
vahesein põrand	0,064	0,064	0,070	0,070	0,076	0,076
akna kinnitus (variant 1)	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
akna kinnitus (variant 2)	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023

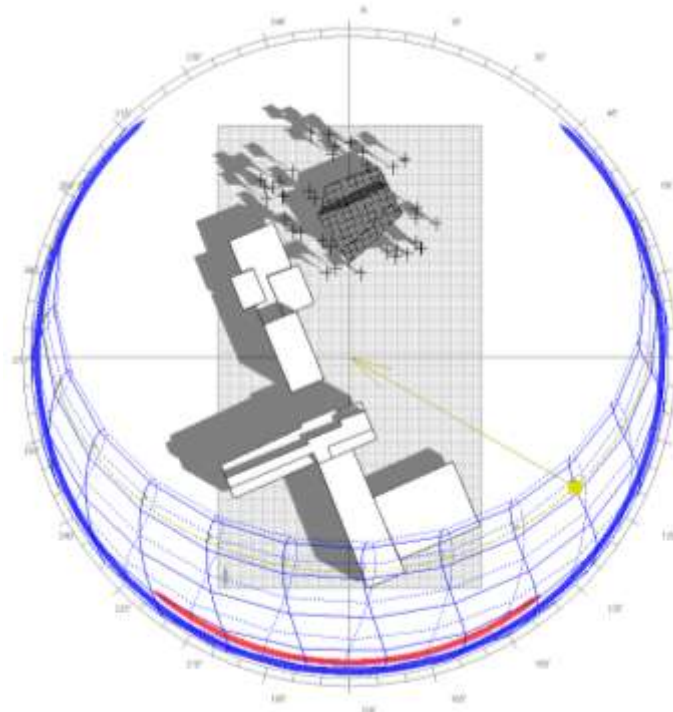
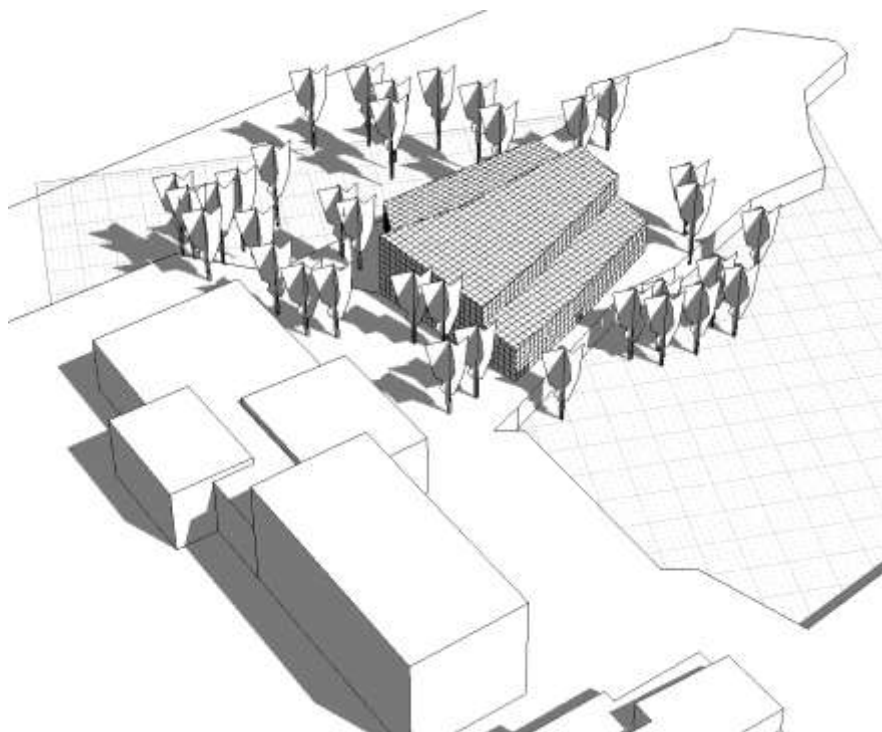
5. Hoone energiakasutuse ja sisekliima analüüs

- Staatileine soojabilansi arvutus (vastavalt ISO 13790 metoodikale);
- Dünaamilised soojabilansi arvutused:
 - sh kütte- ja jahutusvajaduse dünaamika;
 - suviste ruumitemperatuuride prognoos;
 - passiivsete lahenduste mõju hindamine kütte- ja jahutusvajaduse kujunemisele;
 - jne...

5.1. Lihtsustatud (staatilised) arvutusmeetodid

- Mitmesugused staatilised ja pooldünaamilised arvutusmeetodid annavad võimaluse hoonete aastast või igakuist energiatarbimist ligikaudselt hinnata. Lihtsamate hoonete puhul saab kasutada staatilise iseloomuga arvutusmetoodikaid:
 - Kraadpäevade metoodika;
 - EVS EN-ISO 13790 toodud kütteperioodi ja kuubilansside meetod;
 - Temperatuuride kestvuskõveral põhinevad metoodikad.
- Madala energiatarbe ja muutliku sisekasutuse tingimustes jääb täpsusest ja tundlikkusest vajaka. Eriti keerulisemate hoonete puhul mõningate aspektide arvestamisel: nt materjalide termiline mass, kiirgusolude varieerumine jne

Näide 1. Staatiliste arvutuste näide (Tartu loodusmaja)



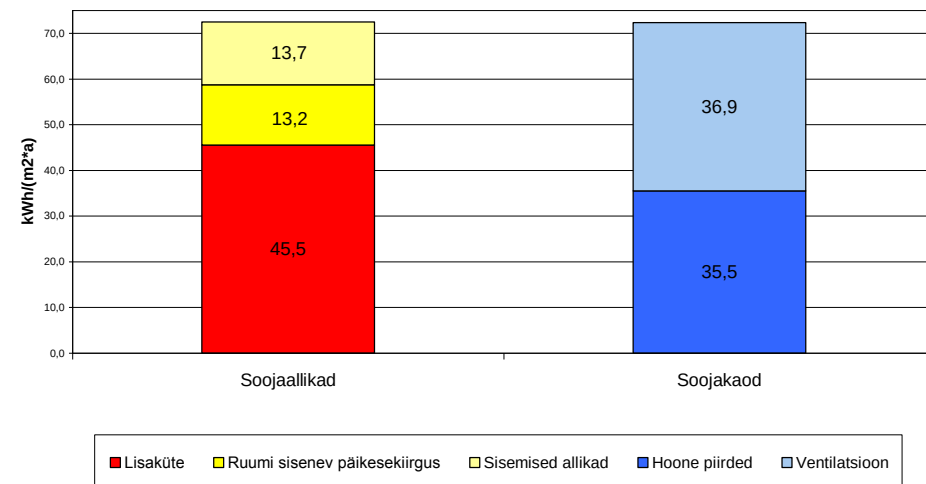
- Hoone energiabilansi ligikaudsed arvutused, passiivmajataseme saavutamise võimalikkuse hindamine.
- Energiavajadus arvutati tarkvaraga PHPP2007 (standard EVS-EN 13790 metoodika).

	Esialgne variant	parandus-variant I	parandus-variant II	
Välisseina soojajuhtivus U	0,1	0,1	0,1	W/m2K
Katuslae soojajuhtivus U	0,07	0,07	0,07	W/m2K
Põrand pinnasel soojajuhtivus U	0,08	0,06	0,06	W/m2K
Sein vastu pinnast soojajuhtivus U	0,13	0,11	0,11	W/m2K
soklisoojustuse olemasolu	horisont.	horisont.	horisont.	
soklisoojustuse laius	1,2	1,2	1,2	m
soklisoojustuse kihi paksus	0,2	0,2	0,2	m
soklisoojustuse materjali erisoojajuhtivus λ	0,04	0,04	0,04	W/mK
klaaspaketi soojajuhtivus U_g	1,1	0,91	0,67	W/m2K
klaaspaketi päikesekaitsetegur g	0,56	0,55	0,5	W/m2K
anaraami soojajuhtivustegur U_f	1,3	1,11	0,76	W/m2K
klaaspakett-raam joonkülmasilla soojajuhtivus ψ	0,04	0,031	0,036	W/mK
sein-raam joonkülmasilla soojajuhtivus ψ	0,04	0,04	0,04	W/mK
ventilatsiooniagregaadi tootlikkus	8000	8000	8000	m3/h
hoone ventileeritav kubatuur	6750	6750	6750	m3
hoone keskmine õhuvahetuskordsus ventileerimisel	0,8	0,8	0,8	1/h
infiltratsioonist tingitud õhuvahetuskordsus 50Pa alarõhul n50	1	0,6	0,3	1/h
vent.agregaadi hetkeline kasutegur soojustagastusel	79	88	92	%
kasulik pind	1612,1	1612,1	1612,1	m2
arvestuslik kōetav pind energiaarvutustel	1564,7	1564,7	1564,7	m2

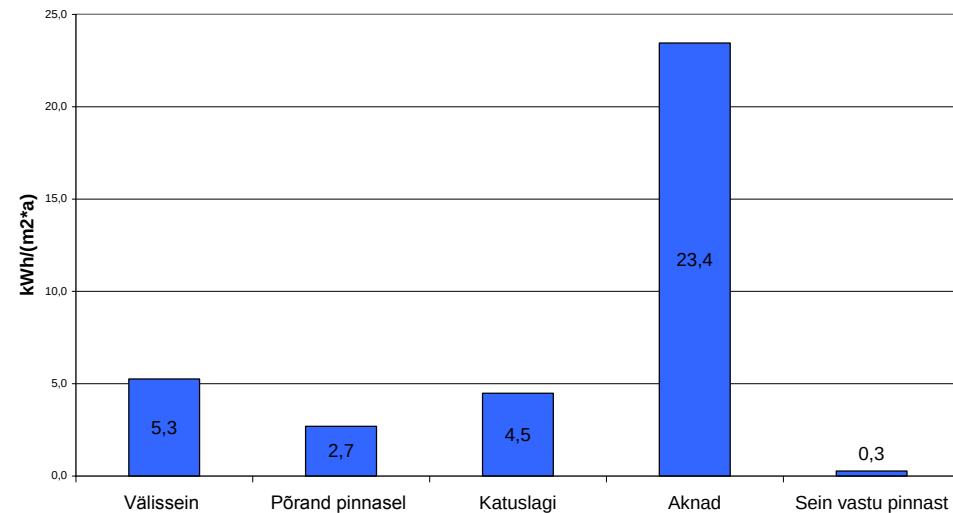
Esialgne variant

- Projekt muutmata kujul, geomeetria ja avad ning piirded vastavalt arhitekti poolt esitatud eskiisile ja hoone esialgsele kirjeldusele.

Hoone soojabilanss



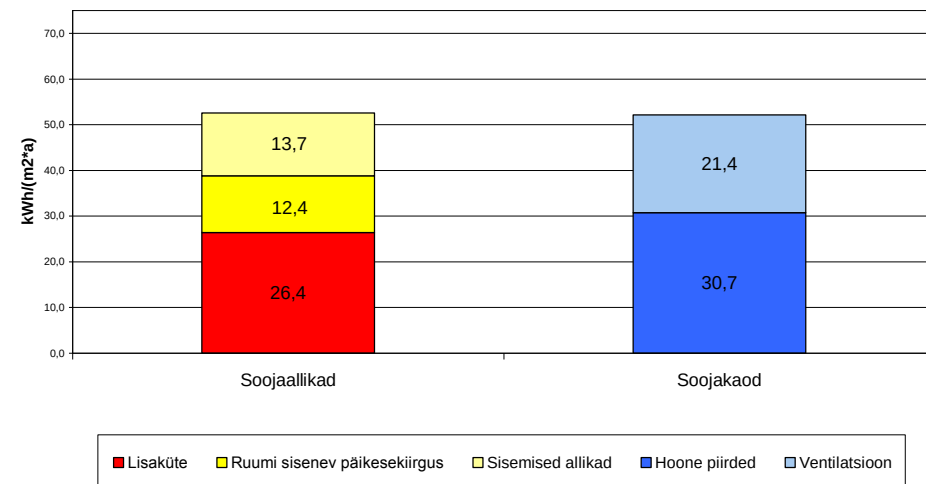
Soojakaod läbi hoone välispiirete [kWh/(m²*a)]



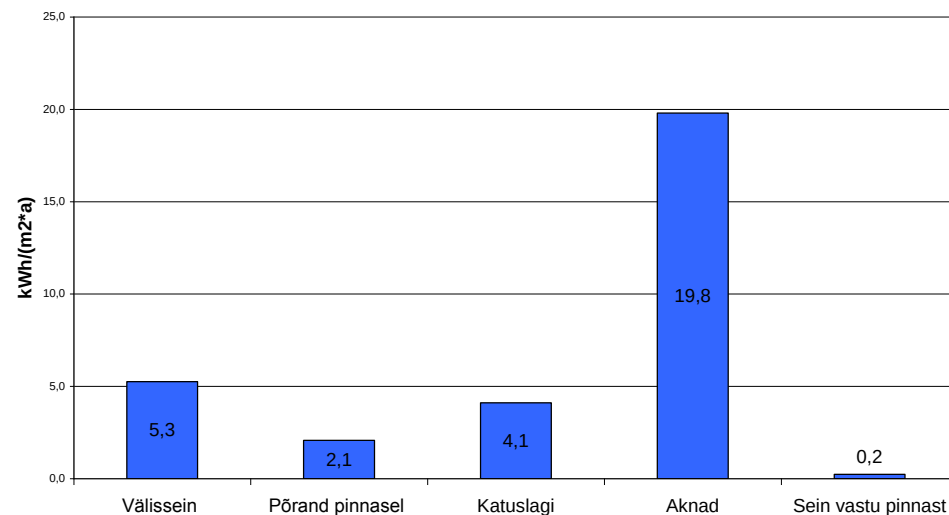
Parandusvariant 1

- Esialgse projektiga võrreldes:
 - Pinnasega kokkupuutuvate välispiirete ning katuslae täiendav soojustamine.
 - Parema soojapidavusega klaaspaketid ($0,91 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja raamid ($1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$).
 - Parem õhupidavus välispiirdes ($n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$).
 - Tõhusam soojatagastus ventilatsiooniagregaadis (temperatuuri suhtarv $0,88$).

Hoone soojabilanss



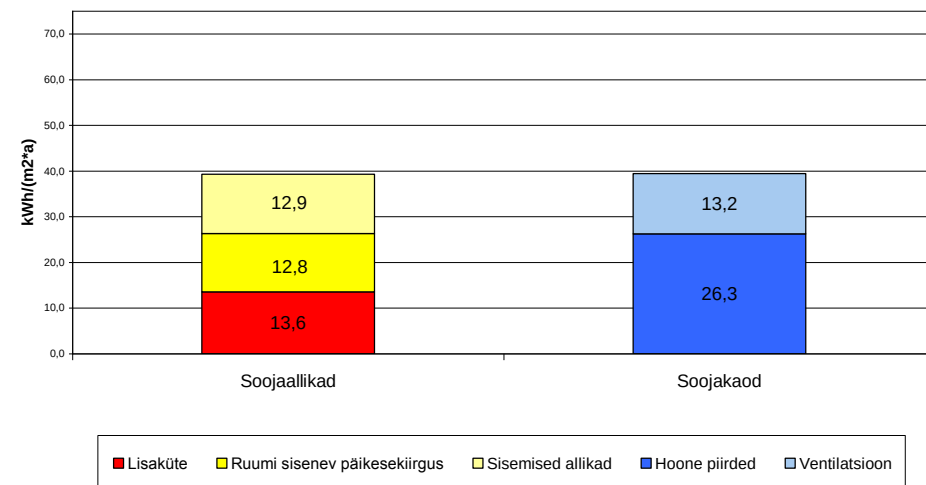
Soojakaod läbi hoone välispiirete [kWh/(m²·a)]



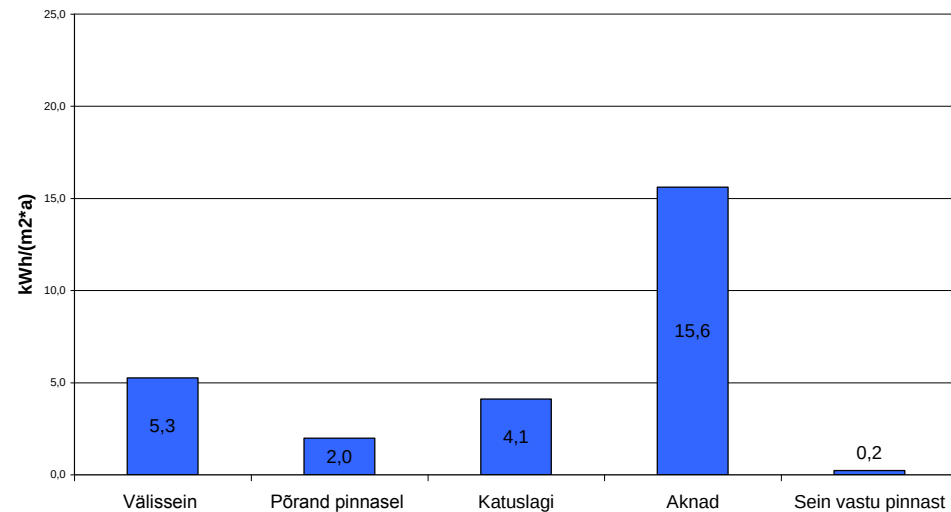
Parandusvariant 2

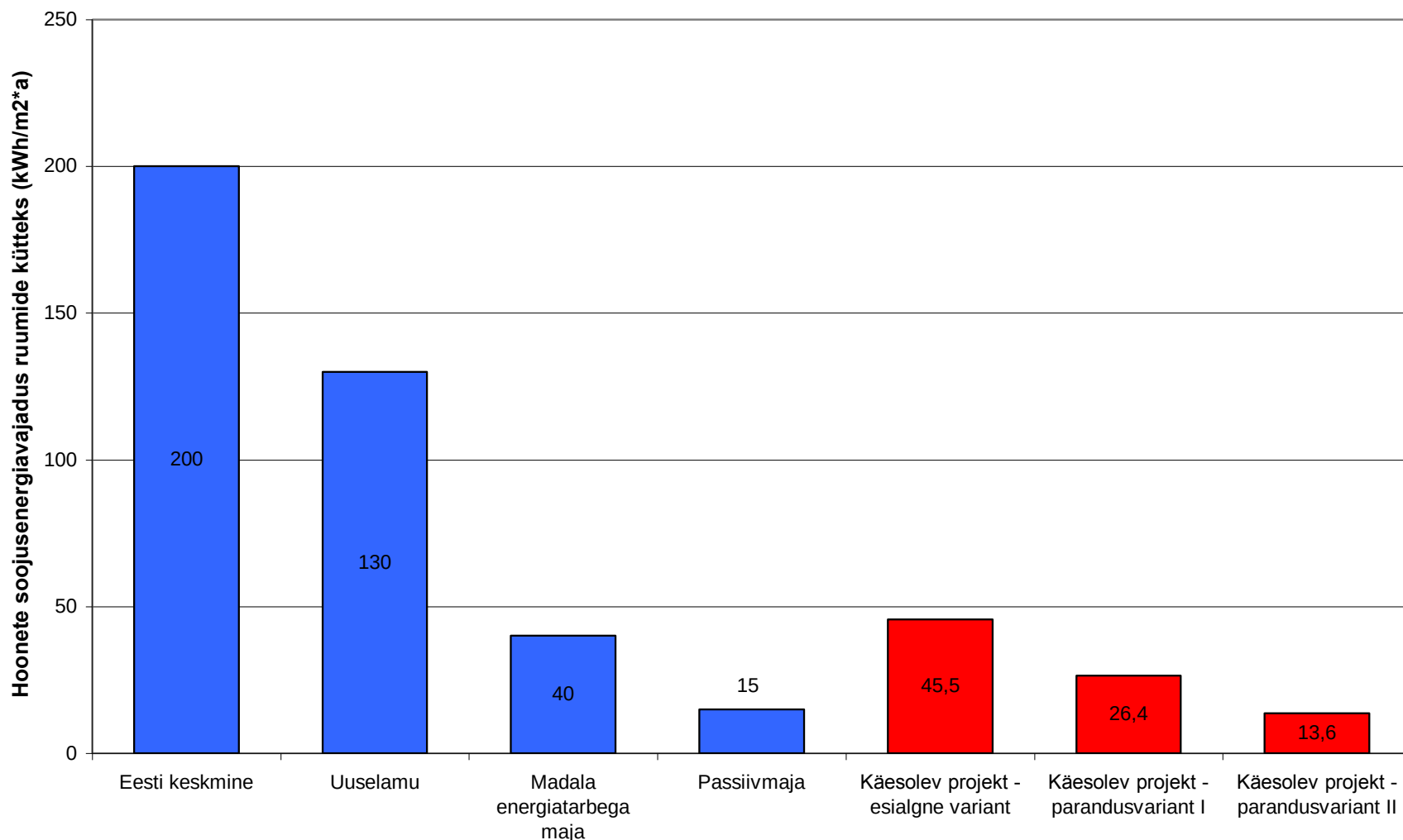
- Parandusvariant 1 võrreldes:
 - Parema soojapidavusega klaaspaketid ($0,67 \text{ W/m}^2\text{K}$) ja raamid ($0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$).
 - Parem (väga hea) õhupidavus välispiirdes ($n_{50} = 0,3 \text{ h}^{-1}$).
 - Tõhusam soojatagastus ventilatsiooniagregaadis (temperatuuri suhtarv $0,92$).

Hoone soojabilanss



Soojakaod läbi hoone välispiirete [kWh/(m²·a)]





Toodud tulemused iseloomustavad hoone soojusenergiavajadust ruumide kütteks ning ei käsitle energiavajadust tarbevee soojendamiseks ja olmeseadmete, valgustuse ning tehnosüsteemide käitamiseks.

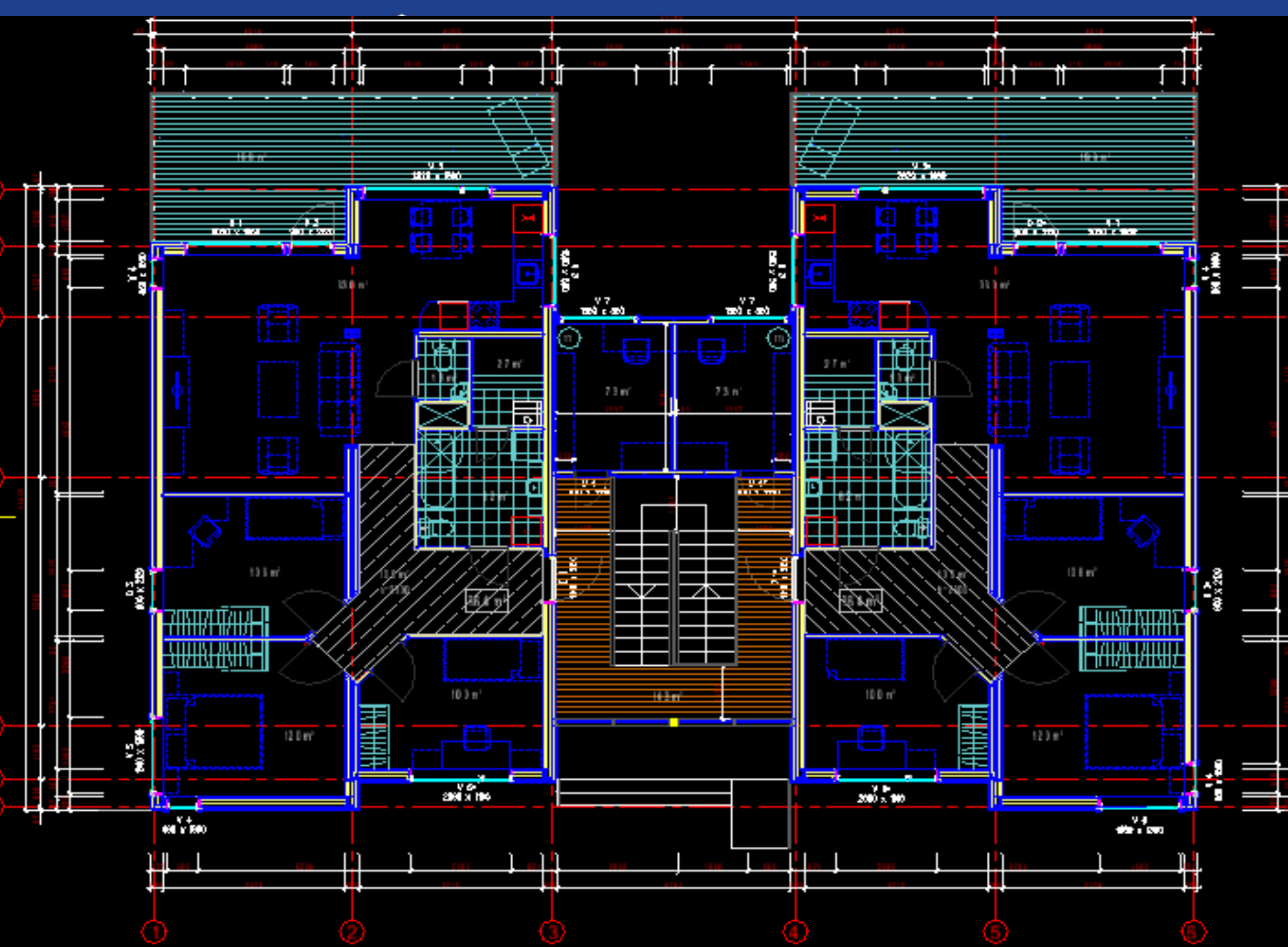
Näide 2. As-iga Kodumaja läbi viidud uuring

Analüüsitud hoone kirjeldus:

Ca 86,4 m² elupinnaga moodulitest hooned koos mitteköetava trepikoda/tehnoruum/töötuba vaheruumiga:

- 3-kordne ja 2-kordne
- 1.kordne paarismajana
- 1.kordne eramuna (ilma vaheruumita)



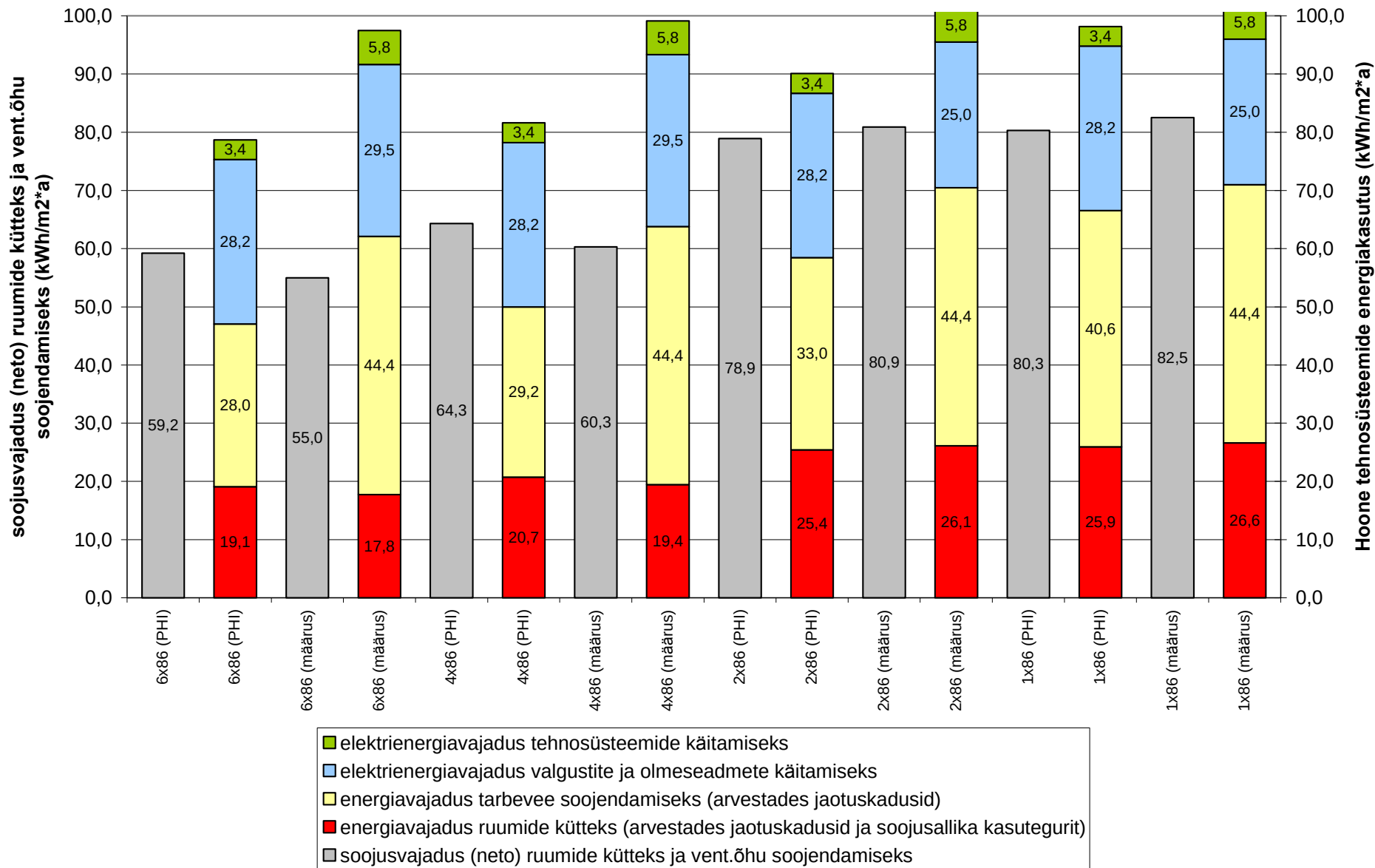




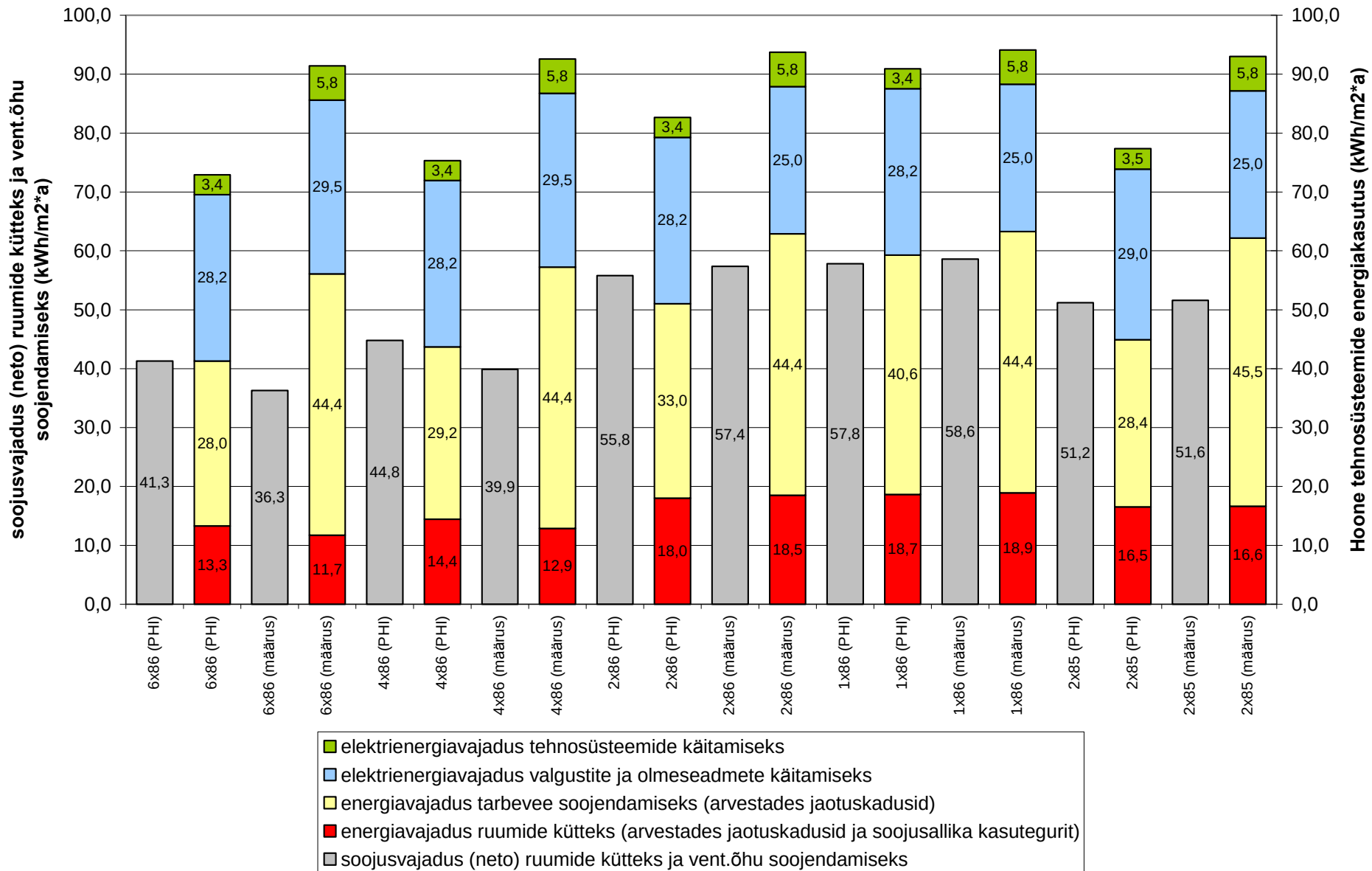
Olulisemad parameetrid analüüsitud hooneklasside lõikes.

	"70" tase	"40" tase	"väga madal" tase
välissein (U-väärtus)	0,192	0,155	0,08
katuslagi (U-väärtus)	0,125	0,095	0,077
põrand (U-väärtus)	0,118	0,091	0,074
trepikojauks (U-väärtus)	1,4	1,4	1,4
aknaraam (U-väärtus)	1,4	1,4	0,85
klaaspakett (U-väärtus)	1,4	0,61	0,66
keskmine õhuvahetus ventileerimisel (ACH) (ET määrus / kavandatav)	0,58 / 0,41	0,58 / 0,41	0,58 / 0,41
vent.agregaadi st efektiivsus (%)	80	80	92
hoone õhupidavus (n50: h-1)	0,8	0,8	0,6

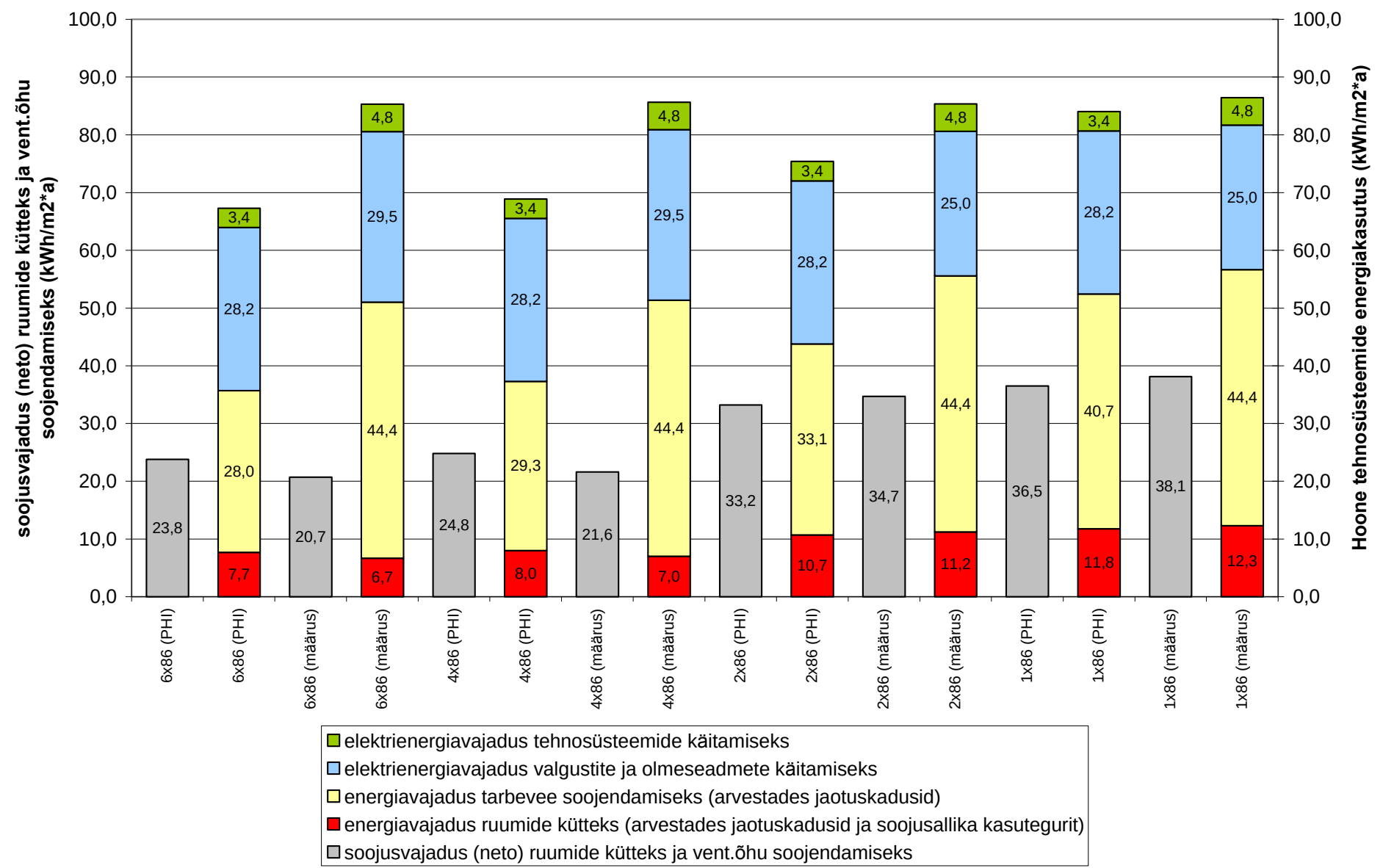
Hoone energiavajadused ("70 tase")



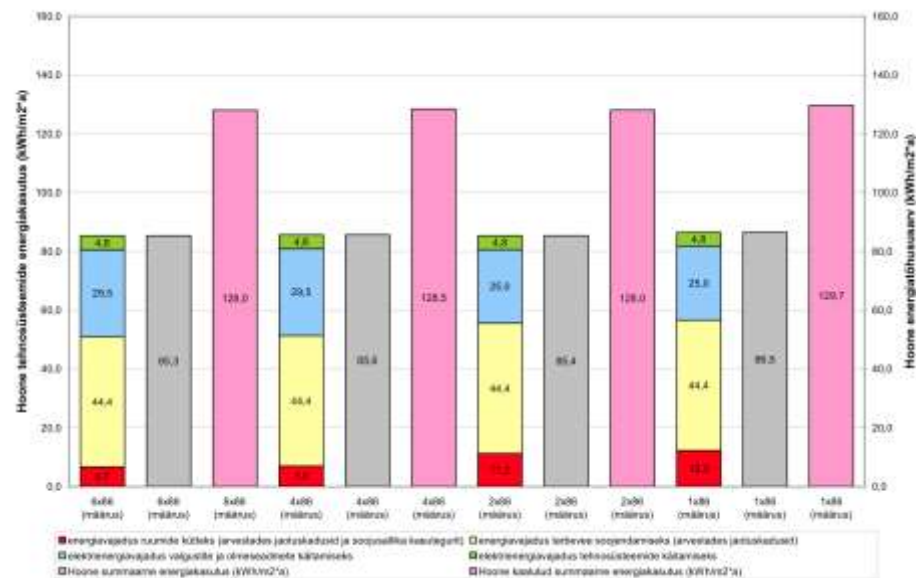
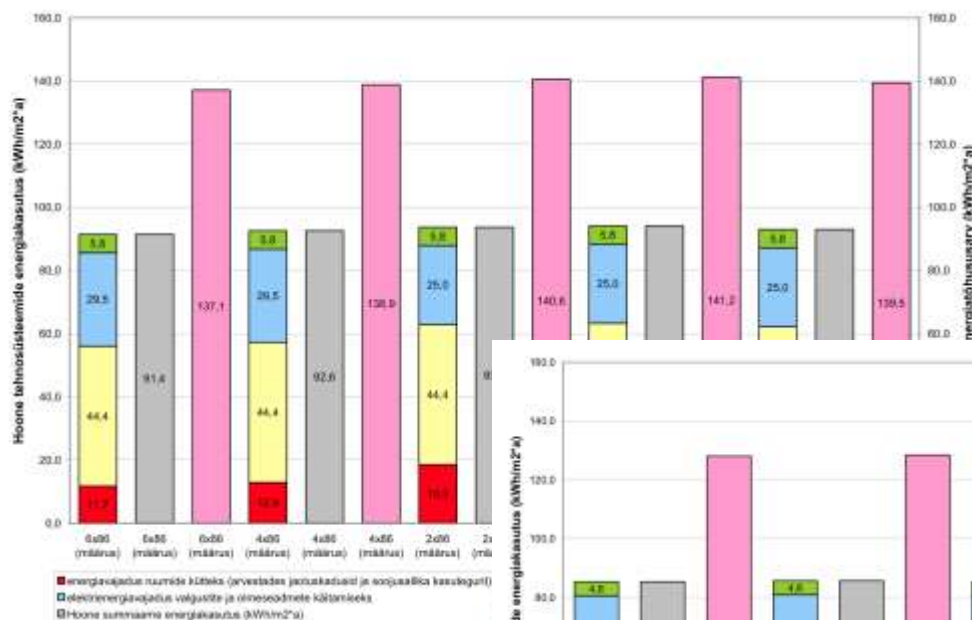
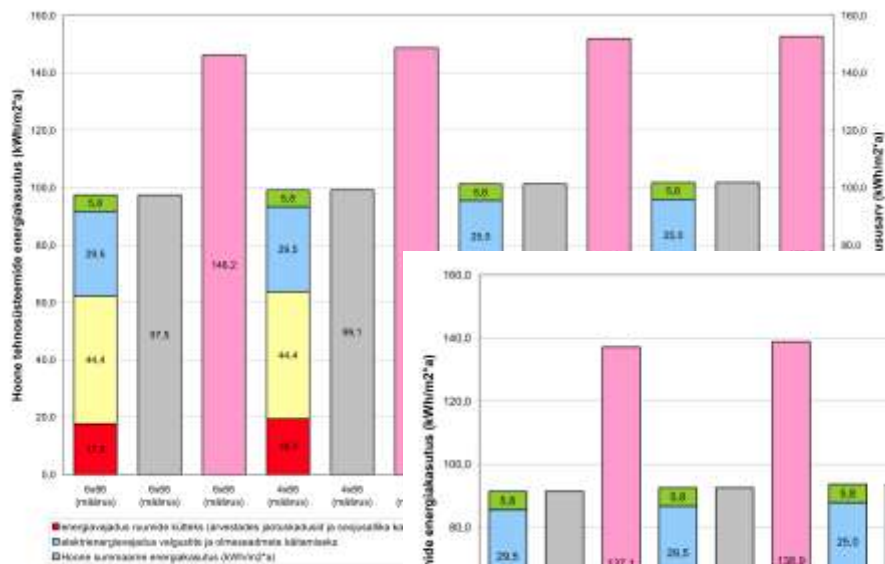
Hoone energiavajadused ("40 tase")



Hoone energiavajadused (“Väga madal tase”)



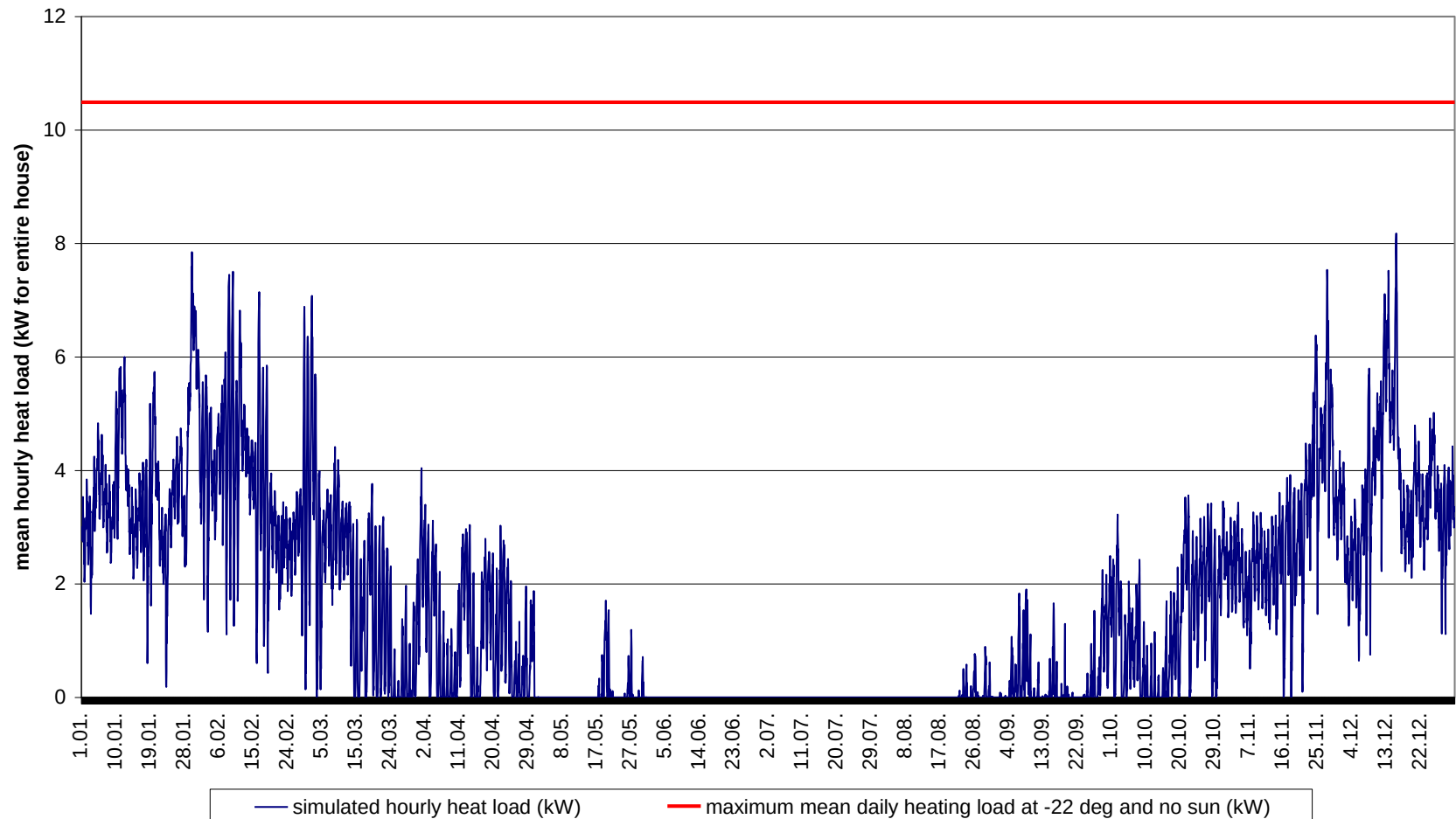
ET-arv analüüsitud hoonete lõikes





Simulated hourly heat demand (**EnergyPlus**) for entire house. Annual specific heat demand: 38,7 kWh/(m²*a)

4x86 ("40 kWh tase") | Heat demand = 39,9 kWh/m²*a (PHPP) or 38,7 kWh/m²*a (EnergyPlus v4)
internal heat gains = 4,4 W/m² | Internal temp = 21 degC

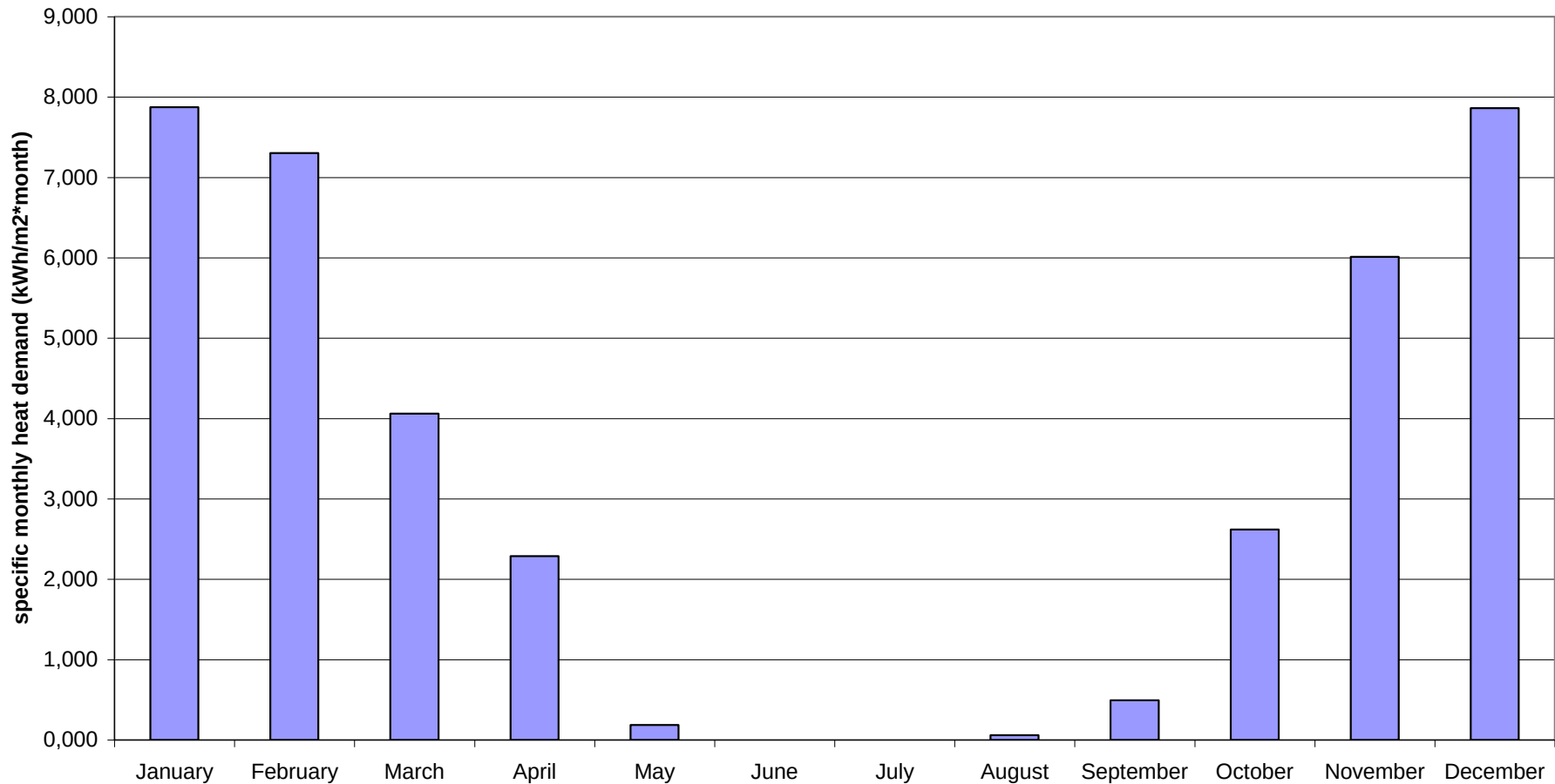




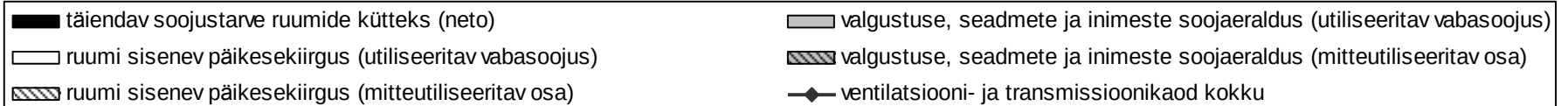
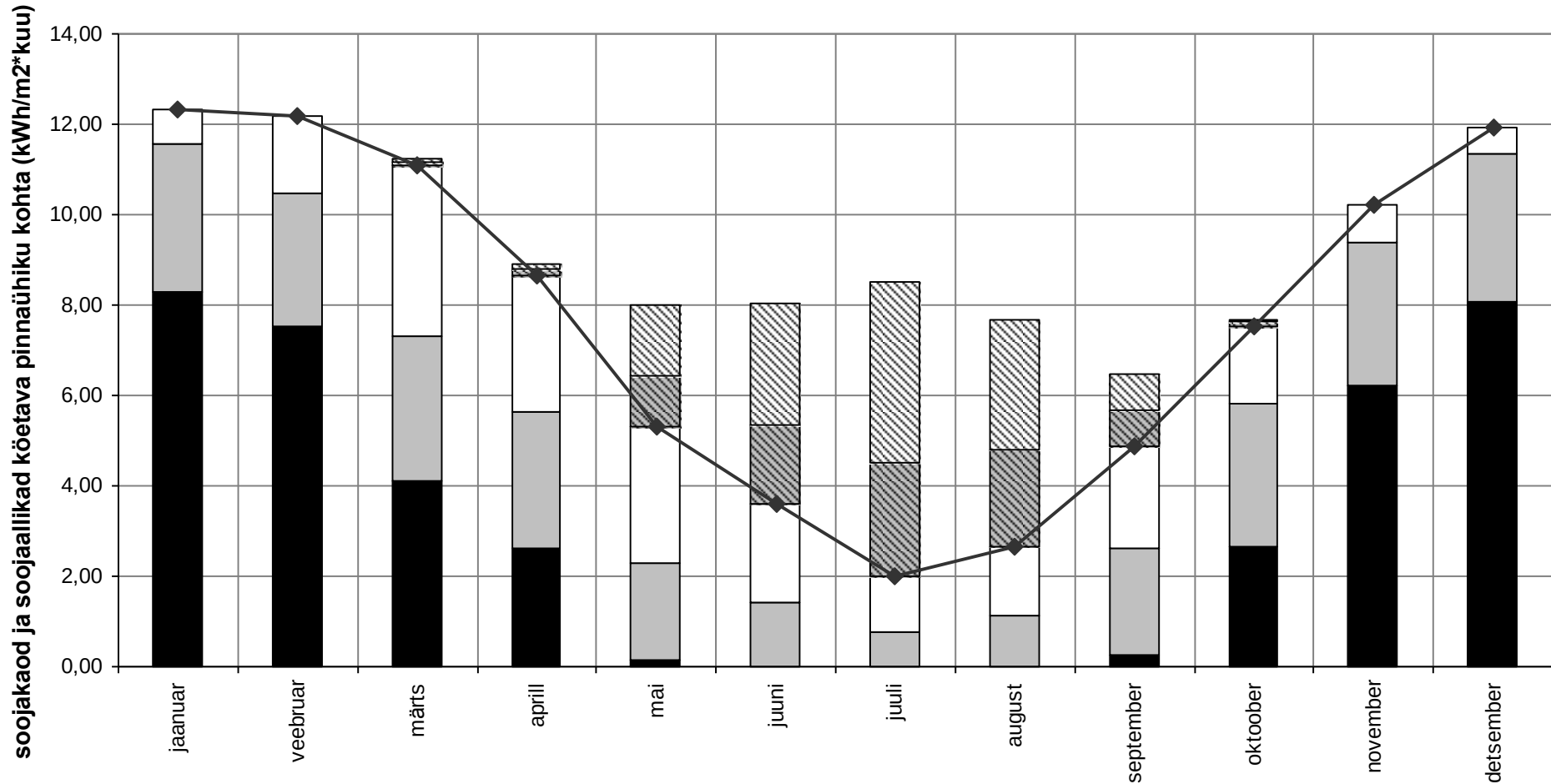
Simulated specific monthly heat demands (**EnergyPlus**).

Annual heat demand: 38,7 kWh/(m²*a)

4x86 ("40 kWh tase") | Heat demand = 39,9 kWh/m²*a (PHPP) or 38,7 kWh/m²*a (EnergyPlus v4)
internal heat gains = 4,4 W/m² | Internal temp = 21 degC



Calculated specific annual heat demand (**PHPP**): 39,9 kWh/(m²*a)



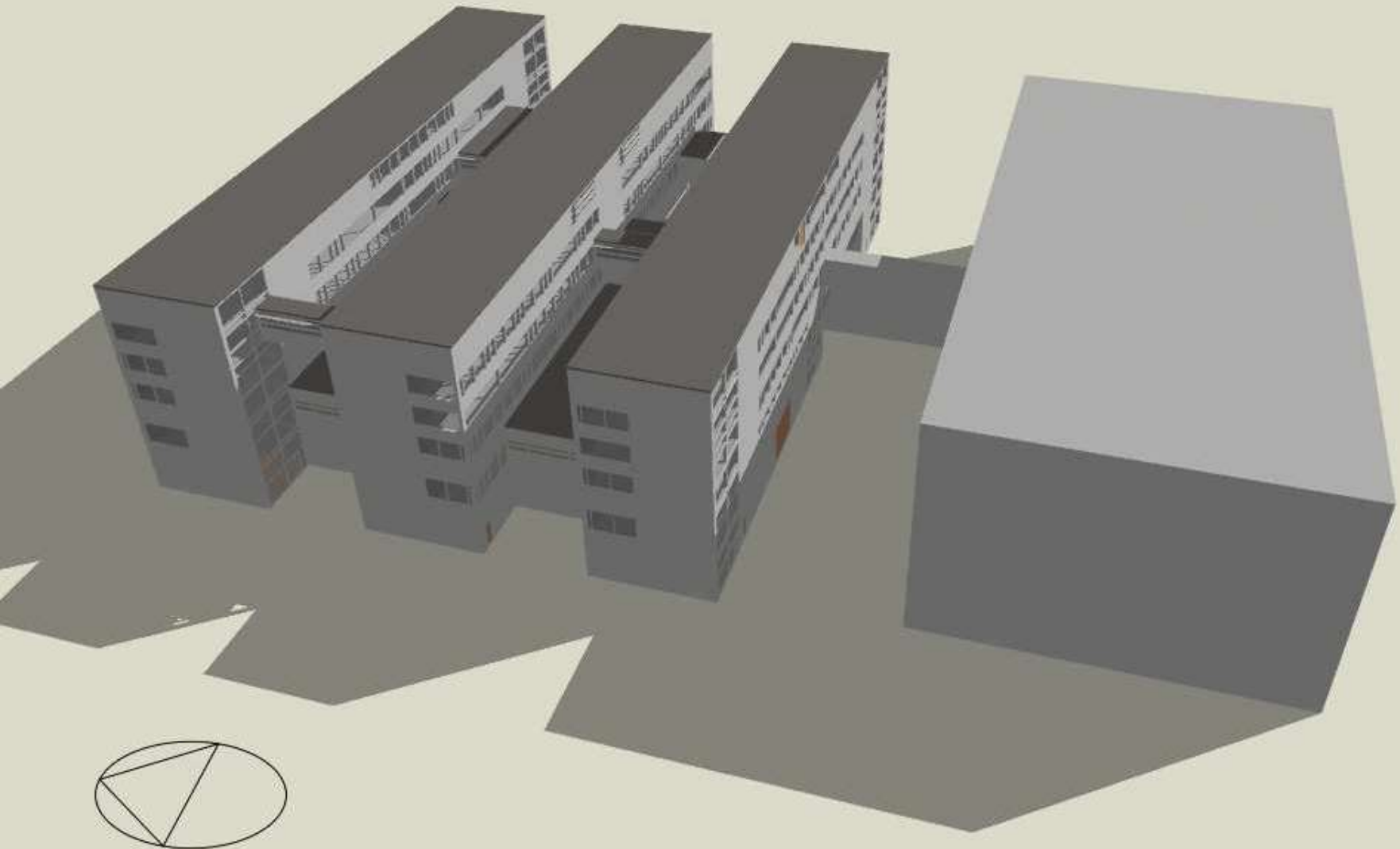
5.2. Dünaamilised arvutusmeetodid

- Dünaamiline hoonesimulatsioon annab ajaliselt väga tiheda sammuga ($<1h$) võimaluse parameetriselt analüüsida suurt hulka mõjutegureid, mis hoone energiabilanssi ja sisekliimat puudutavad.
- Dünaamiline simulatsioon arvestab
 - vaadeldava süsteemi (hoone) detailsust,
 - süsteemi omaduste ajalist varieerumist,
 - süsteemi parameetrite ja käitumise vaheliste seoste mittelineaarsust (so mudel matkib küllalt täpselt reaalseid protsesse).
- Energiabilansi komponentide dünaamika arvutatakse igal ajasammul uuesti (ajasamm tihedusega 1h või lühem).

5.2. Dünaamilised arvutusmeetodid

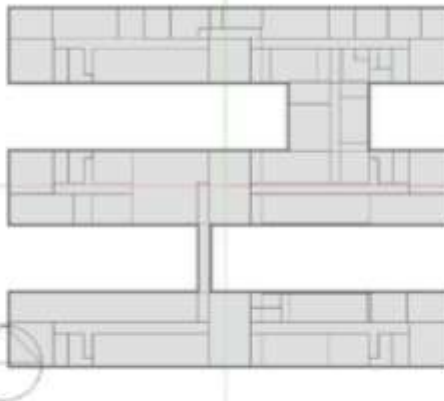
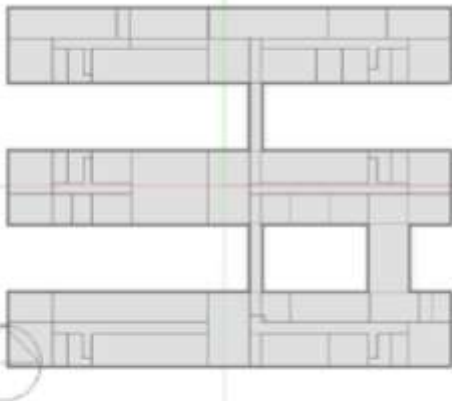
- Dünaamilise hoonesimulatsiooni mudelite täpsus ja reaalsete protsesside jäljendamise adekvaatsus tagatakse mudelite valideerimisel vastavalt ISO (International Organization for Standardization) asjakohastes standardites või IEA (International Energy Agency) BESTEST standardites toodud metoodikatele ja reaalses hoonetes mõõdetud võrdlusandmete analüüsil.
- Kümnetest hoonesimulatsiooni mudelitest ja nendega seotud keskkondadest võib välja tuua mõningad peamised, mida on massiliselt uuritud ning korduvalt valideeritud. Nendeks on TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation Program), ESP-r ning EnergyPlus.

Näide 1. Mehhatroonikum Tallinnas

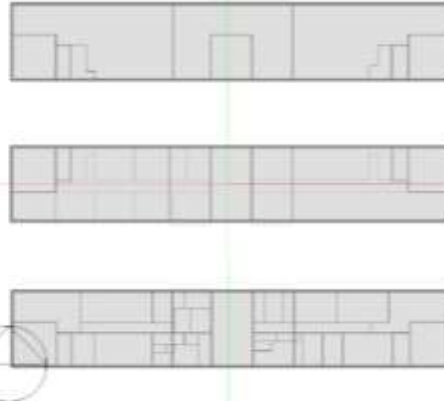




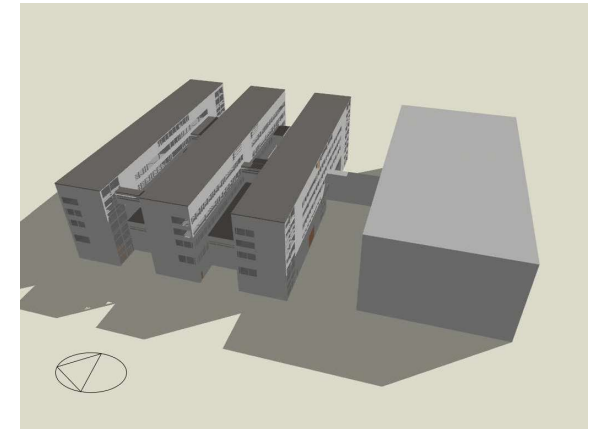
Joonis 1. Hoone 1. ja 2. korruse tsoonideks jaotumine.



Joonis 2. Hoone 3. ja 4. korruse tsoonideks jaotumine.

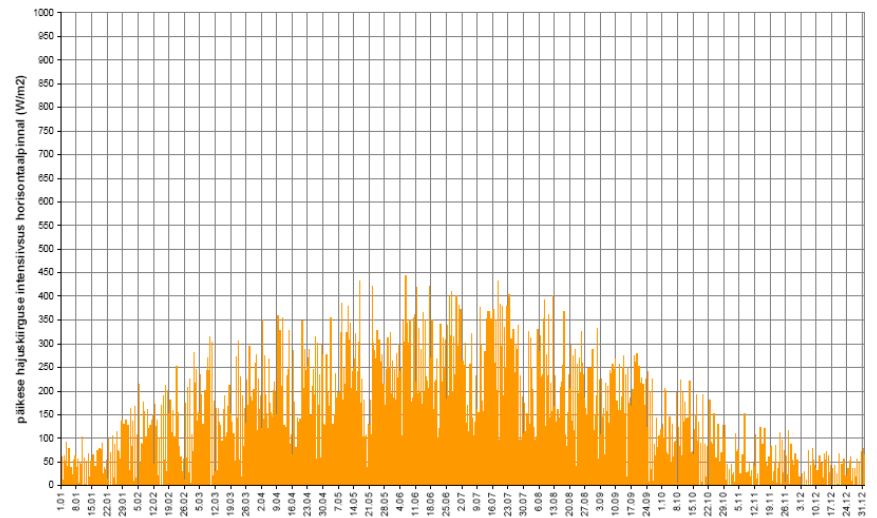
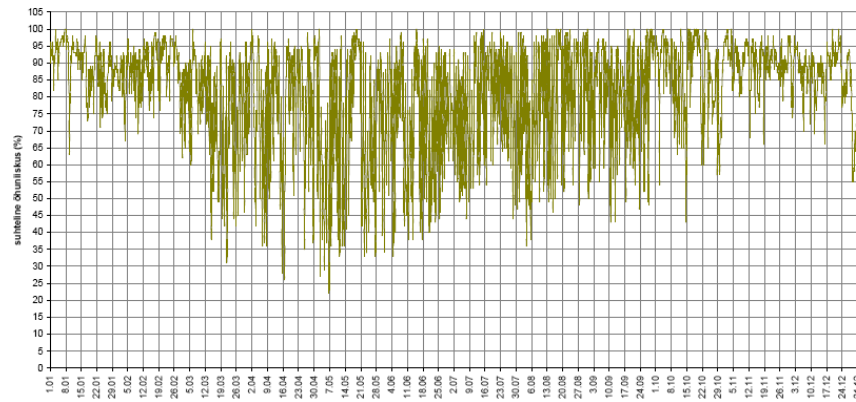
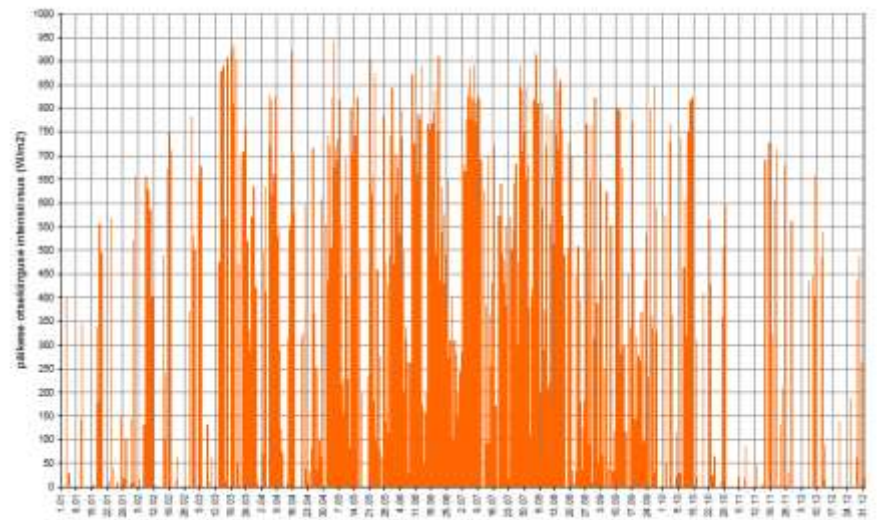
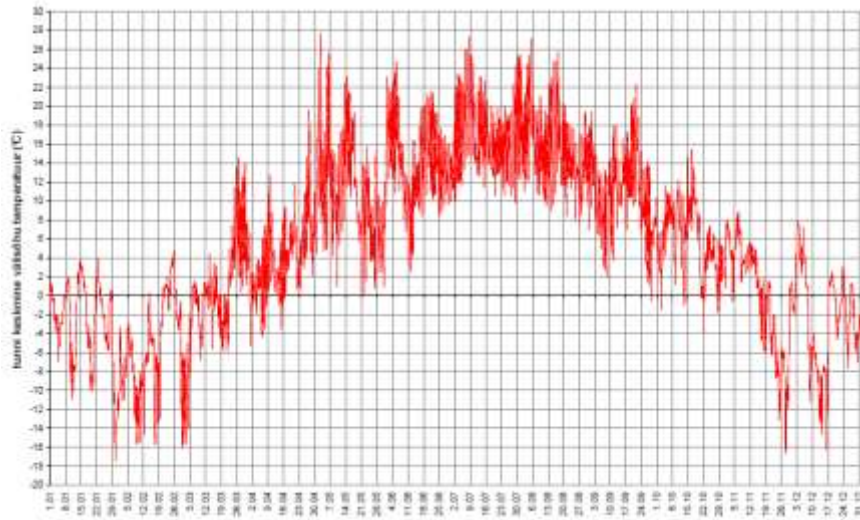


Joonis 3. Hoone 5. ja 6. korruse tsoonideks jaotumine.



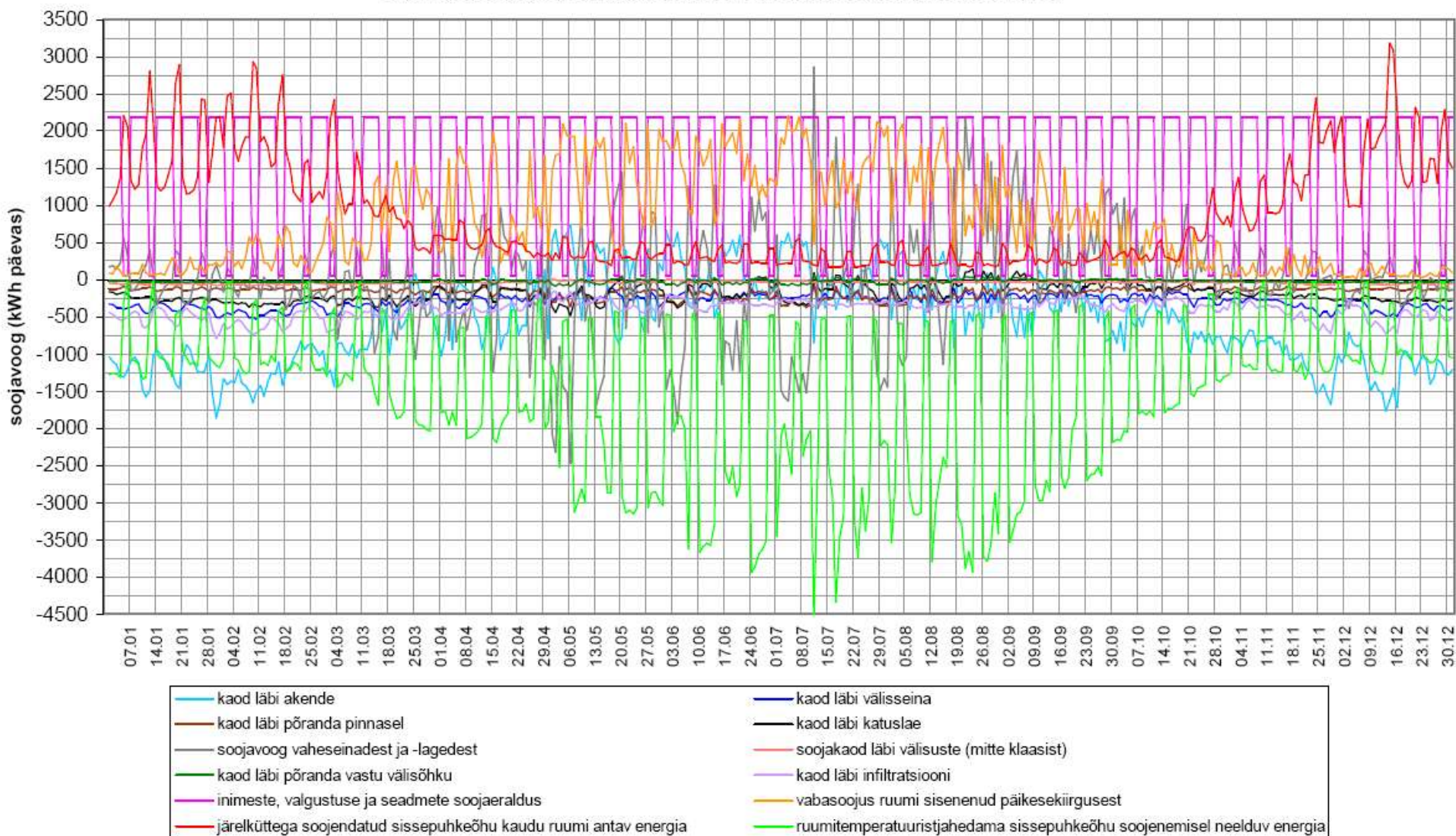
- Tihe tsoneering
- Heterogeenne sisekasutus

Lähteandmete (kliima) detailsus

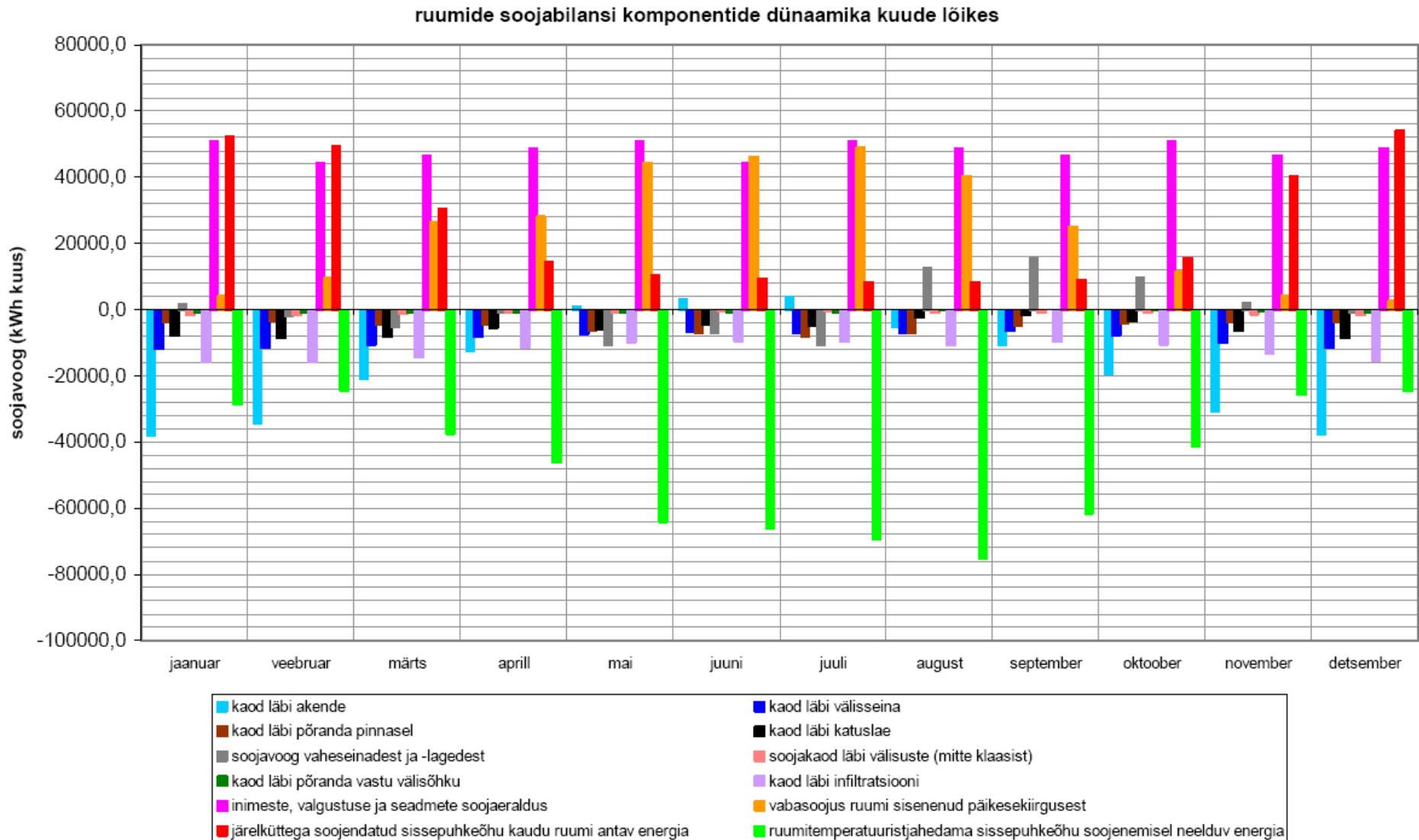


Soojabilansi komponentide dünaamika

ruumide soojabilansi komponentide dünaamika aasta päevade lõikes

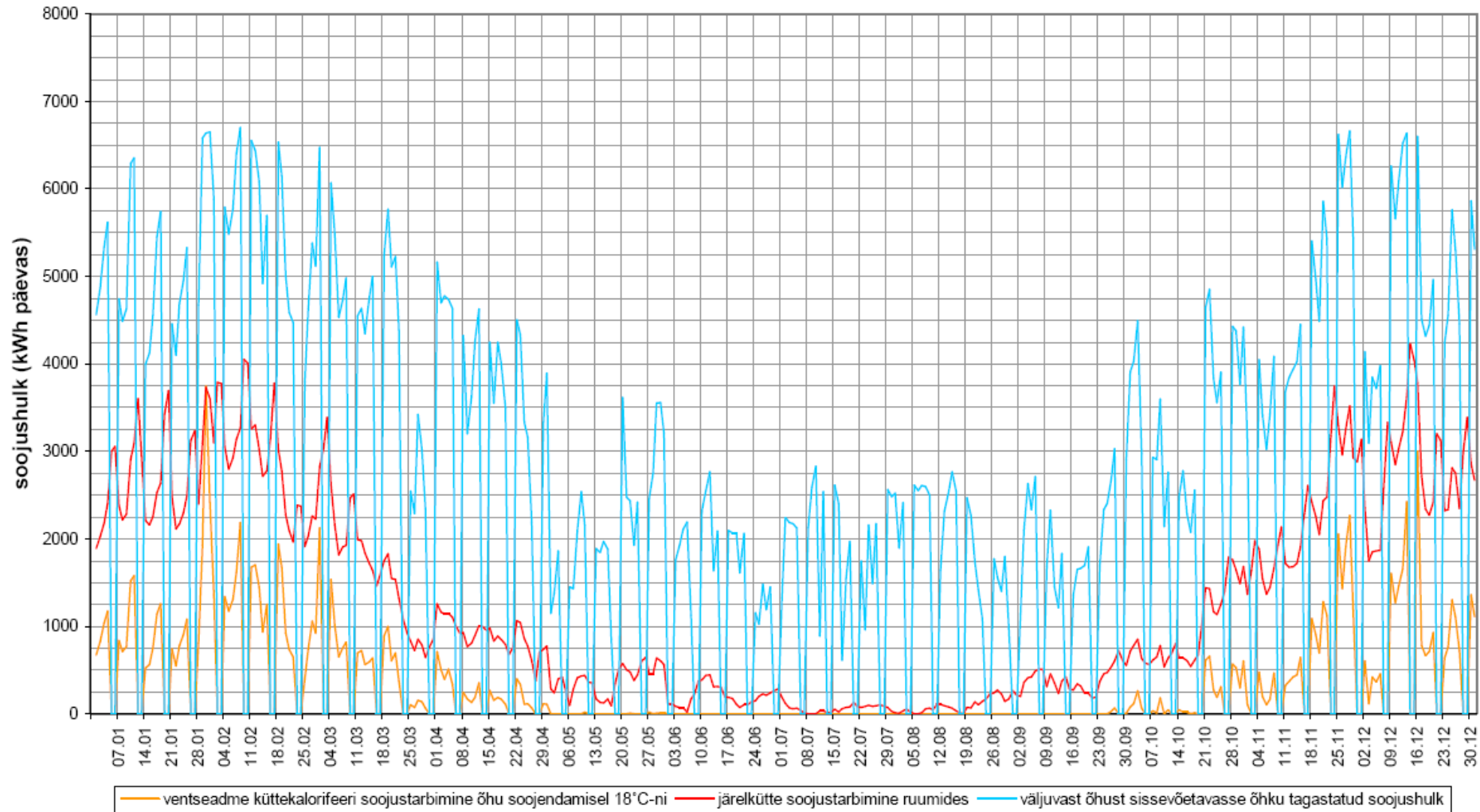


Soojabilansi komponentide dünaamika (kuude lõikes)



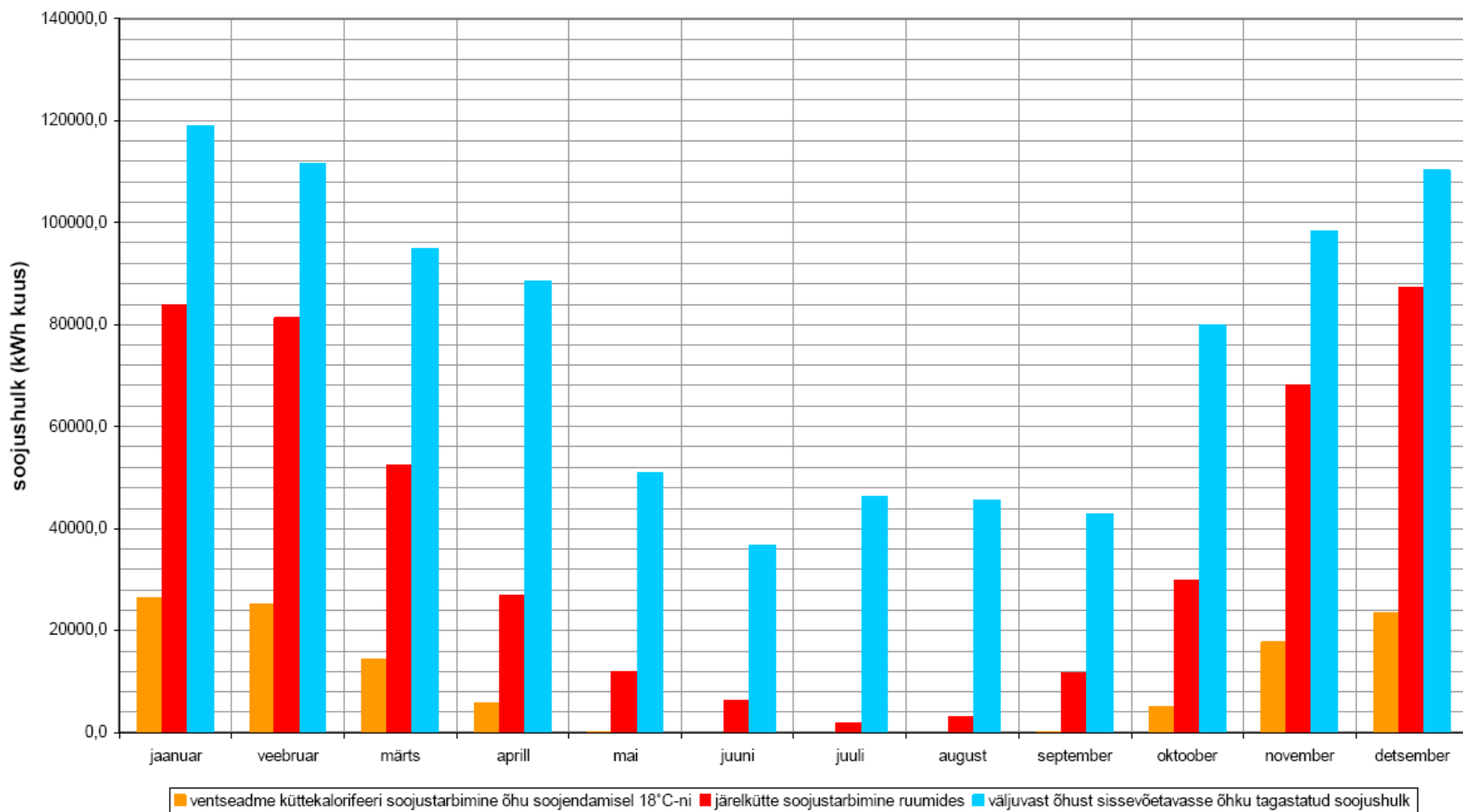
Hoone energiakasutus (neto) ruumide kütteks ja vent.õhu soojendamiseks

ventilatsiooniõhu soojendamise ja ruumide kütte netotarve



Hoone energiakasutus (neto) ruumide kütteks ja vent.õhu soojendamiseks

ventilatsiooniõhu soojendamise ja ruumide kütte netotarve

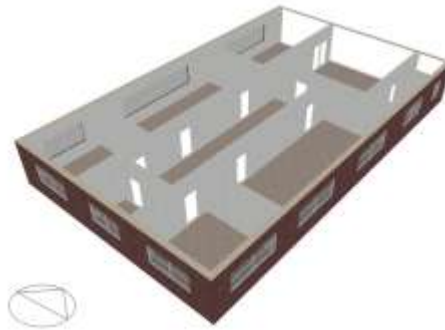
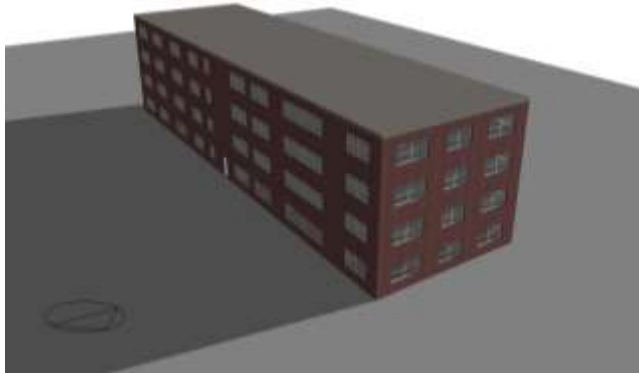


Näide 2. Hüpoteeiline kontorihoone

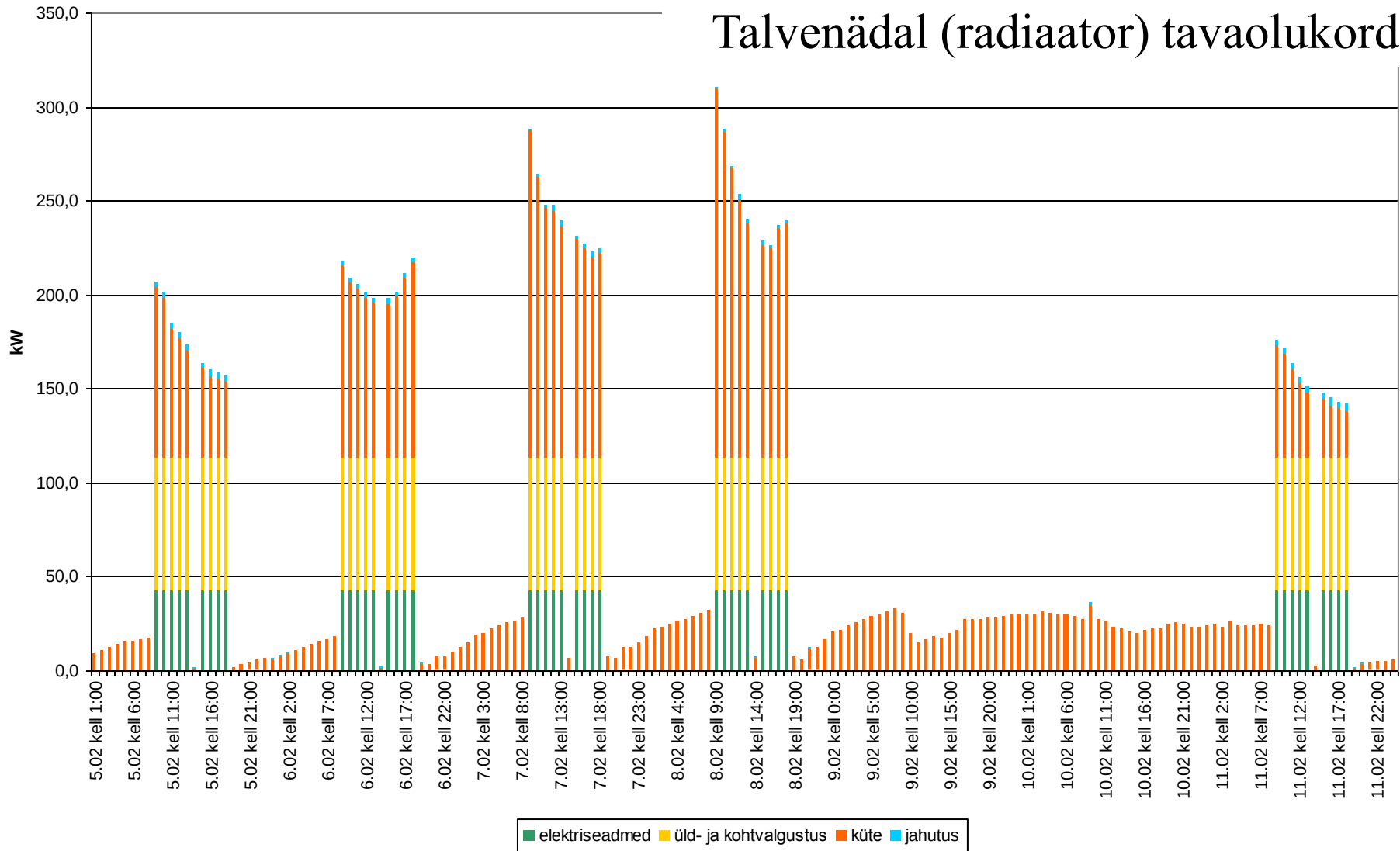
Simuleeriti võrdlevalt õhkkütte ja radiaatorkütte korral tehnosüsteemide energiatarbimist (kokku 4 varianti).

Kõigi variantide puhul on hoone geomeetria, asend ning hoone välispiirete parameetrid ühesugused.

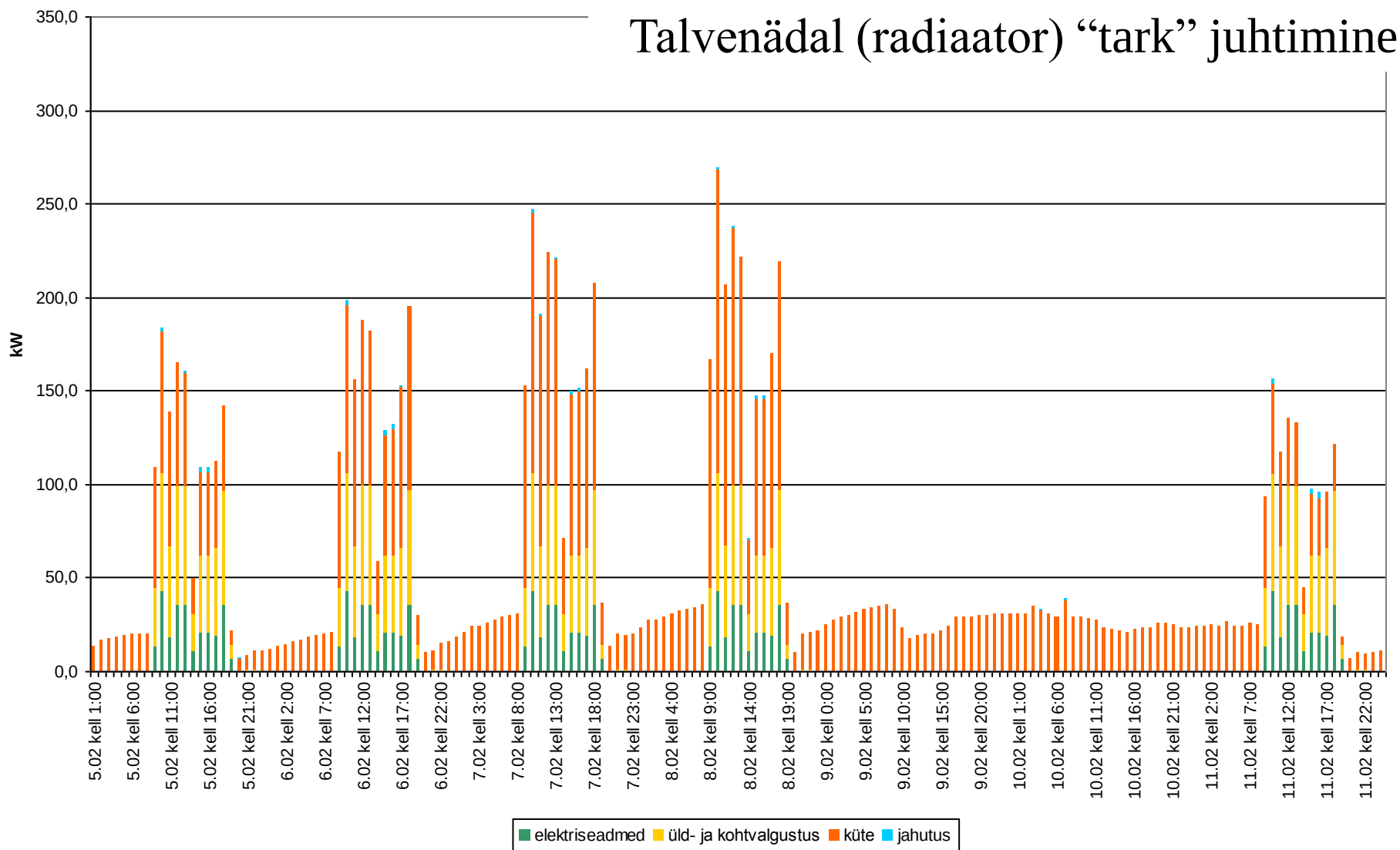
- Variandid 1 ja 3. Seadmed ja valgustid töötavad kogu tööpäeva jooksul ning ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemid töötavad kogu tööpäeva normaalrežiimis (so tegelikku ruumisviibimist ei arvestata)
- Variandid 2 ja 4. Seadmete ja valgustite töö järgib inimeste tegelikku ruumisviibimist ning ventilatsiooni-, kütte- ja jahutussüsteemid lülituvad inimeste ruumist lahkumisel ökonoomsele režiimile.



- Küttesüsteem oli kõigi variantide lõikes seadistatud normaalrežiimil hoidma sisetemperatuuri 20°C ning ökonoomsel režiimil 17°C (erandina lülitub küttesüsteem sisse serveriruumis õhutemperatuuri langemisel alla 15°C).
- Jahutusseadmed olid seadistatud lülituma töösse ruumide temperatuuri tõusmisel üle 24°C (erandina lülitub jahutus sisse serveriruumis õhutemperatuuri tõusmisel üle 17°C). Variantide 1 ja 3 korral töötab jahutus igal tööpäeval 8-18. Variantide 2 ja 4 puhul lülitub jahutus ruumides sisse ja välja sõltuvalt detailsest inimeste ruumis viibimist päeva jooksul.

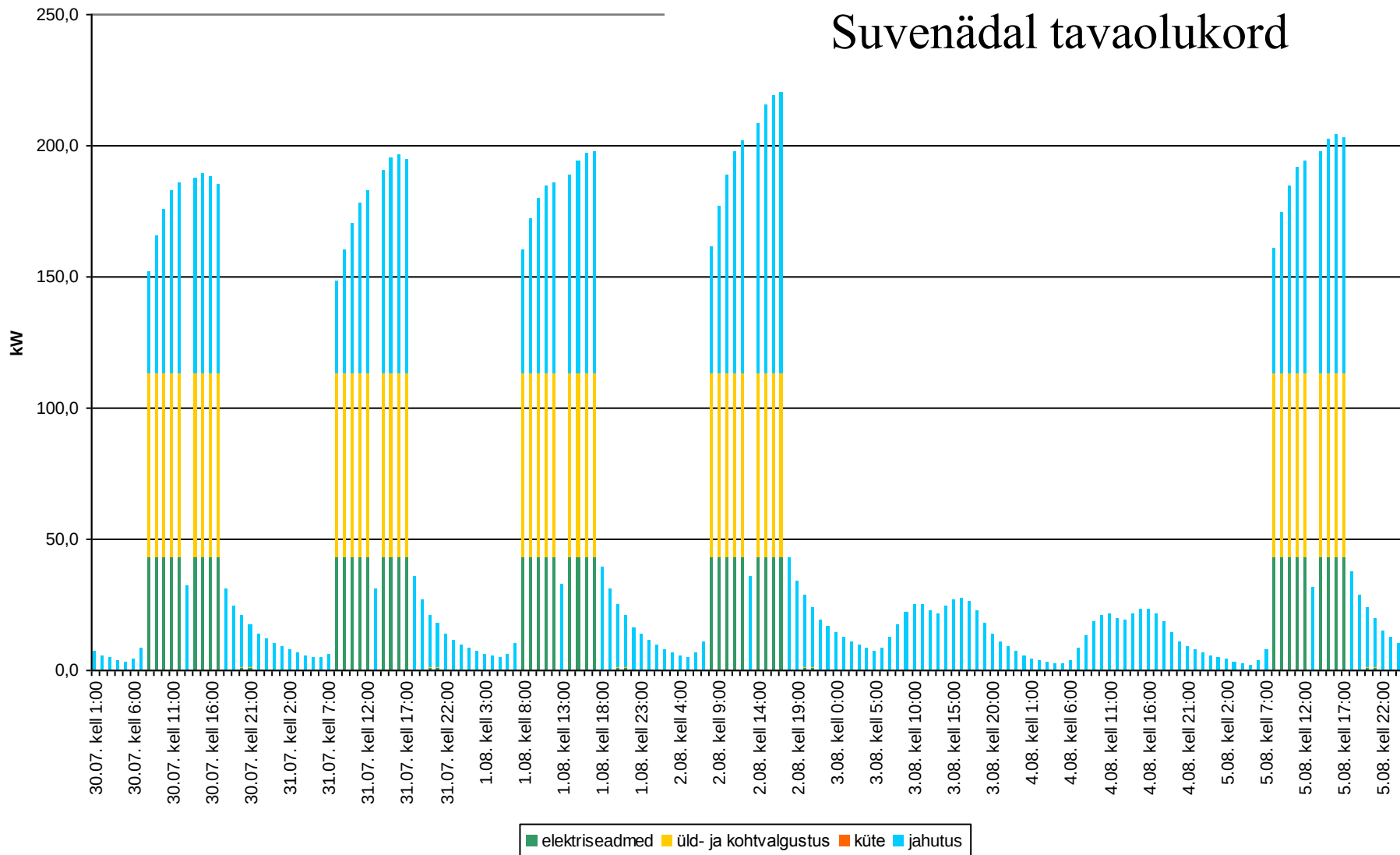


Joonis. Kogu hoone energiakasutuse dünaamika külmal talvenädalal tarbijate lõikes (variant 1).



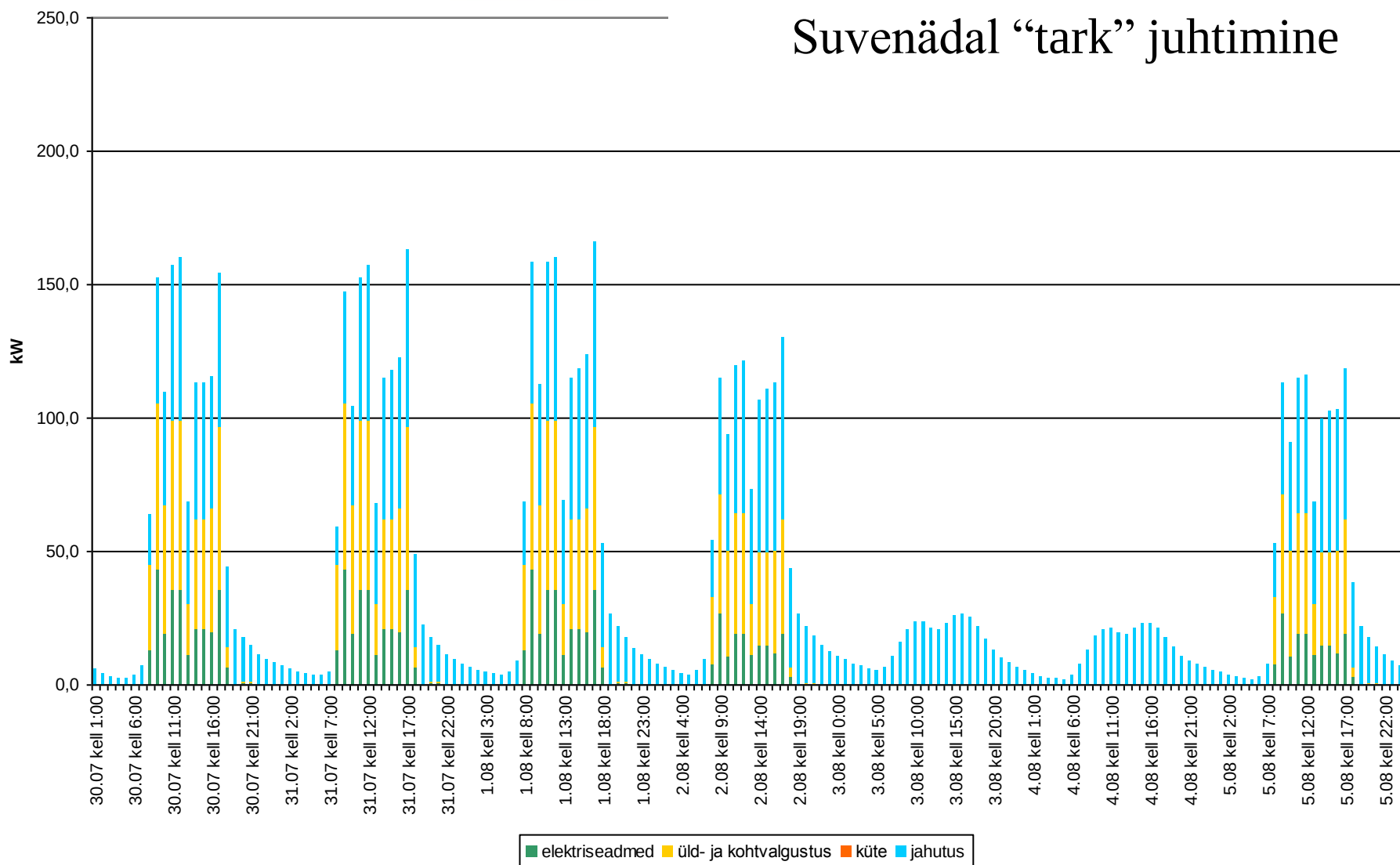
Joonis. Kogu hoone energiakasutuse dünaamika külmal talvenädalal tarbijate lõikes (variant 2).

Suvenädal tavaolukord



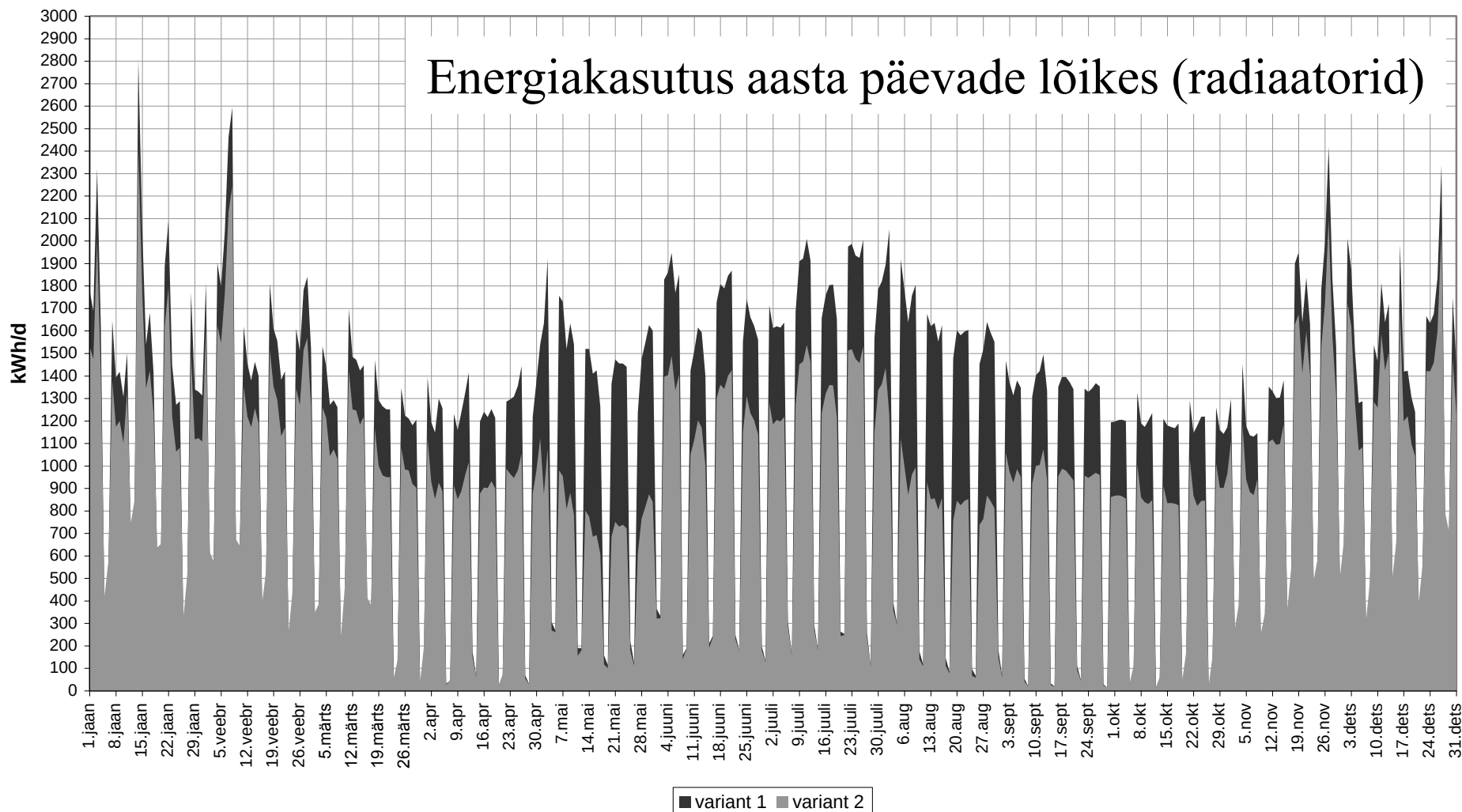
Joonis. Kogu hoone energiakasutuse (tunni keskmine) dünaamika kuumal suvenädalal tarbijate lõikes (variant 1).

Suvenädal "tark" juhtimine



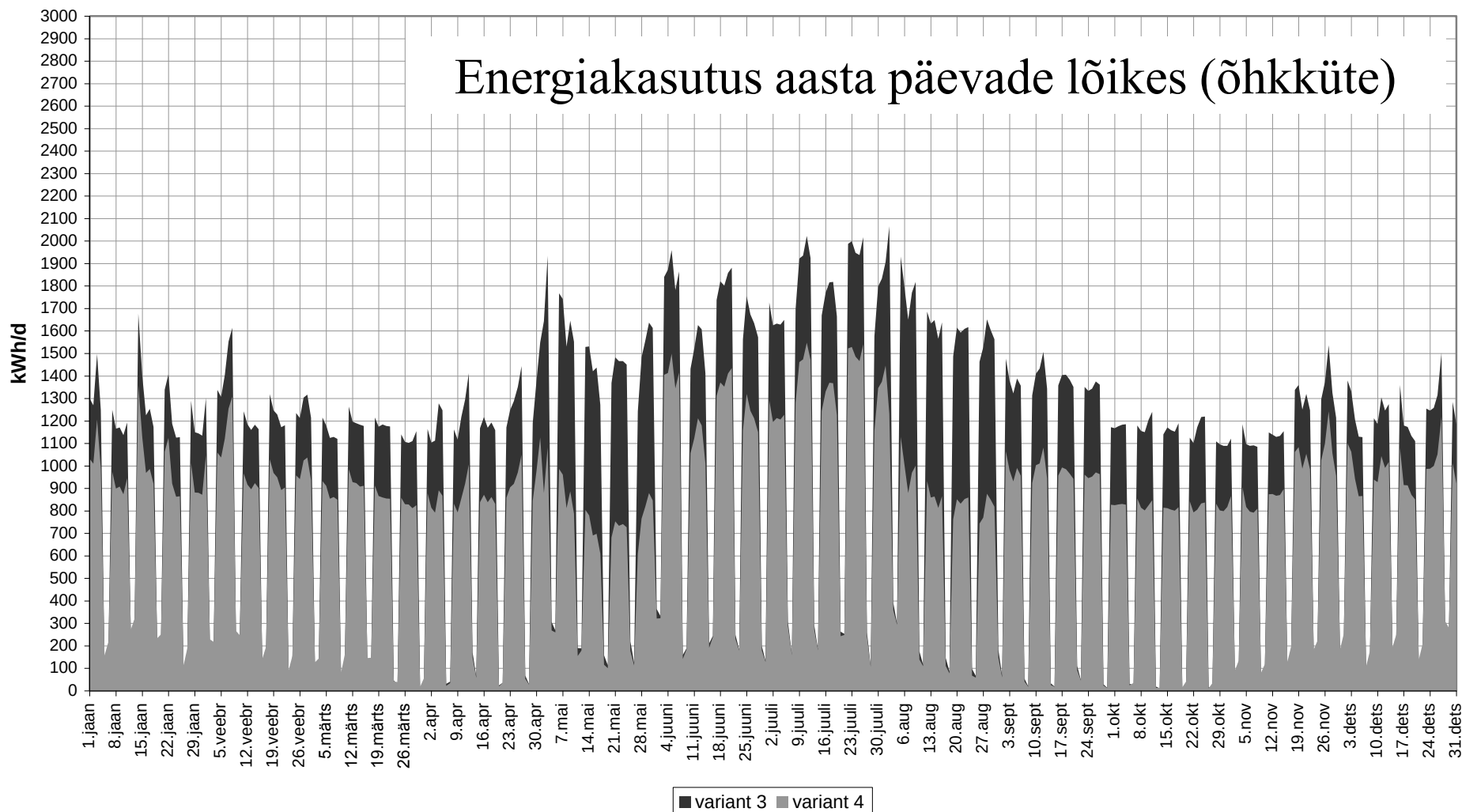
Joonis. Kogu hoone energiakasutuse (tunni keskmine) dünaamika kuumal suvenädalal tarbijate lõikes (variant 2).

kogu hoone energiatarbimise dünaamika aasta jooksul päevade lõikes

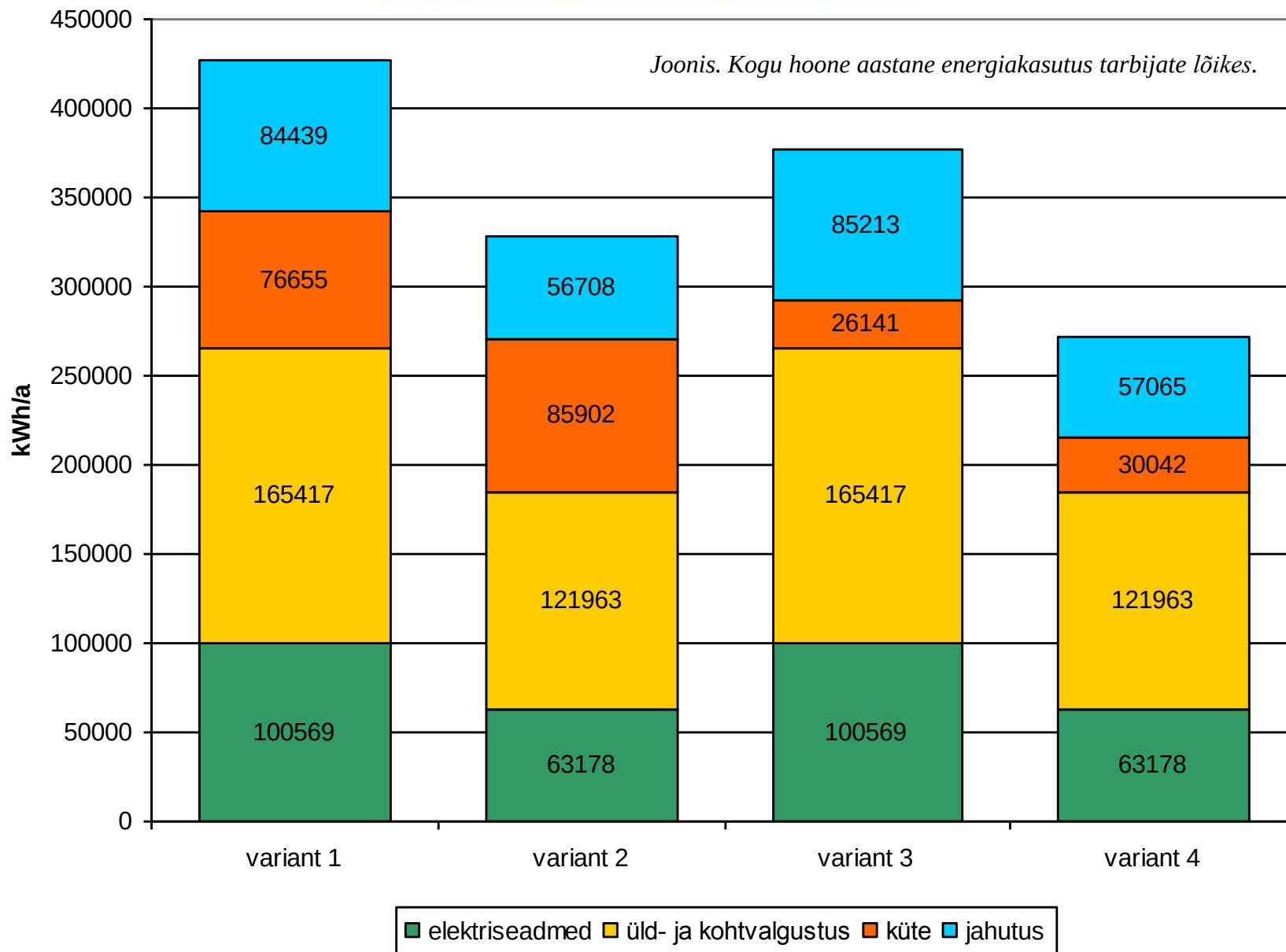


Joonis. Hoone summaarse energiatarbe dünaamika (päevasummad) aasta lõikes (variandid 1 ja 2).

kogu hoone energiatarbimise dünaamika aasta jooksul päevade lõikes



Joonis. Hoone summaarse energiatarbe dünaamika (päevasummad) aasta lõikes (variandid 3 ja 4).



Näide 2. Hüpoteeiline kontorihoone

Tulemus:

- elektriseadmeid ning hoone tehnosüsteeme arukalt juhtides väheneb kirjeldatud hoone puhul hoone summaarne energiakasutus radiaatorküttega variantide korral teoreetiliselt ca 23 % ja õhkküttega variantide korral teoreetiliselt ca 28 %.
- Energiakasutuse vähenemine toimub **peamiselt suvise jahutusvajaduse vähenemise ning elektriseadmete ja valgustite lühema tööperioodi arvelt**. Kütteperioodil toob utiliseeritava vabaenergia (seadmete ja valgustuse soojuseralduse osa hoone soojabilansis) vähenemine kaasa küttevajaduse suurenemise ning summaarne energiatarbimine palju ei muutu.

Näide 3. Korterimaja Tallinnas

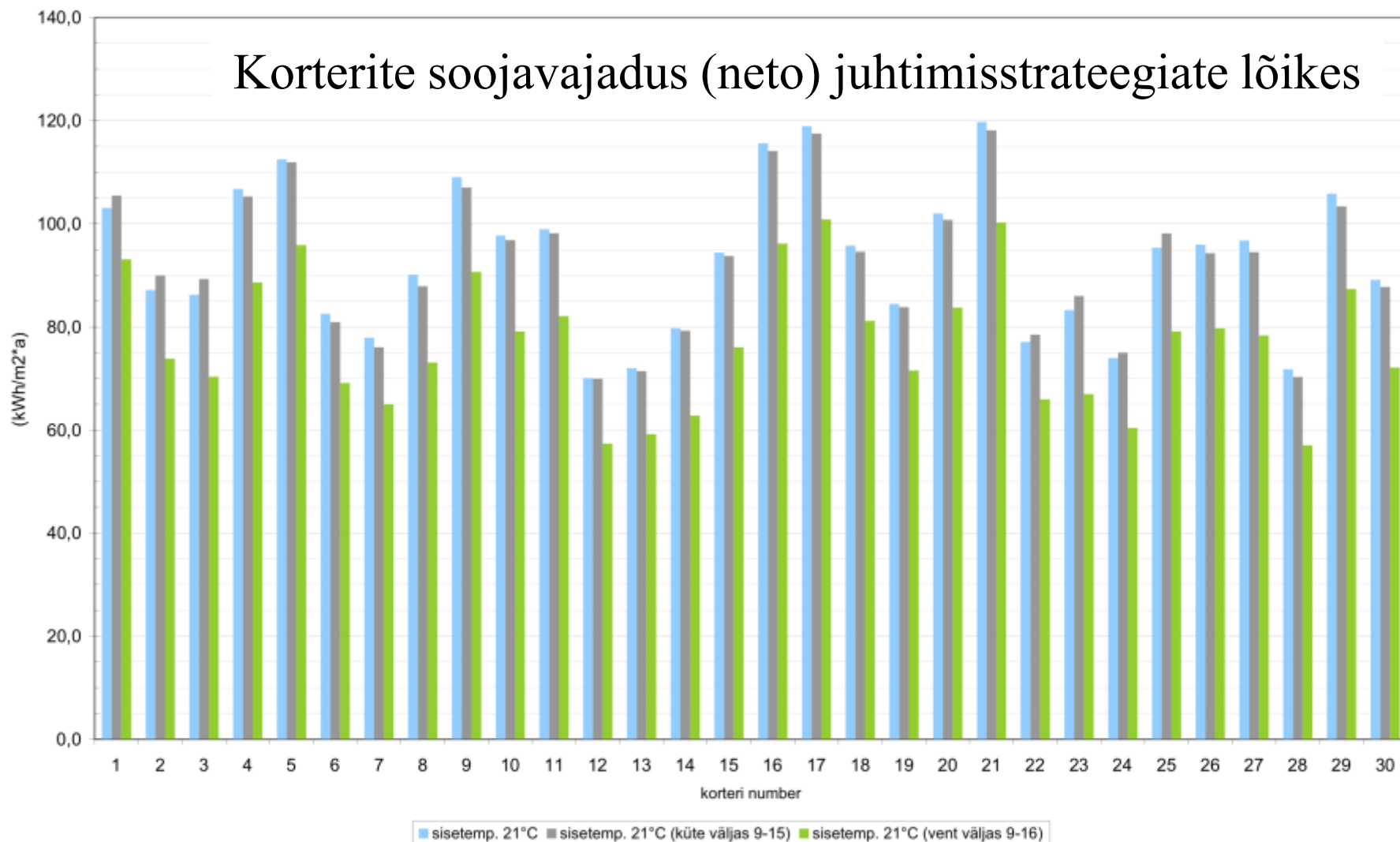
Eesmärk hinnata:

- Tehnosüsteemide “aruka” juhtimise mõju ruumide energiavajadusele korterite lõikes
- maksimumtemperatuure ja jahutusvõimsusi korterite kaupa



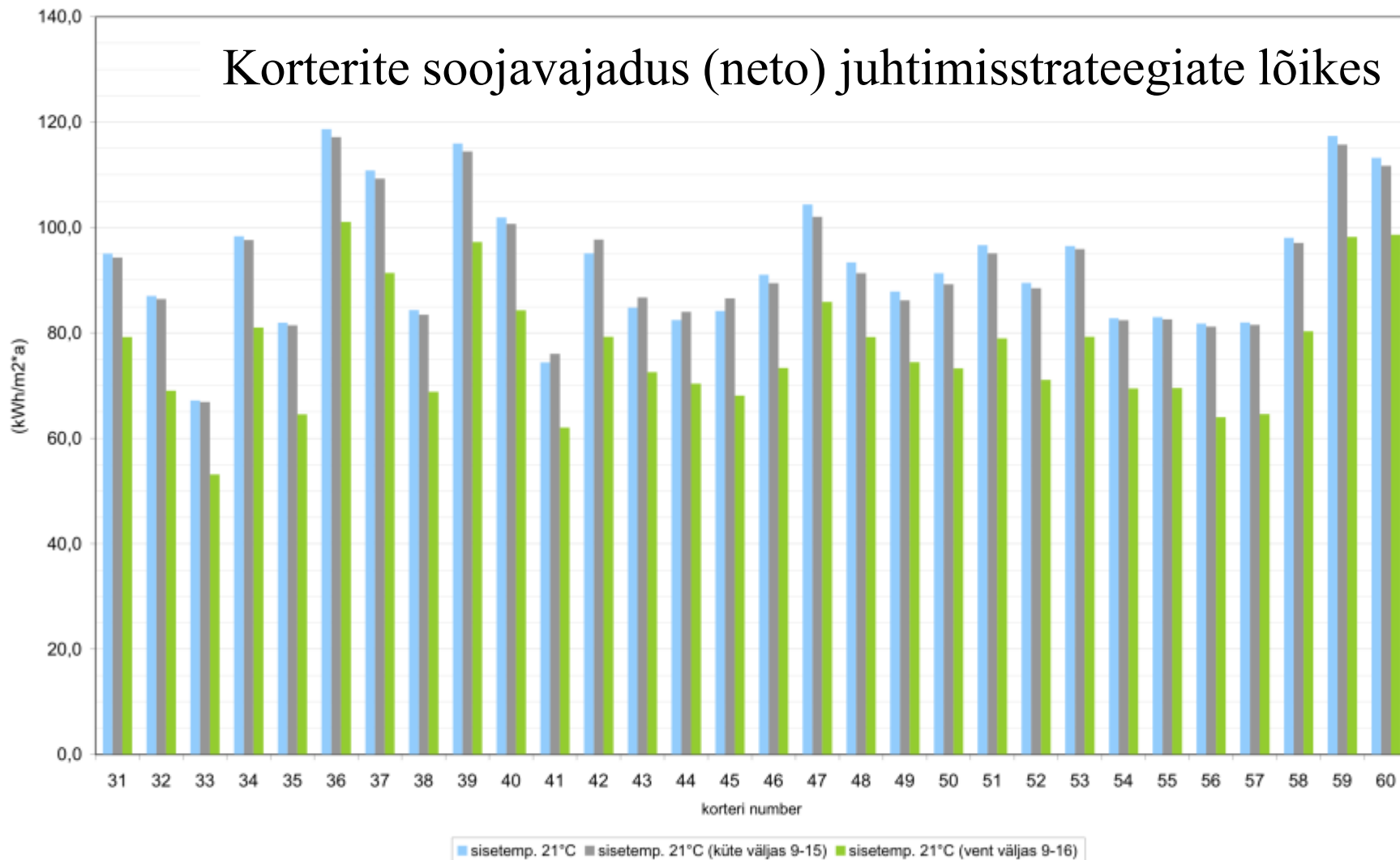
Soojustarve kütteks korteri suletud netopinna kohta 21°C tagamisel

Korterite soojavajadus (neto) juhtimisstrateegiate lõikes



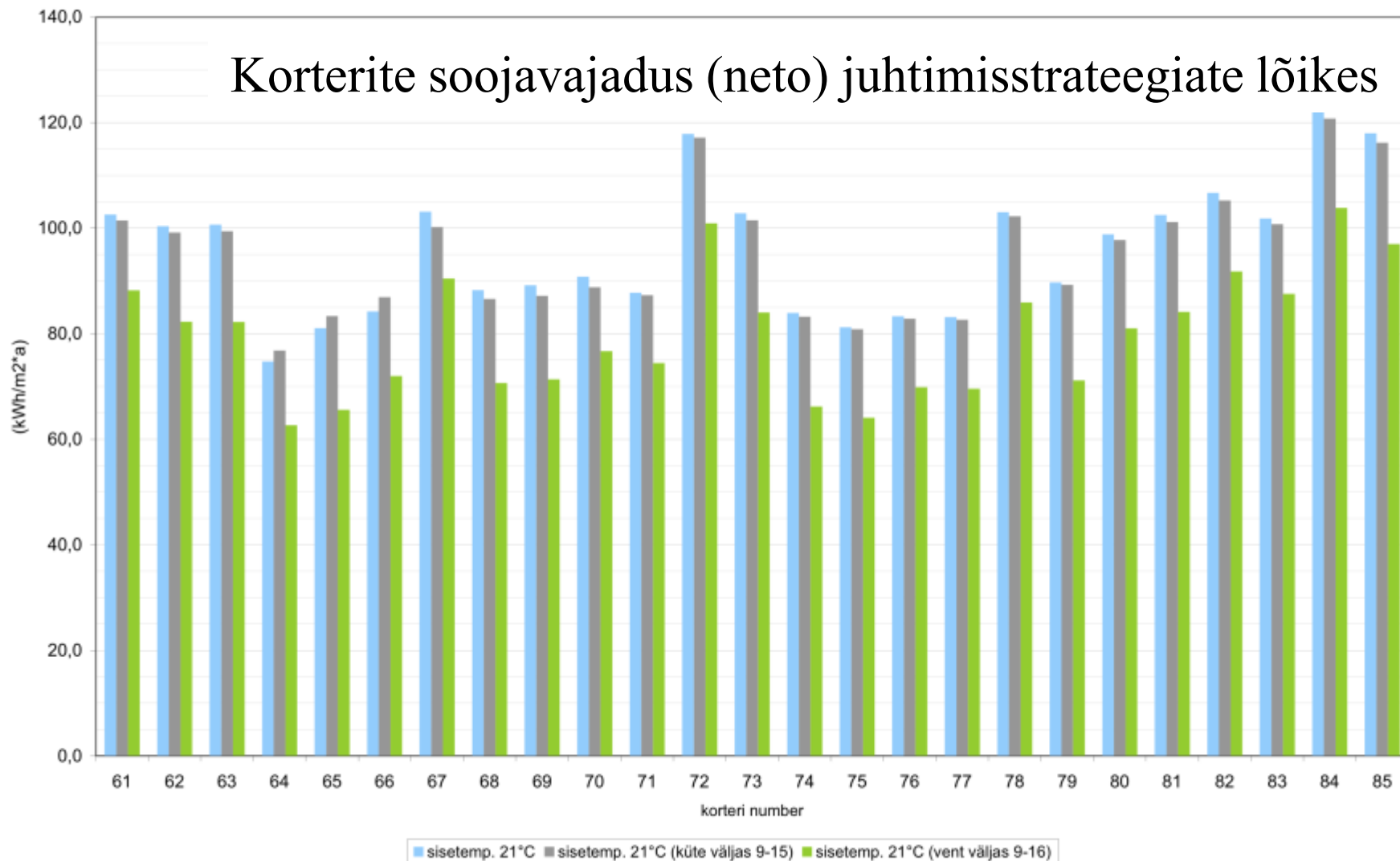
Joonis 9. Korterite kütteenenergia netotarbed sisetemperatuuri 21 °C korral variantide 2, 2.1 ja 2.2 lõikes (korterid nr 1 - 30).

Soojustarve kütteks korteri suletud netopinna kohta 21°C tagamisel



Joonis 10. Korterite kütteenergia netotarbed sisetemperatuuri 21 °C korral variantide 2, 2.1 ja 2.2 lõikes (korterid nr 30 - 61).

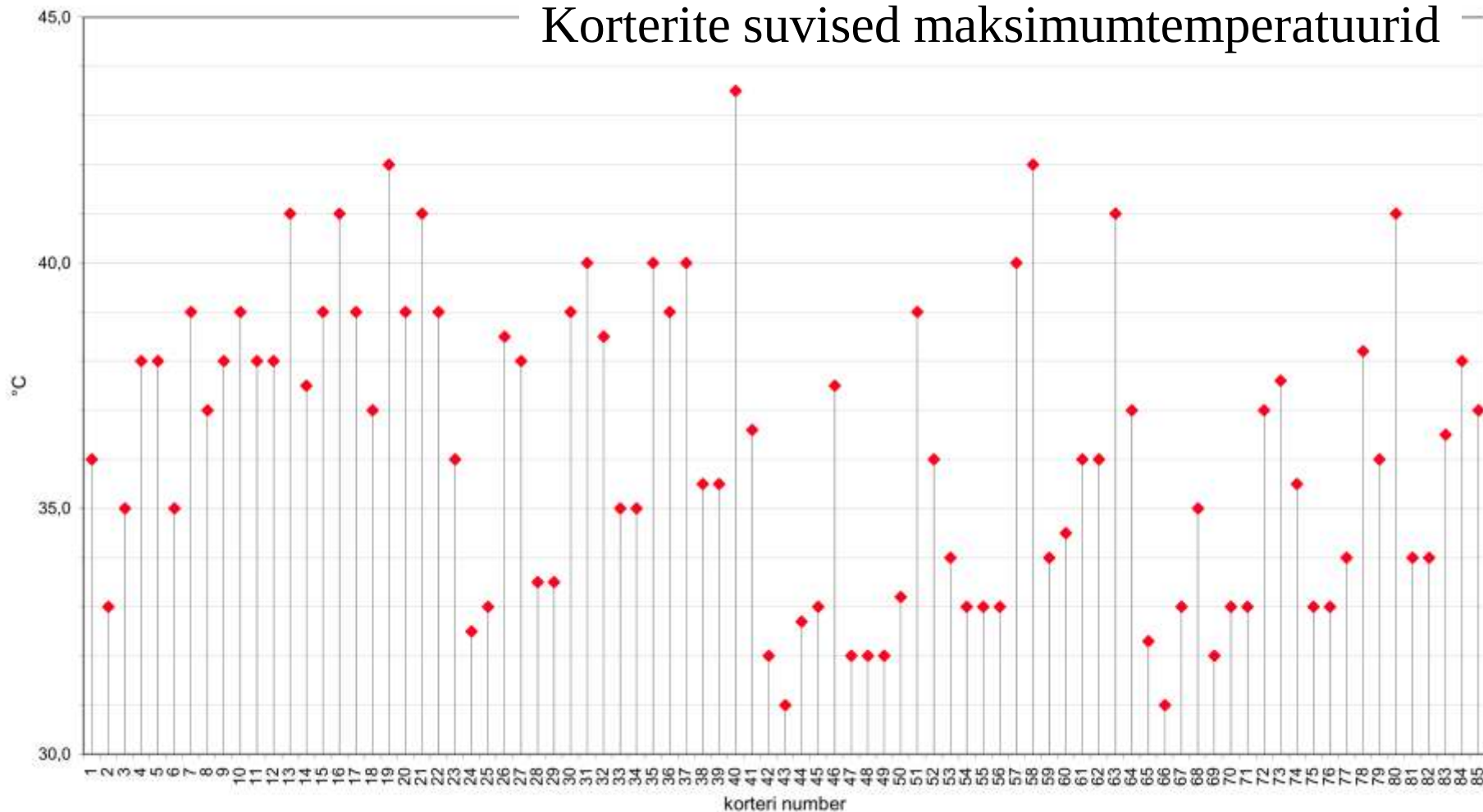
Soojustarve kütteks korteri suletud netopinna kohta 21°C tagamisel



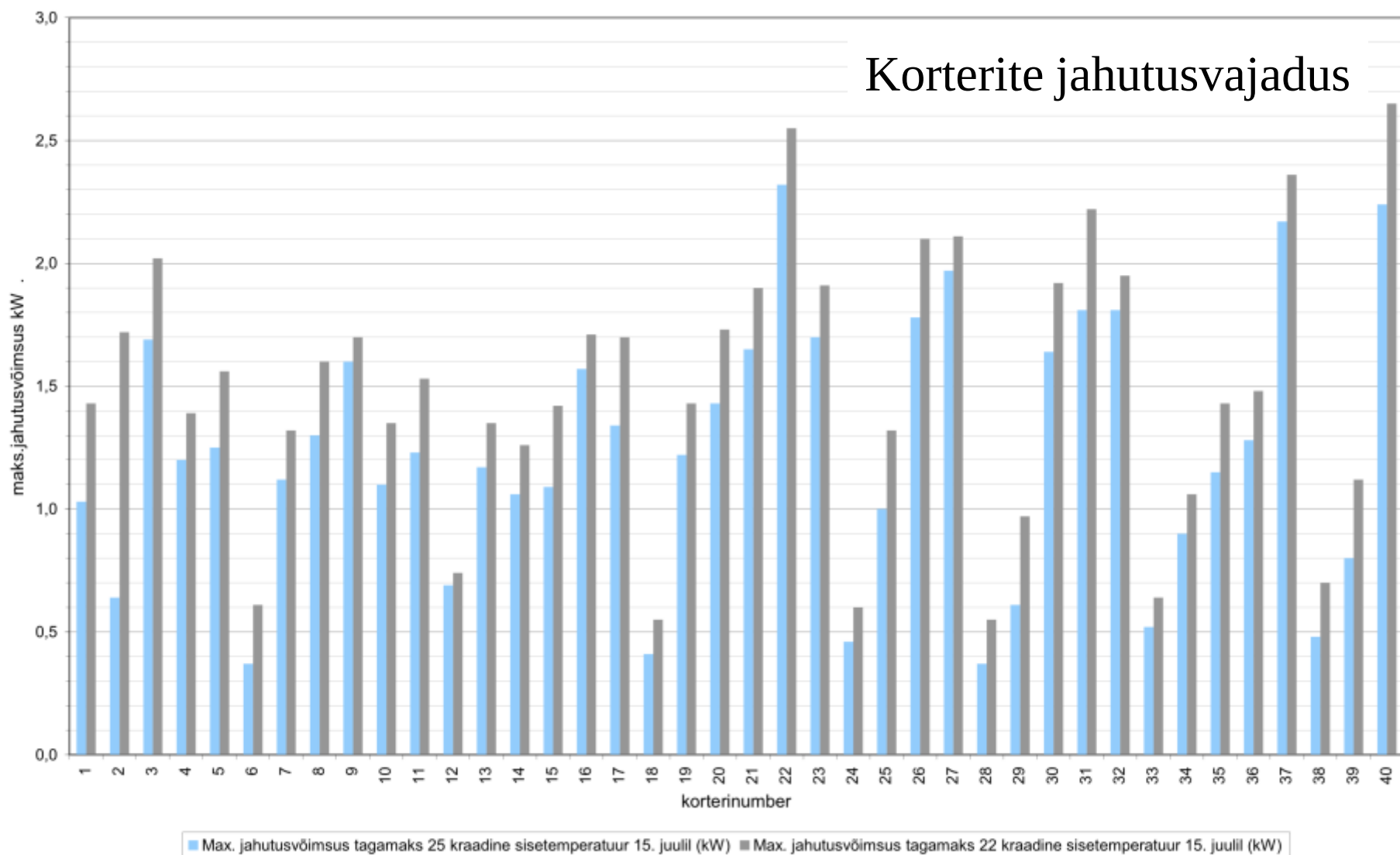
Joonis 11. Korterite kütteenergia netotarbed sisetemperatuuri 21 °C korral variantide 2, 2.1 ja 2.2 lõikes (korterid nr 61 - 85).

Maksimaalne temperatuur kõige kuumemal suvepäeval (15.juuli) korterite lõikes

Korterite suvised maksimumtemperatuurid

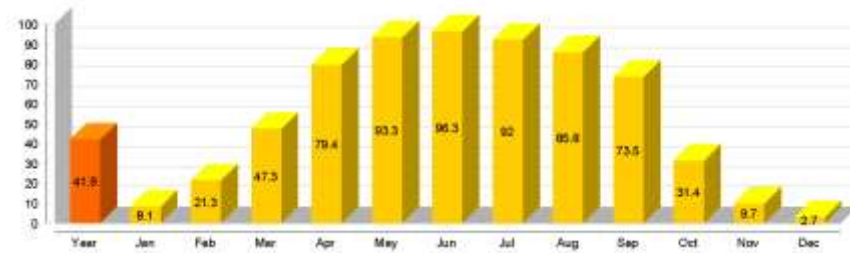


Joonis 12. Maksimaalsed sisetemperatuurid kõige kuumemal suvepäeval korterite lõikes.



Joonis 13. Korterite sisetemperatuuride (22 °C ja 25 °C) hoidmiseks vajaminev jahutusvõimsus (korterid 1 kuni 40).

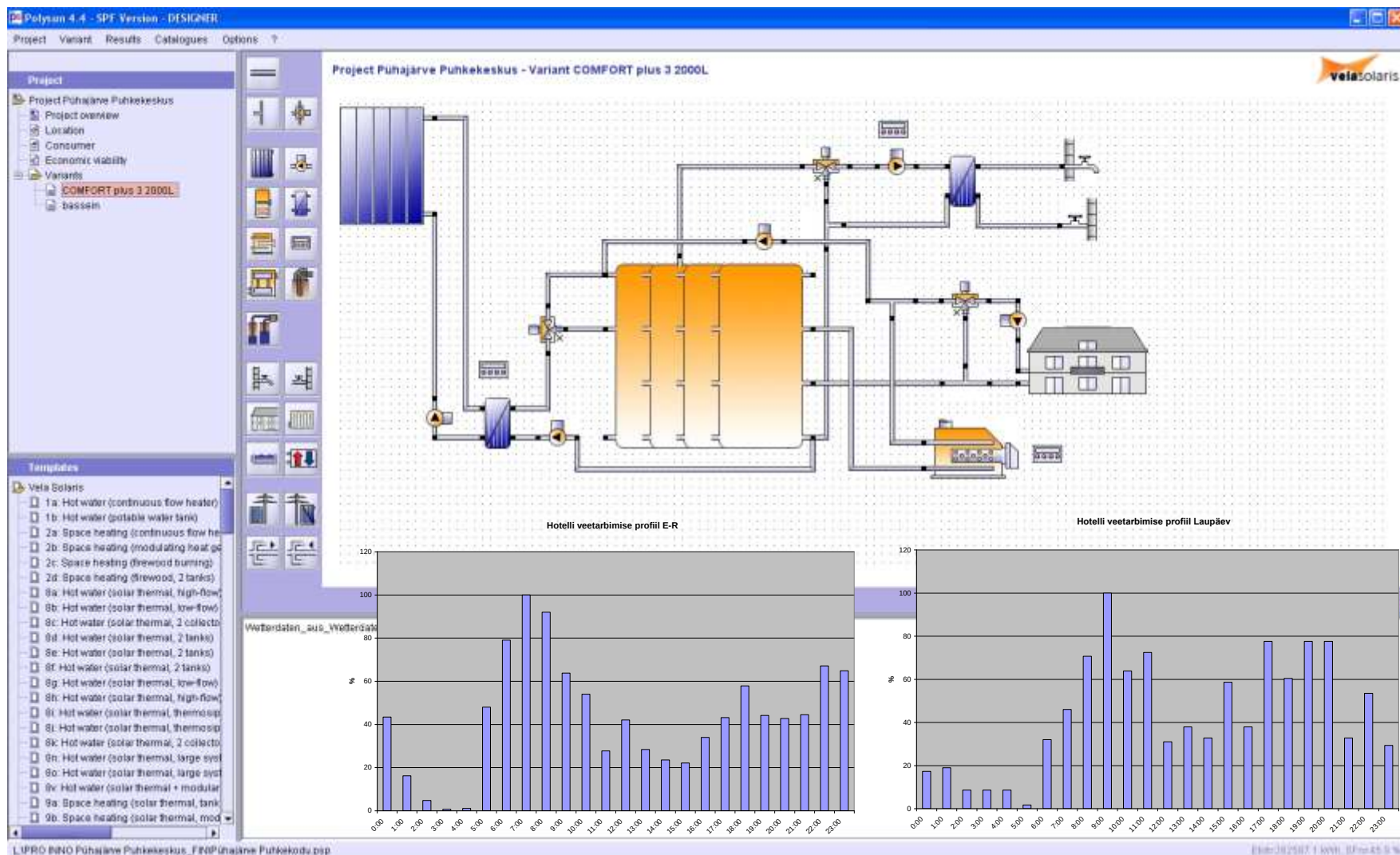
6. Suurte soojuslike päikeseküttesüsteemide dimensioneerimine ja tootlikkuse analüüs



- Soojuslike päikeseküttesüsteemide (päikesepaneelid + akupaagid + hüdraulika) kontseptsiooni loomine (süsteemi suurus ja konfiguratsioon vastavalt energiavajadusele, tarbimisprofiilile ja objekti asukohale)
- Soojuslike päikeseküttesüsteemide tootlikkuse arvutamine dünaamilise simulatsiooni tarkvaraga (Polysun, Tsol).

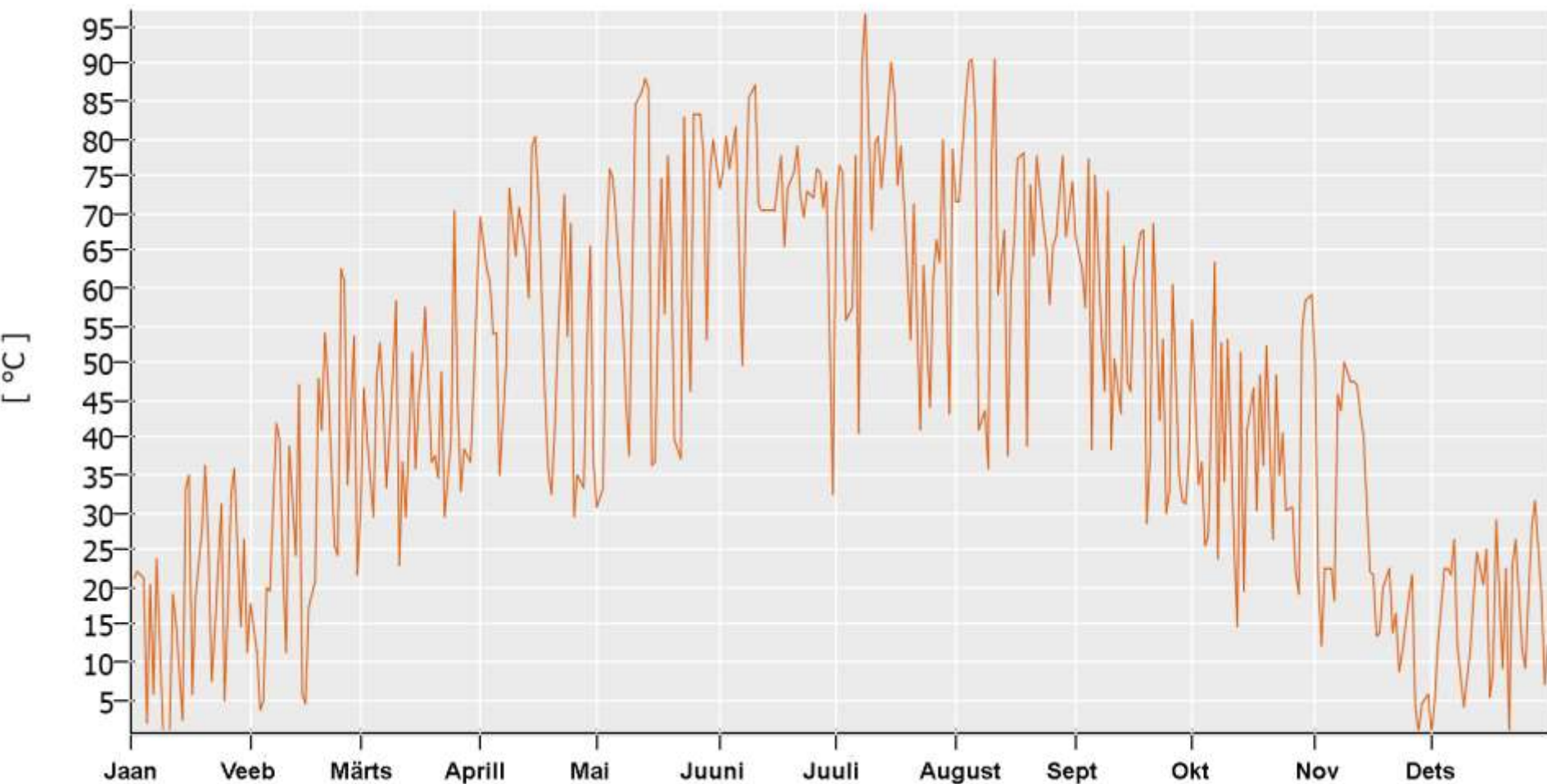
Näide 1. SPA Otepääl

Päikeseküttesüsteemi tootlikkuse analüüs ja süsteemi mahu optimeerimine dünaamilise simulatsiooni tarkvaraga



Kollektorsüsteemi temperatuurid aasta lõikes

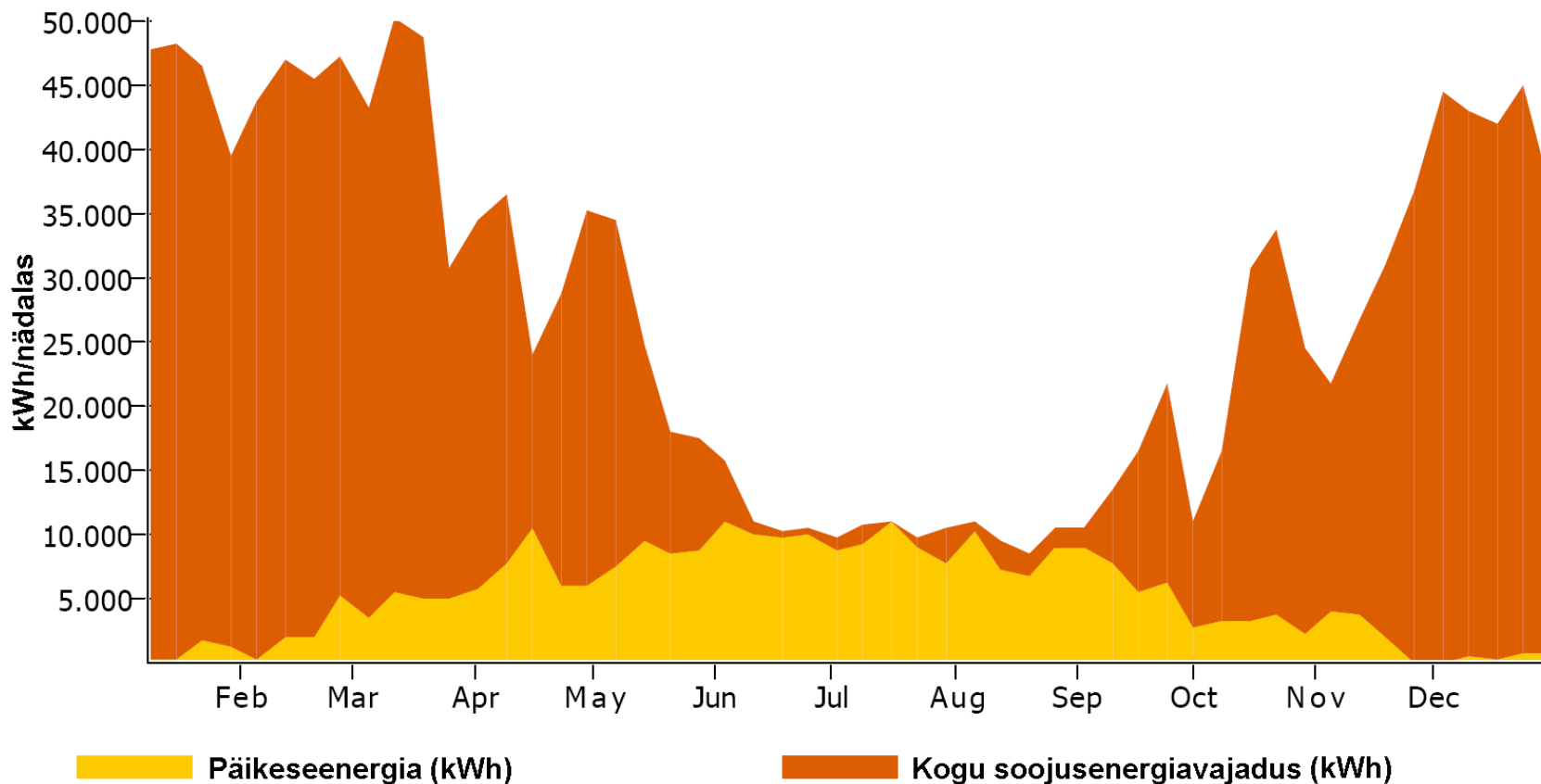
Päevane kollektorite maksimumtemperatuur tundide lõikes



Joonis. Pühajärve Puhkekeskuse optimeeritud päikeseküttesüsteemi arvutuslik kollektorite temperatuur aasta lõikes

päikeseküttesüsteemi tootlikkus ja objekti aastane energiavajadus

Päikeseküttesüsteemiga kaetav osa kogu soojusenergiavajadusest (kWh)

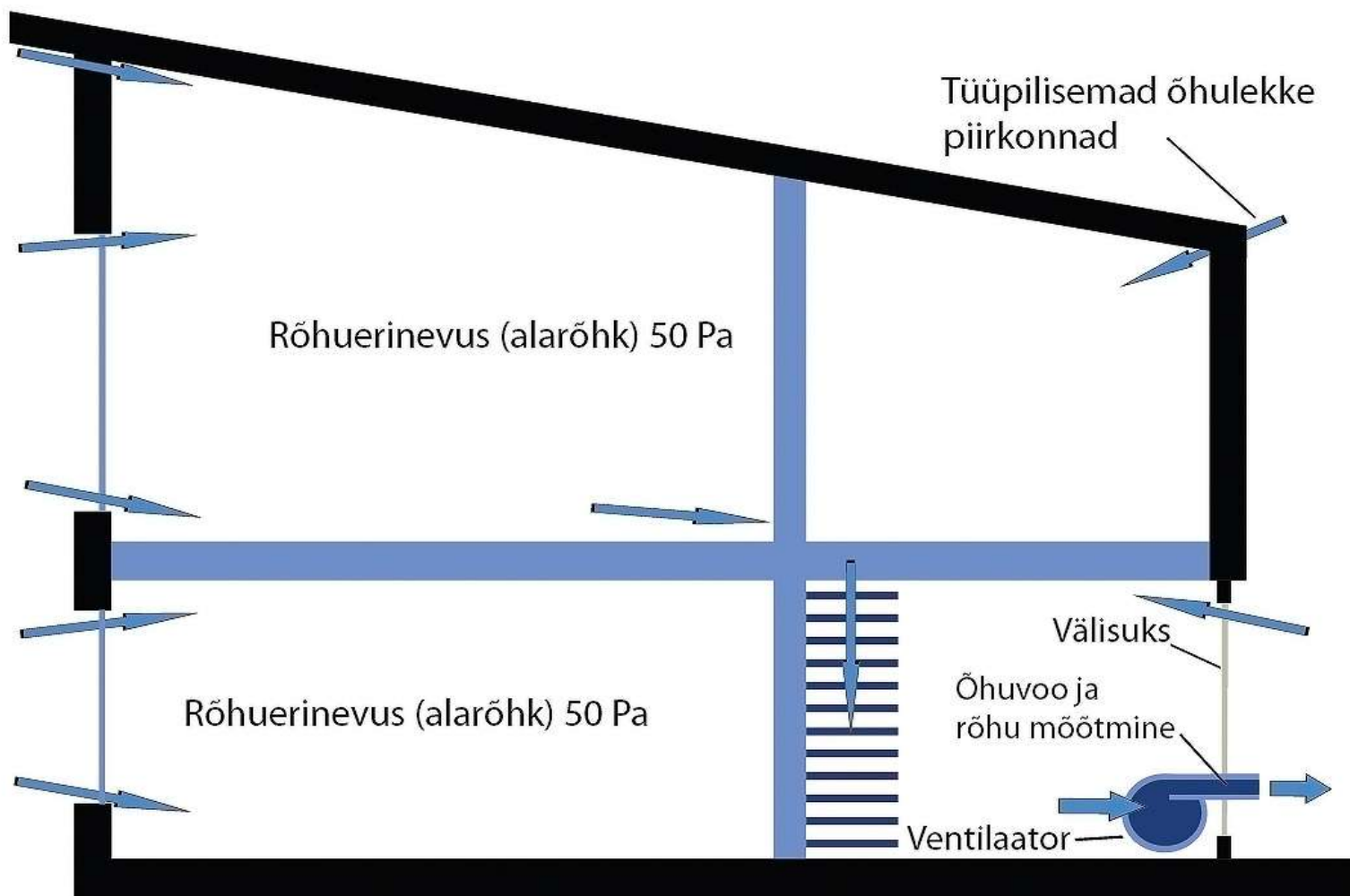


Aktiivne kollektoripind - 550 m²
Akupaakide maht - 30 m³

7. Hoone õhupidavuse kontroll

- Hoonekarbi õhupidavuse testimine blower-door meetodil (vastavalt EVS-EN 13829 metoodikale).
- Annab võimaluse:
 - Hoonete reaalse õhupidavuse mõõtmiseks;
 - Fikseerida ja likvideerida õhulekete allikad – vähendada soovimatut infiltratsiooni läbi hoone piirete.

Rõhutesti läbiviimine

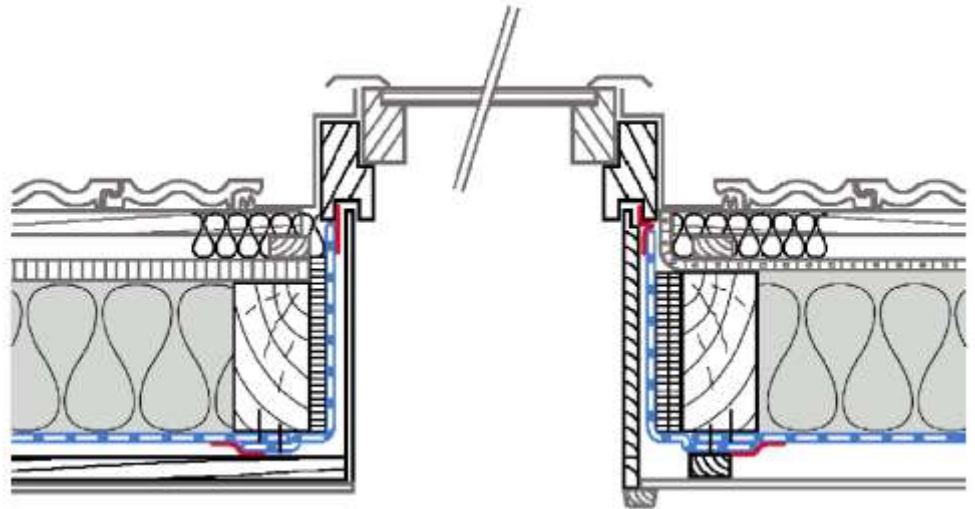
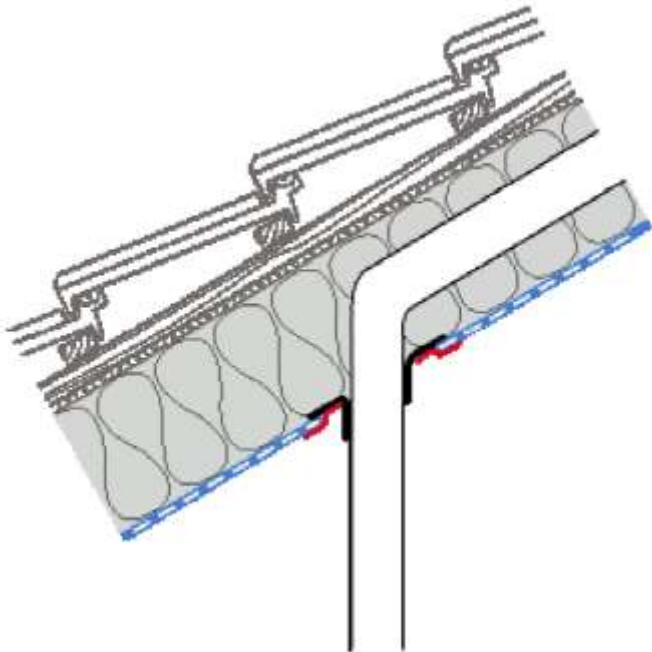


Rõhutesti läbiviimine





Hea õhupidavus saavutatakse selle **projekteerimisel**



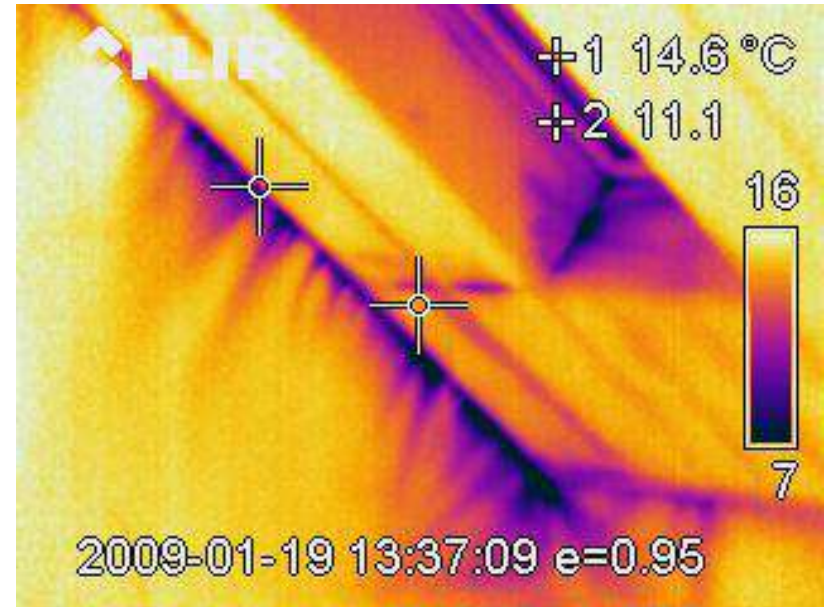
Ja hilisemal kvaliteetsel realiseerimisel



8. Infrapunatermograafia

- Hoone välispiirete infrapunatermograafiline ekspertiis:
 - konstruktiivsete külmasildade,
 - niiskunud soojustusmaterjali,
 - Külma õhu lekete ning
 - kondentsiriskiga pindade lokaliseerimine.

(vastavalt EVS-ENS 13187 metoodikale).



9. Tuumiklabori tegevus passiivmajade osas

Oleme Saksa Darmstadt'i PHI koostööpartnerid.

Passiivmajade osas pakutavad teenused:

- Kliimafailid erinevate Eesti osade kohta,
- Turul olemasolevate komponentide omaduste läbiarvutamine ja nõ materjalinimistute koostamine,
- keerulisemate objektide arvutustugi ja kontroll,
- sisekliima erisuste uuringud Eesti kliimas,
- Labori spin-off ettevõtte on PHPP2007 tarkvara edasimüüja Eestis ning korraldab ka tarkvara kasutuskoolitusi.

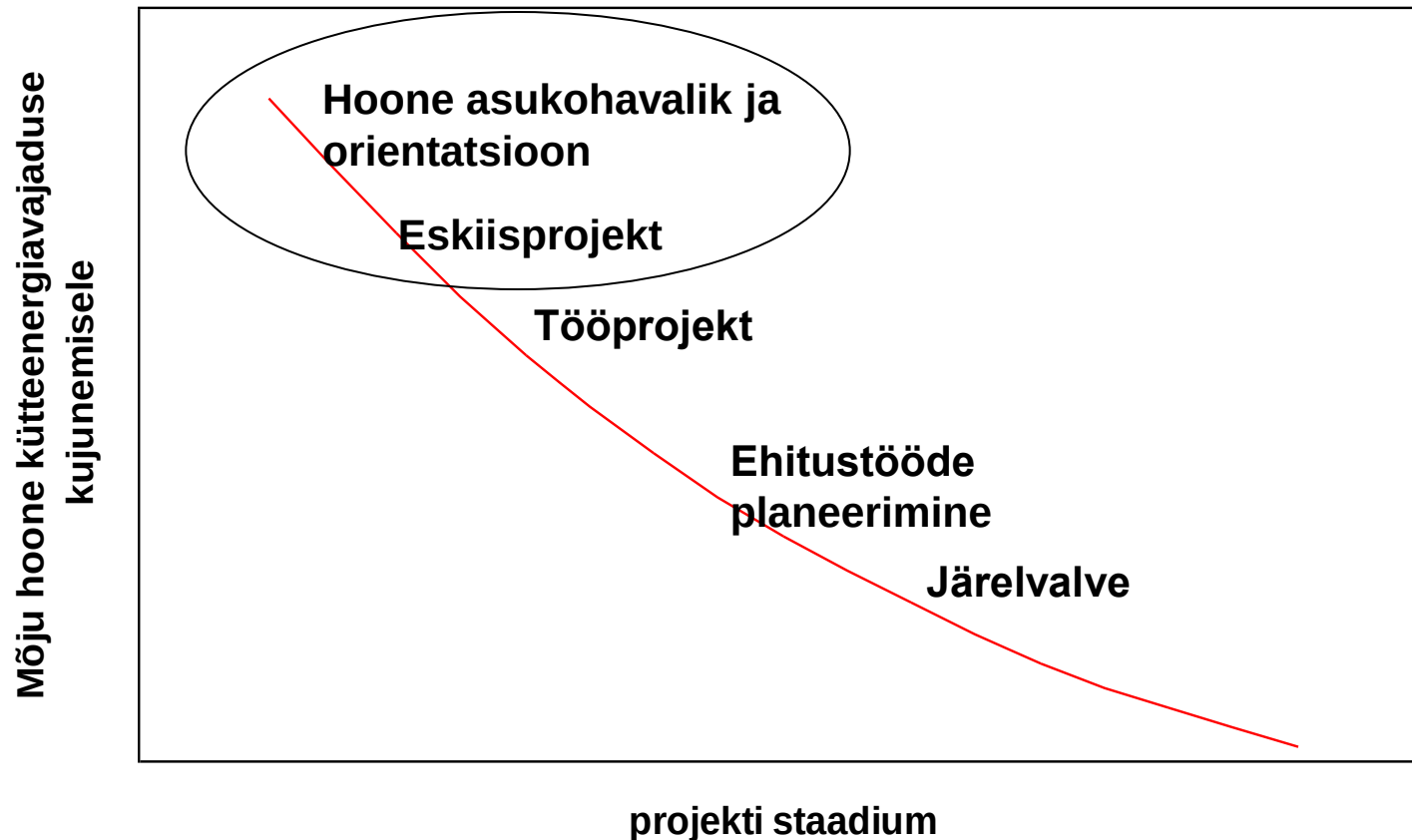
PHPP
2007

10. Huvitavamad arendused (hetkel käsil)

- Hoone soojabilansi parameetrilise arvutuse mootori ja ja visualiseerimisliidese loomine PHPP-le (kalkulaator)
- Insolatsioonianalüüsi skript Autodesk Ecotectile
- PHPP tarkvara täiendamine automatiseeritud arvutustega (lisalehed) Energiatõhususe miinimumnõuetega vastavuse tõendamiseks ja hoone energiaklassi määramiseks.
- Indeksite süsteemi ning energiakulu võrdlustarkvara loomine arhitektuurikonkurssidel võistlustööde järjestamiseks energiatõhususega seotud aspektide alusel.

Kokkuvõtteks:

suurima mõjuga otsused tehakse projekteerimise algfaasis





Aitäh. Küsimusi?