Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool, Energiatõhusa ehituse tuumiklabor

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

TÜ Energiatõhusa ehituse tuumiklabor & PassiveHouse OÜ



Põhieesmärk:

on hoonetes energiakasutuse tõhustamist toetavate innovatiivsete teenuste arendamine ja pakkumine teaduslike meetodite ja teabe baasil.

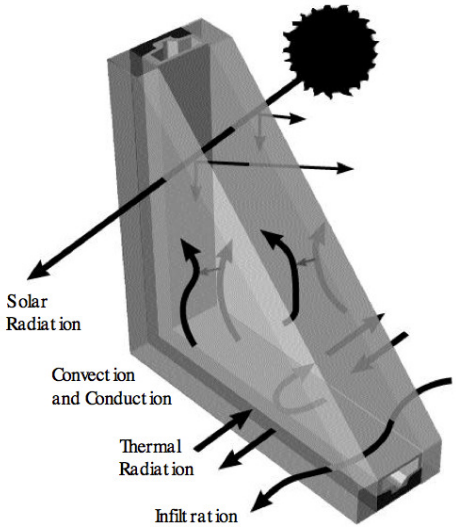
Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

TÜ Energiatõhusa ehituse tuumiklabor & PassiveHouse OÜ

Detailides tähendab see järgmisi tegevusi:

- lihtsustatud energiaarvutuste meetodite rakendamist hoone energiatõhususe tõstmiseks planeerimise algfaasis;
- dünaamilise simulatsiooni meetodite rakendamine hoonete energiakasutuse tõhustamiseks detailse projekteerimise faasis, sh sisekliima optimeerimine;
- Päevavalguse tasemete simulatsioon ja optimeerimine;
- Päikeseenergia soojuslike seadmete optimeerimine;
- Ehituslike sõlmlahenduste külmasildade soojusjuhtivuse staatilised ja dünaamilised arvutused;
- Hoone ehitusfüüsikaliste mõõtmiste teostamine (BD ja IR);

Sissejuhatus - ülevaade protsessidest



Erinevalt nt välisseinast on soojuslevi lisaks konduktsioonile olulisel määral seotud ka

- konvektsiooni ja
- kiirgusülekannetega.

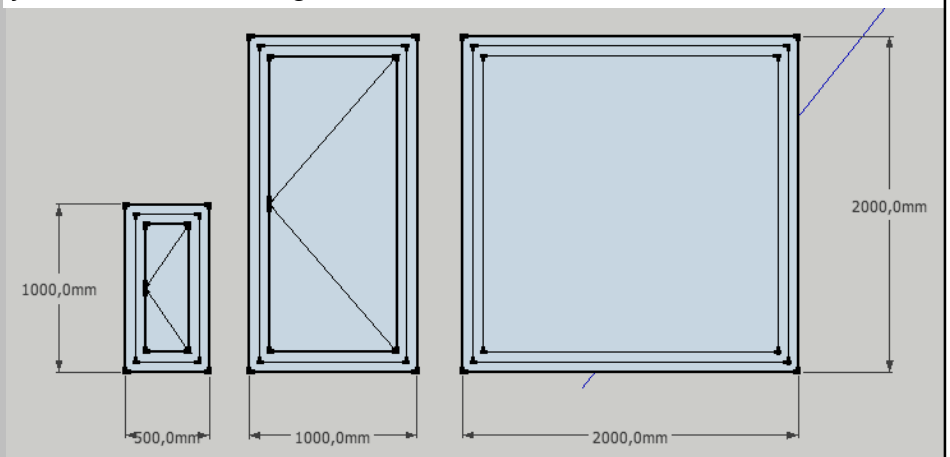
Allikas: U.S Dept. of Energy, Selecting Windows for Energy Efficiency

Avatäite soojuskaod

- Soojuskadu läbi raamiosa
  (EVS EN 10077-2, aknaraami soojusjuhtivustegur **U_f**)
- Soojuskadu läbi klaaspaketi nö "keskosa"
  (EVS EN 673, klaaspaketi keskosa soojusjuhtivustegur U_g)
- Soojuskadu läbi seinakinnitusel tekkiva joonkülmasilla.
  (EVS EN 10211, lengi seinakinnituse KS joonsoojusläbivus **ψ_j**)
- NB! Soojuskadu läbi klaaspaketi servosa ehk vaheliistust tekkiva joonkülmasilla. (EVS EN 10077-2, EVS EN 10211, klaasiserva KS joonsoojusläbivus **ψ_g**).
- Võrreldes tumma piirdeosaga kompenseerib soojuskadusid vähem või rohkem klaaspaketti läbiv päikesekiirgus ja ka päikesekiirguse neeldumisel emiteeruv soojuskiirgus
  (EVS EN 410, klaaspaketi päikesekaitsetegur **SHGC** või **g-arv**).

- **Alternatiivselt reguleerib kogu avatäite soojuslike protsesside modelleerimist EVS EN 15099.**

Nende parameetrite mõju suurus oleneb oluliselt akna suurusest ja/või avatäidete fragmenteeritusest

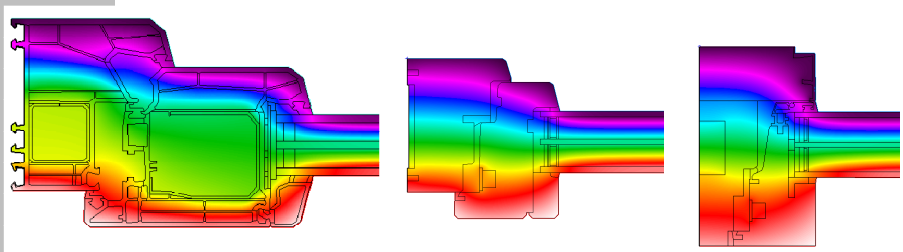


	laius	kõrgus	raami/lengi kõrgus	S_aken	S_raam	S_klaas	klaasi %
väike	0,5	1	0,12	0,5	0,30	0,20	40%
keskmine	1	2	0,12	2	0,66	1,34	67%
suur	2	2	0,12	4	0,90	3,10	77%

Aknaraami soojusjuhtivus

Tüüpiliselt vahemikus:

- Uf = 2,5 … 5,0 W/(m2K) – Kehv plastraam / soojuskatkestuseta alumiiniumraam
- …
- Uf = 1,4 W/(m2K) – tüüpiline soojuskatkestuseta puitraam
- …
- Uf = 0,6 W/(m2K) – parimad soojuskatkestusega puit ja plastraamid (EnerSign Arctics)

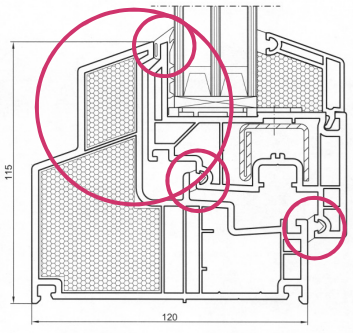


Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Aknaraami soojusjuhtivus

Näited tõhusatest akendest: **REHAU profiilsüsteem Clima-Design**



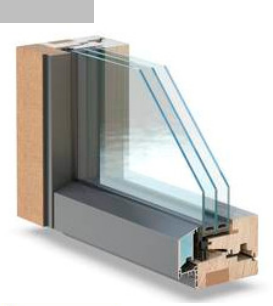


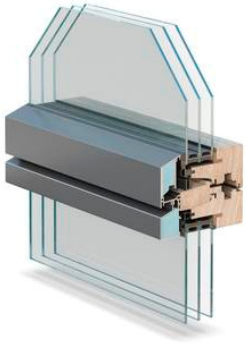
U_f = 0,71 W/(m²K)
ψ_g = 0,035 W/(mK)

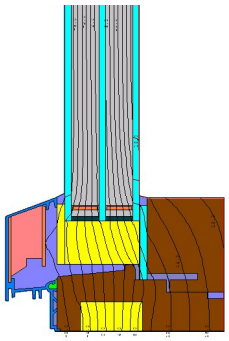
Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

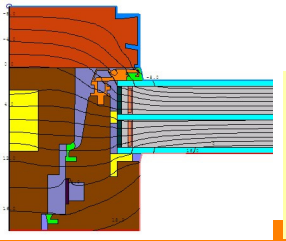
Aknaraami soojusjuhtivus

Näited tõhusatest akendest: **Smartwin (puit-alumiinium)**







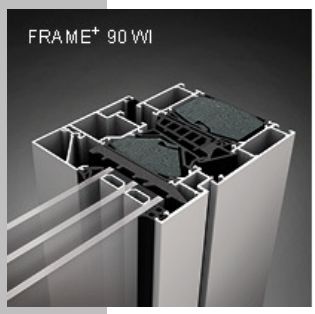


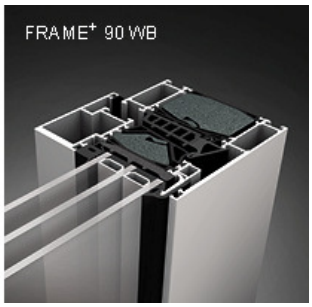
	U_f-value [W/(m²K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{Rsi=0.25}$ [-]
Spacer			SwisspacerV*	
Bottom	0.91	86	0.025	0.70
Side/top	0.70	86	0.026	

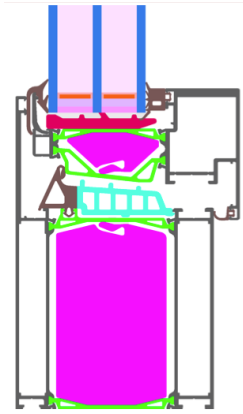
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Aknaraami soojusjuhtivus

Näited tõhusatest akendest: **RAICO FRAME+ 90 WB (alumiinium)**





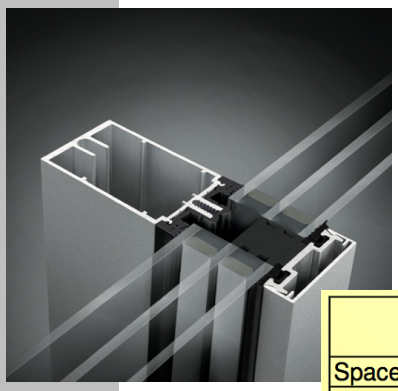

Bottom section

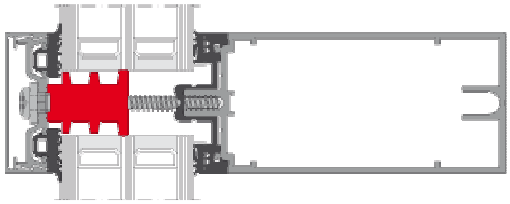
	U_f-value [W/(m²K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{Rsi=0.25}$ [-]
Spacer			Swisspacer V*	
Bottom	0.75	159	0.032	0.75
Side/top	0.75	159	0.032	

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Aknaraami soojusjuhtivus

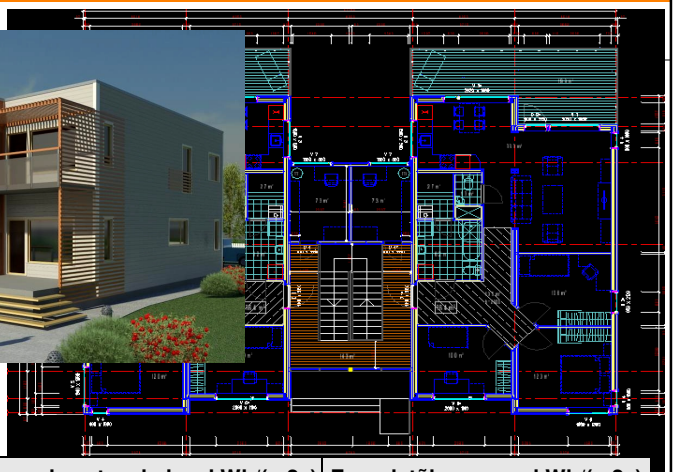
Näited tõhusatest akendest: **RAICO THERM+ 50 H-I (alumiinium)**



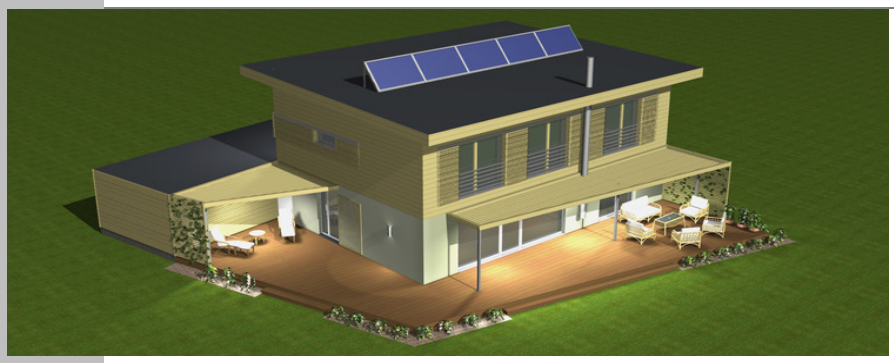


	U_f-value [W/(m²K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{Rsi=0.2}$ [-]
Spacer			Swisspacer V*	
Transom (t)	0.86	50	0.038	0.82
Mullion (m)	0.87	50	0.038	
Thermal glass carrier bridge χ_{GT} [W/K]:				0.005





	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Uf= 2,5 W/(m2K)	75,5	157,1
Uf= 1,4 W/(m2K)	65,0	150,7
Uf=0,6 W/(m2K)	55,2	144,8



	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Uf= 2,5 W/(m2K)	31,4	118,3
Uf= 1,4 W/(m2K)	22,7	108,8
Uf=0,6 W/(m2K)	14,8	100,0

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Klaaspaketi soojusjuhtivus / soojuskaod

Tüüpiliselt vahemikus:

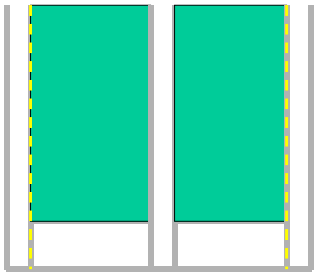
- Ug = 3,0 W/(m2K) – 2x klaaspakett õhkvahega (tavaklaasid)
- Ug = 1,1 … 1,3 W/(m2K) – 2x klaaspaket + Ar + low-e
- Ug = 0,6 … 0,7 W/(m2K) – 3x klaaspakett + Ar + 2x low-e
- Ug = 0,5 W/(m2K) – 3x klaaspakett + Kr + 2x low-e
- Ug < 0,5 W/(m2K) – eksperimentaalsed klaasingud (4x, multifoil, vaakumklaasing)

Allikas: Rehau	Täitegaas	Klaasikihtide vahekaugus	U_g (W/m²K)	SHGC
Kaheklaasiline klaaspakett	Õhk	12 mm	3,0	0,77
	Argoon	16 mm	1,1 (low-e)	0,62
	Krüptoon	12 mm	1,0 (low-e)	0,62
Kolmeklaasiline klaaspakett	Argoon	2 x 16 mm	0,6 (low-e)	0,50
	Krüptoon	2 x 12 mm	0,5 (low-e)	0,50

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Klaaspakettide areng

1 2 3 4 5 6 surfaces [W/(m²K)]



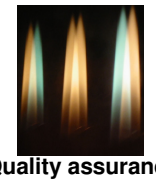
1.U_g=3.0

2.U_g=2.3

3.U_g=2.2

4.U_g=1.3 to 0.9

5.U_g=0.8 to 0.5



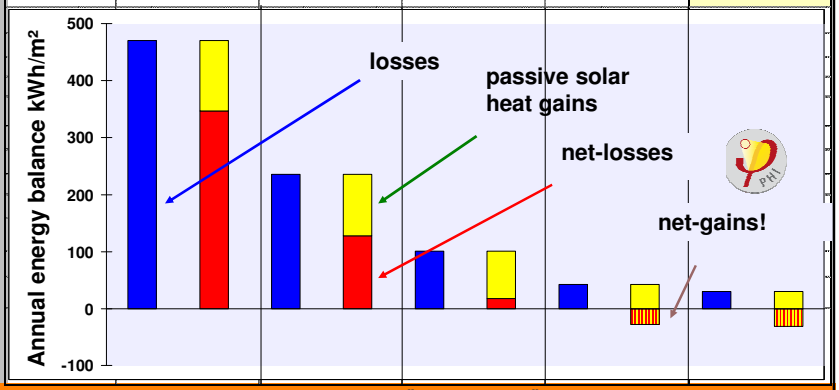
Quality assurance, quick test

Future: Multi-foil or vacuum glazing?

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Klaaspakettide areng

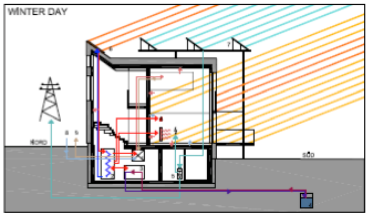
glazing	Single	Double	Double, low-e	Triple, low-e	Future: vacuum/ multi-foil
U_g-value (W/(m²K))	5,60	2,80	1,20	0,50	0,35
surf. temp	-1,8 °C	9,1 °C	15,3 °C	18,1 °C	18,6 °C
g-value	0,92	0,80	0,62	0,52	0,45

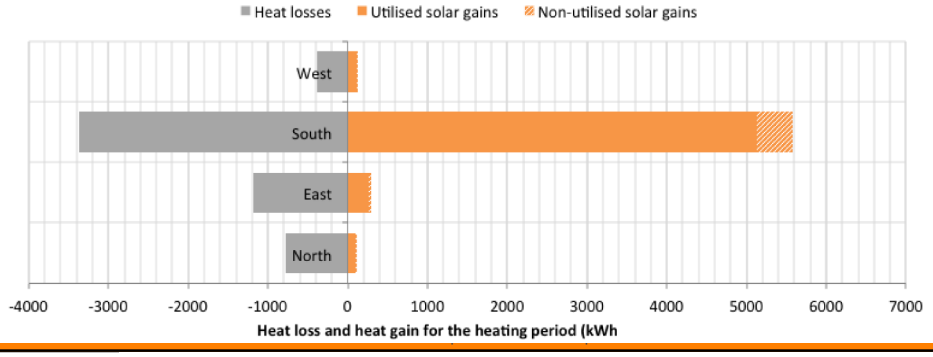


Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Klaaspaketi soojusjuhtivus / soojuskaod

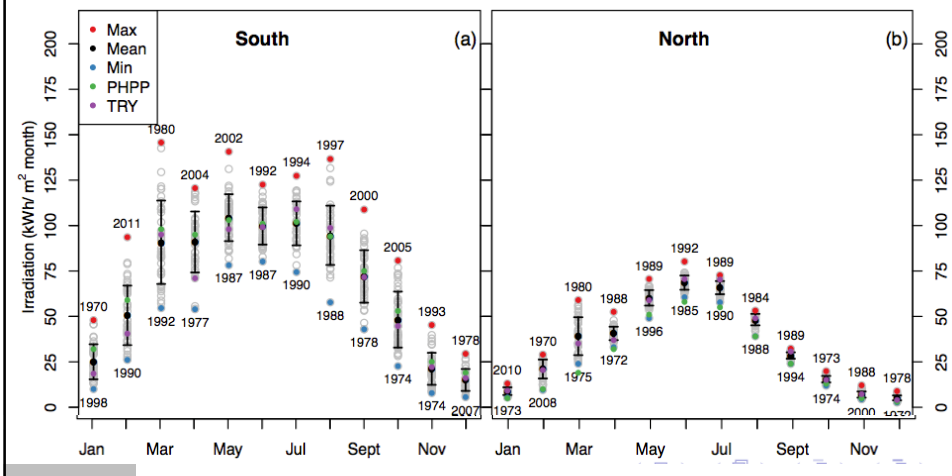






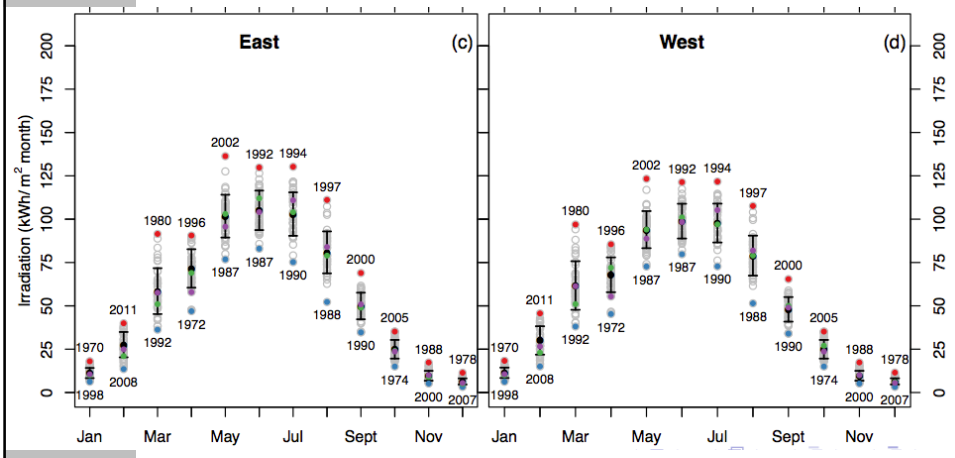
Klaaspaketi soojusjuhtivus / soojuskaod

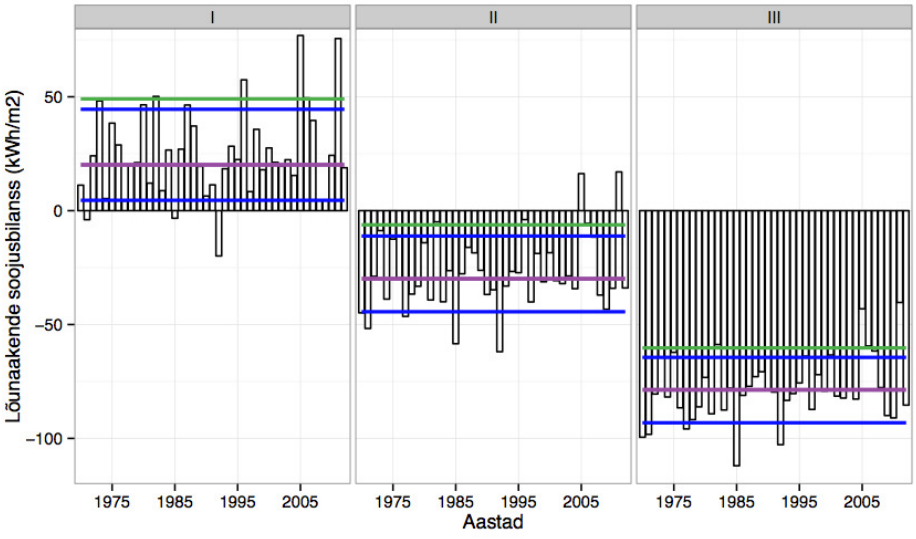
Summaarne kiirgus perioodil 1970 – 2012 (Tõravere)



Klaaspaketi soojusjuhtivus / soojuskaod

Summaarne kiirgus perioodil 1970 – 2012 (Tõravere)

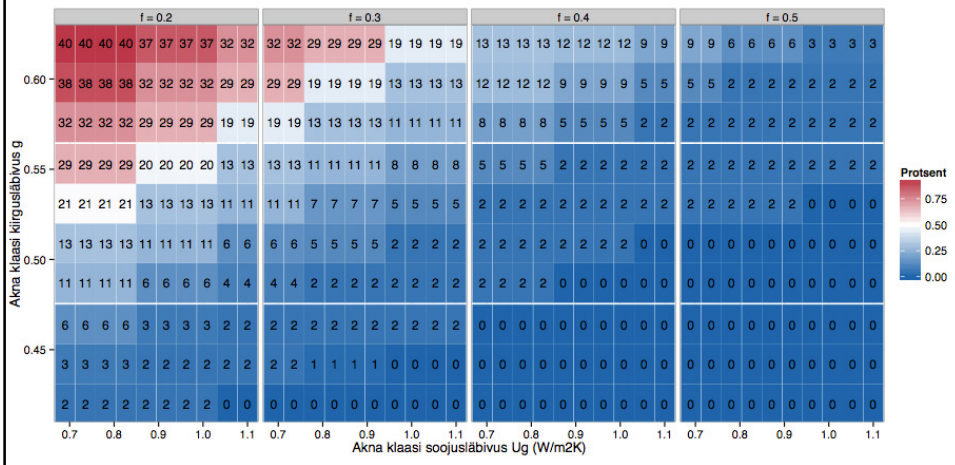




Ug=0.69W/(m2K), g=0.62, Uf=0.54W/(m2K)	Ug=0.90W/(m2K), g=0.52, Uf=0.54W/(m2K)	Ug=1.10W/(m2K), g=0.42, Uf=0.54W/(m2K)

Klaaspaketi soojusjuhtivus / soojuskaod

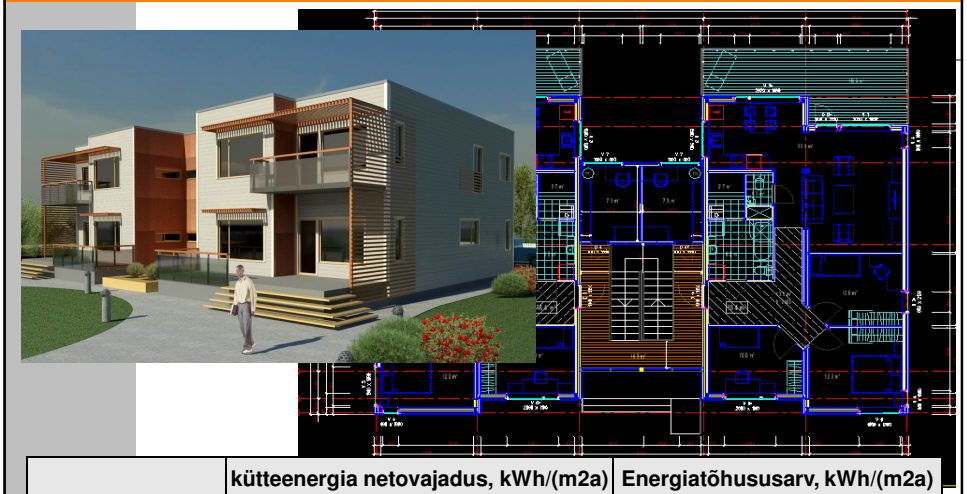
f - raami osakaal, maatriksis numbriliselt aastate hulk, mille korral akende bilanss on arvutuslikult positiivne (kütteperioodil).



U_g < 1.0 W/(m²K) - kondentsi ajutine tekke välisküljel

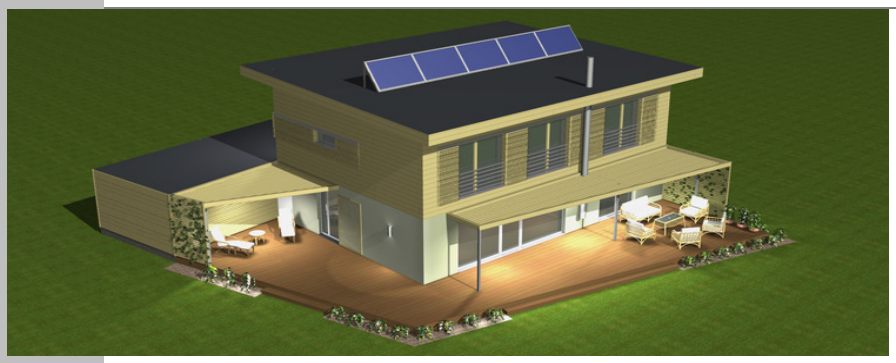


Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



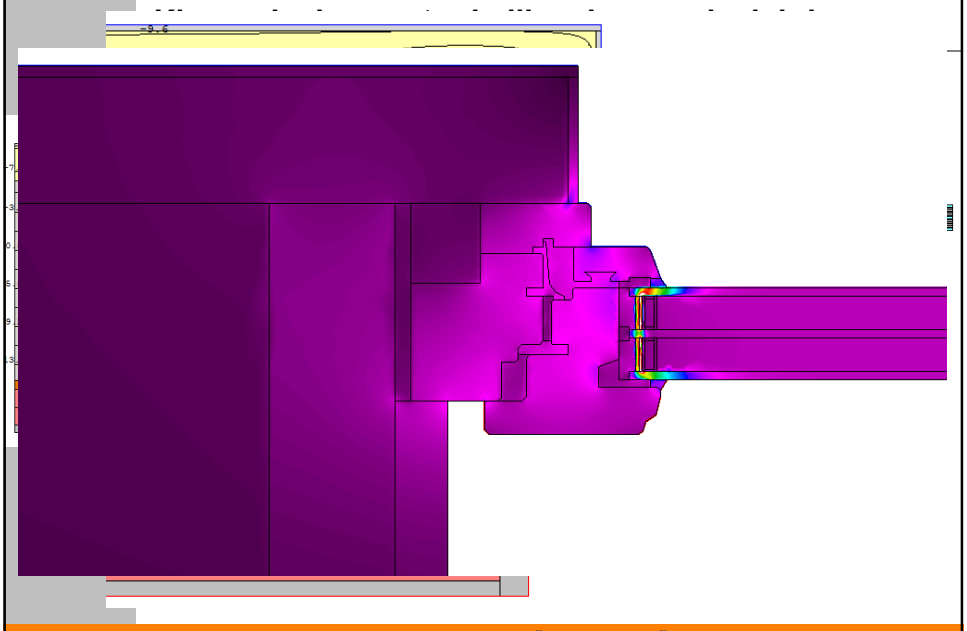
	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Ug = 3,0 W/(m2K)	91,4	166,7
Ug = 1,1 W/(m2K)	60,5	148,0
Ug = 0,6 W/(m2K)	54,1	144,1

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

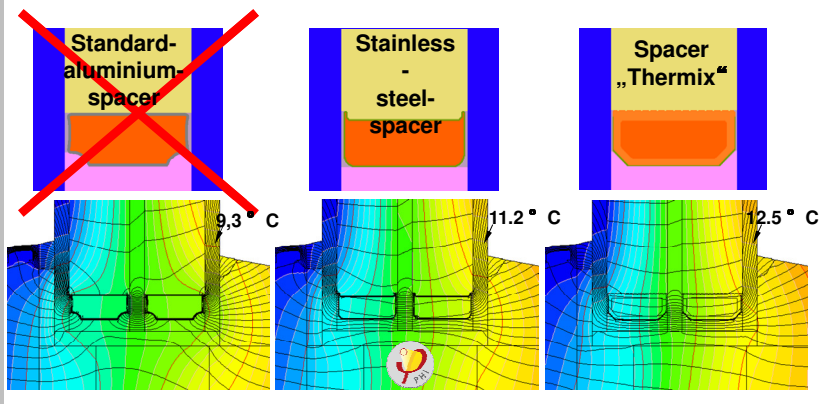


	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Uf= 2,5 W/(m2K)	59,7	149,1
Uf= 1,4 W/(m2K)	23,1	109,1
Uf=0,6 W/(m2K)	16,2	101,6

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas



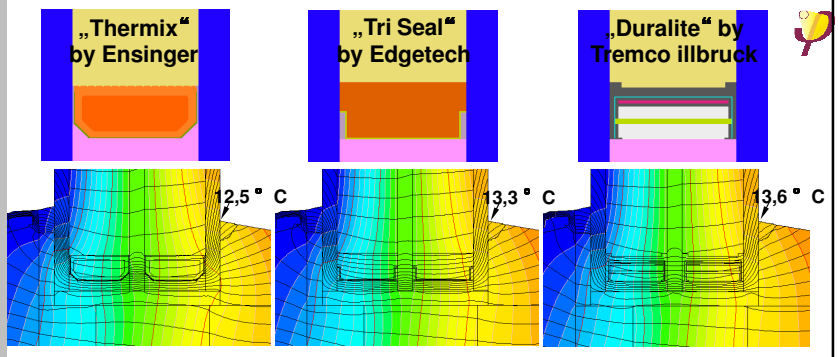
Klaaspaketi serva / vaheliistu joonsoojusjuhtivus



$\Psi_g = 0.076$ W/(mK)	$\Psi_g = 0.054$ W/(mK)	$\Psi_g = 0.039$ W/(mK)
$U_w = 0.89$ W/(m²K)	$U_w = 0.84$ W/(m²K)	$U_w = 0.80$ W/(m²K)

Calculation of the window U-value with $U_g = 0.70$ W/(m²K), $U_{f,bottom} = 0.73$ W/(m²K) and $U_{f,top} = 0.70$ W/(m²K)

Klaaspaketi serva / vaheliistu joonsoojusjuhtivus

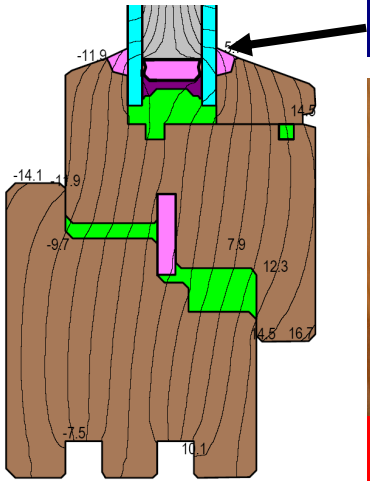


Ψ_g = 0.039 W/(mK)	Ψ_g = 0.030 W/(mK)	Ψ_g = 0.027 W/(mK)
U_w = 0.80 W/(m²K)	U_w = 0.78 W/(m²K)	**U_w = 0.77 W/(m²K)**

Calculation of the window U-value with U_g = 0.70 W/(m²K), $U_{f,bottom}$ = 0.73 W/(m²K) and $U_{f,top}$ = 0.70 W/(m²K)

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Klaaspaketi serva / vaheliistu joonsoojusjuhtivus



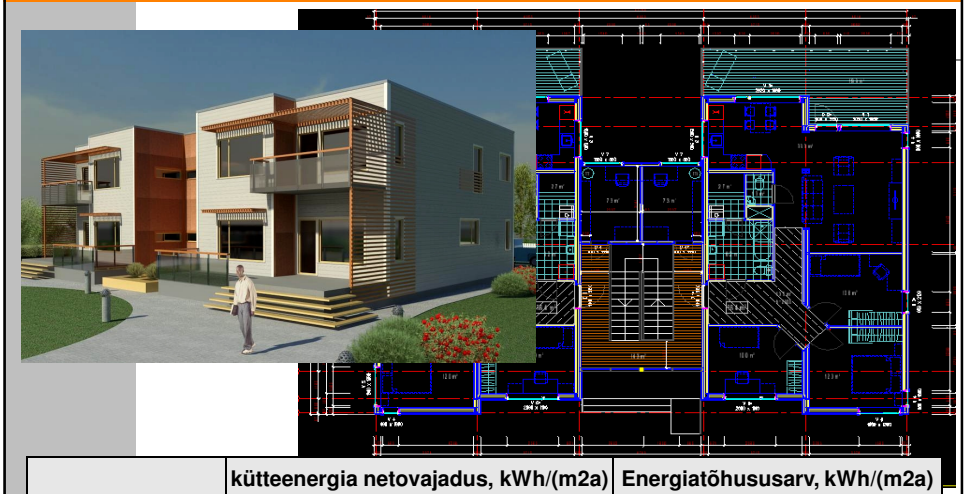
3.7 ° C at outside temperature –15 ° C



For a living room with 30m², 0.25 l of condensate are produced easily.

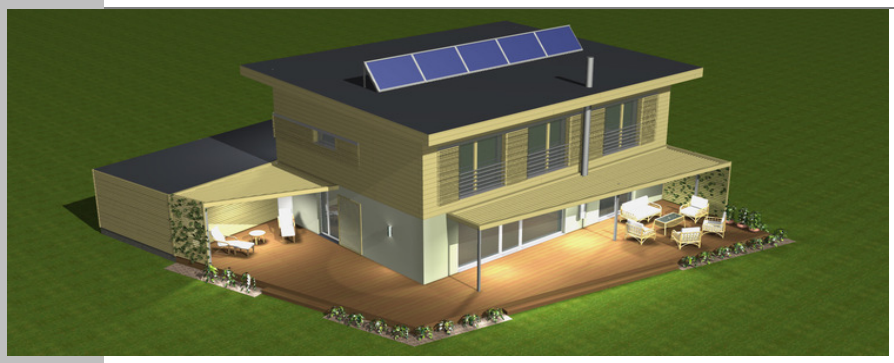
Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)		Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
ψ_g= 0,076 W/(mK)	(alumiinium)	65,1	150,8
ψ_g= 0,054 W/(mK)	(teras)	63,5	149,8
ψ_g= 0,030 W/(mK)	(plastik-komposiit)	61,8	148,8

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)		Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
ψ_g= 0,076 W/(mK)	(alumiinium)	18,4	103,9
ψ_g= 0,054 W/(mK)	(teras)	17,2	102,6
ψ_g= 0,030 W/(mK)	(plastik-komposiit)	15,9	101,2

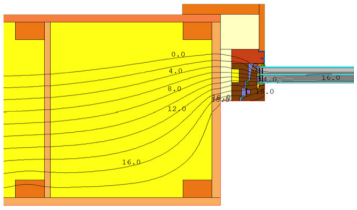
Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

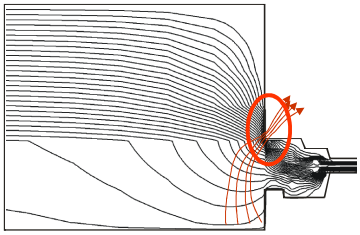
Aknalengi seinakinnituse joonsoojusjuhtivus

Võib olla sõltuvalt lahendusest väga olulise mõjuga. Suur potentsiaal optimeerimiseks.

Tüüpiliselt vahemikus:

- ψ = > 0,2 W/(mK) – soojuslikult väga halb lahendus
- ψ = < 0,02 … 0,04 W/(mK) – soojuslikult hea tüüpahendus
- ψ = < 0 W/(mK) – paks ülekate, soojuslikult ülioptimeeritud lahendused



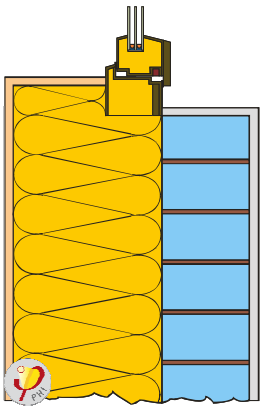


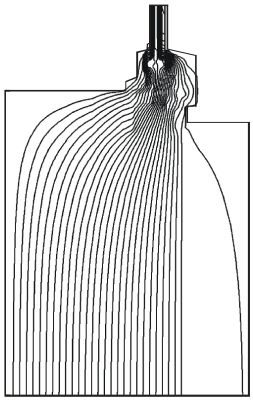
The installation is vital

recommended installation

$\Psi_{install}$ = 0.005 W/(mK)

$U_{w,eff}$ = 0.78 W/(m²K)

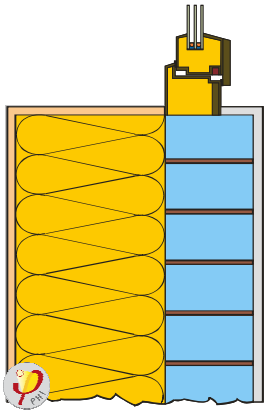


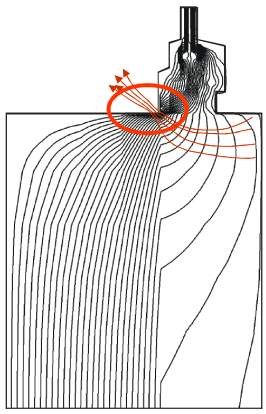


The installation is vital

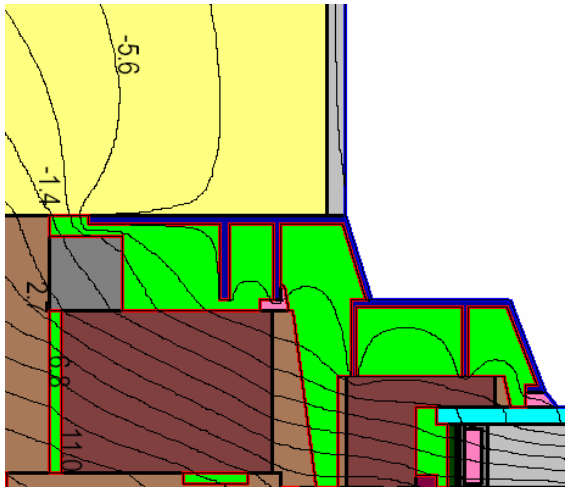
extremly bad installation

$\Psi_{install}$ = 0.15 W/(mK)
$U_{w,eff}$ = 1.19 W/(m²K)



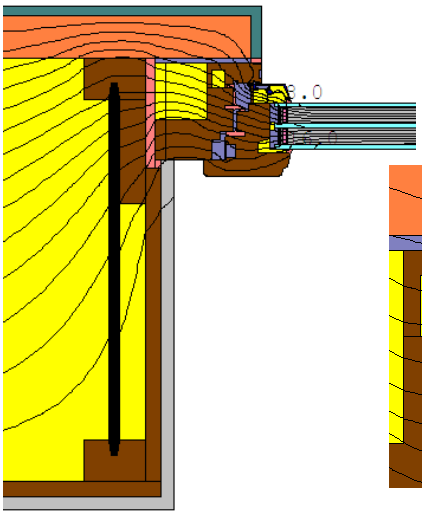


Erisus tavapäraste puit-alumiiniumakende korral

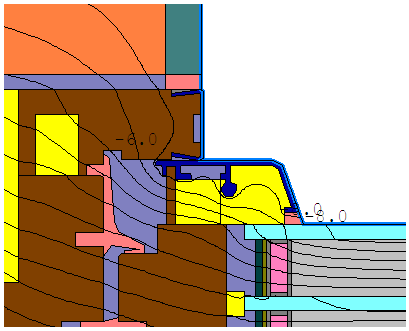


Ψ_{Einbau} = 0.06 W/(mK)

Ülekatte jaoks optimeeritud puit-alumiiniumaknad

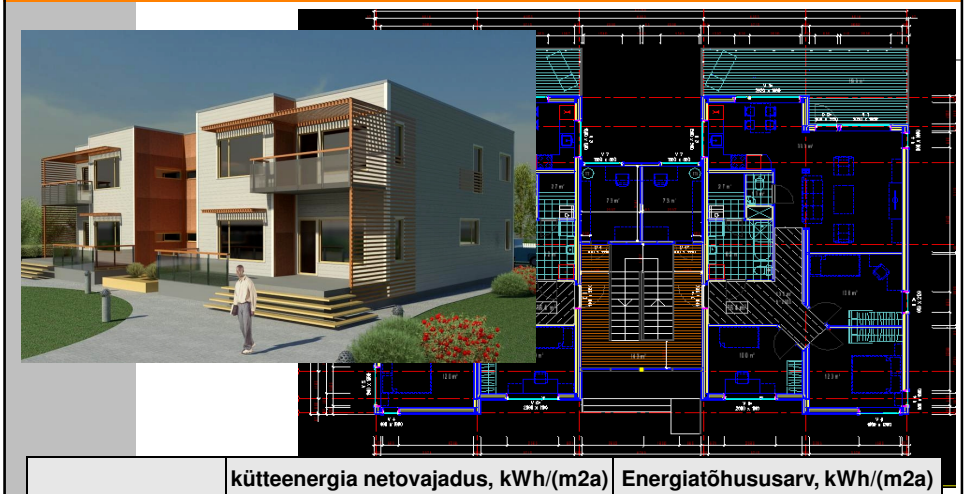


$\Psi_{installation}$ = 0.01 W/(mK)



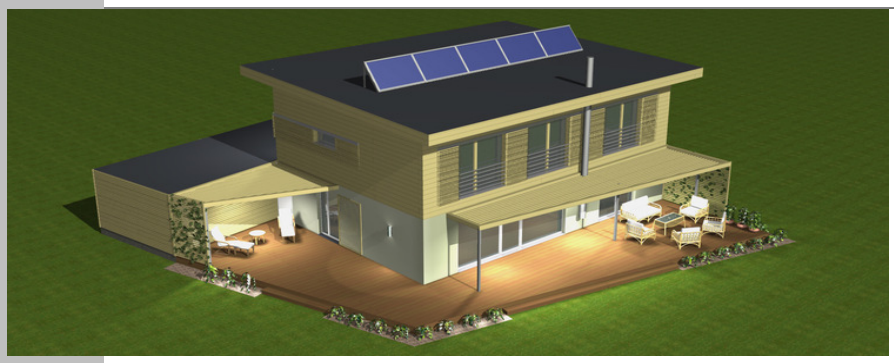


Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Ψ = 0,20 W/(mK)	76,8	157,9
Ψ = 0,03 W/(mK)	63,4	149,8
Ψ = 0,00 W/(mK)	61,1	148,4

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



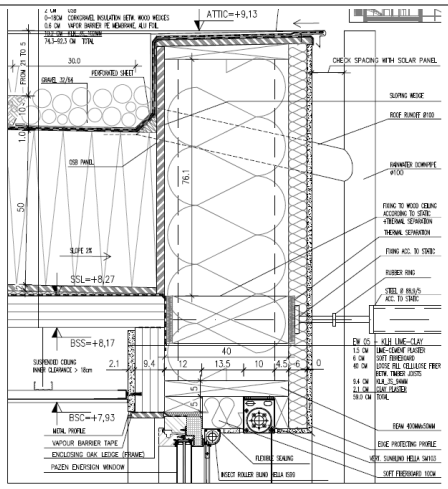
	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
Ψ = 0,20 W/(mK)	24,0	110,1
Ψ = 0,03 W/(mK)	16,1	101,5
Ψ = 0,00 W/(mK)	14,9	100,1

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Avatäidete õhupidavuse tagamine



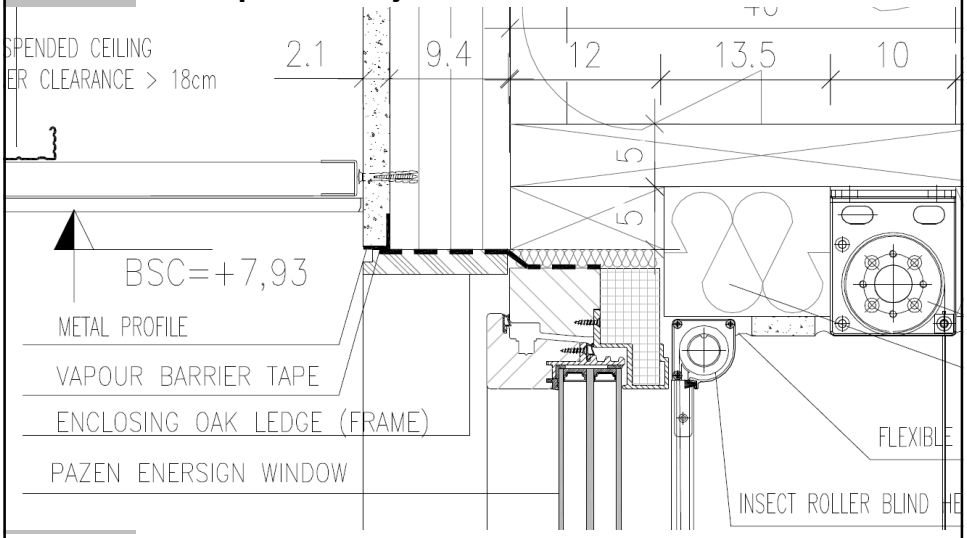




Õhupidava kihi loomine algas projekti faasis

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja

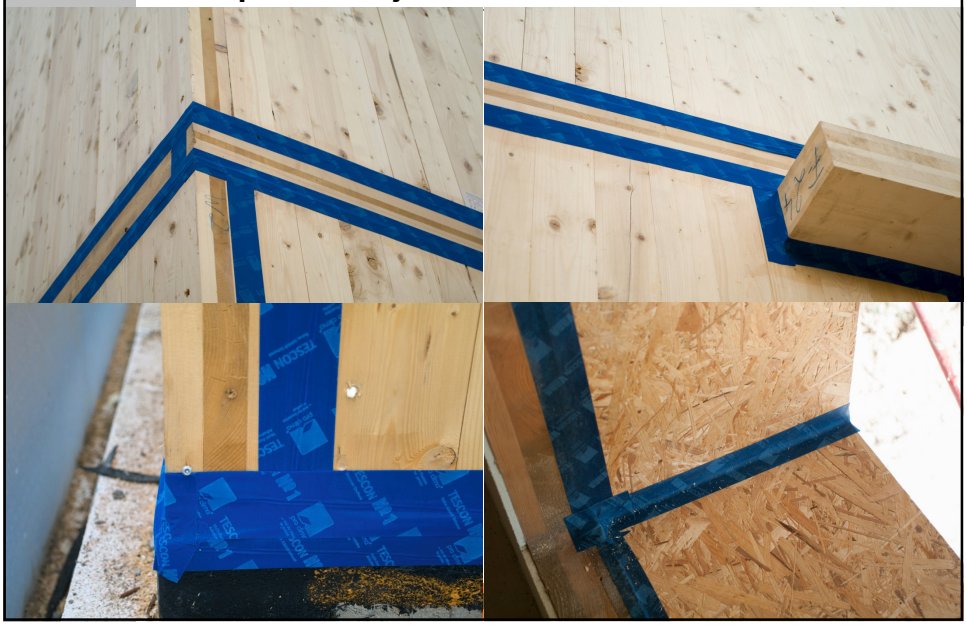


Õhupidava kihi loomine algas projekti faasis

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja



Põlva passiivmaja







Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja



Esimene rõhutest enne siseviimistlust

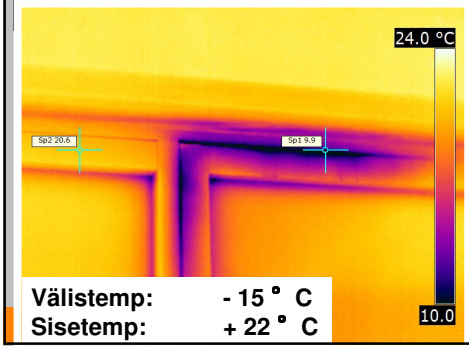


Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja





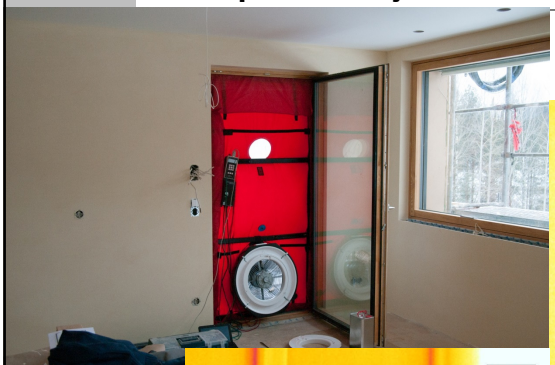


Välistemp: - 15 ° C
Sisetemp: + 22 ° C



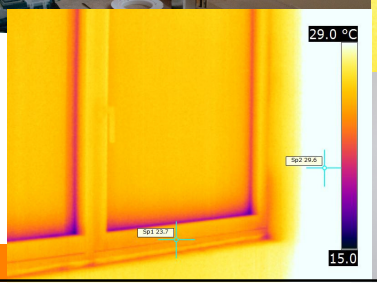
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja

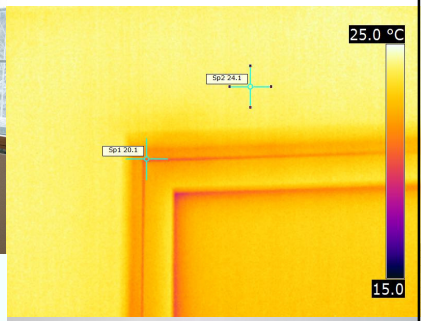


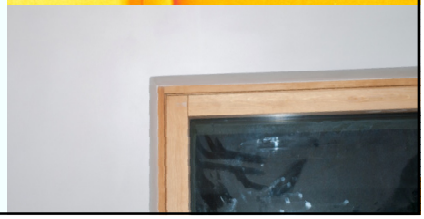
Välistemp:
- 15 ° C

Sisetemp:
+ 22 ° C

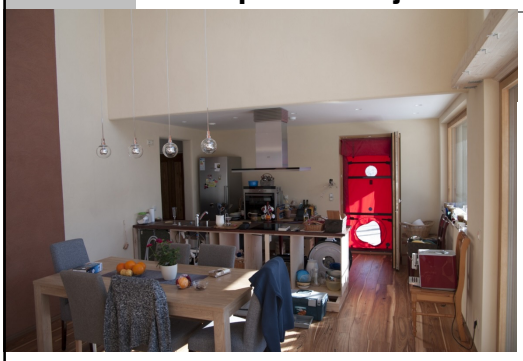


Järgmine rõhutest peale vigade parandust





Põlva passiivmaja



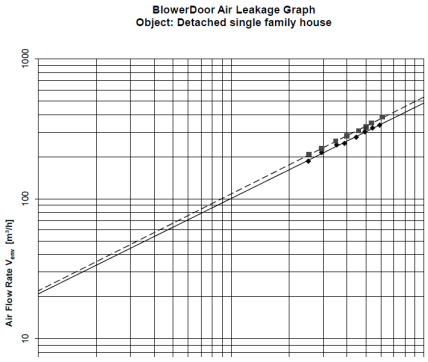
Test Date: 14.03.13

Air change rate at 50 Pascal

according to EN 13829, Method A

n_{50} = 0,36 1/h

Lõplik üle- ja alarõhutest täielikult valminud hoones



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Sertifitseerimisjärgus passiivmaja Tartumaal



Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Sertifiseerimisel passiivmaja Tartumaal

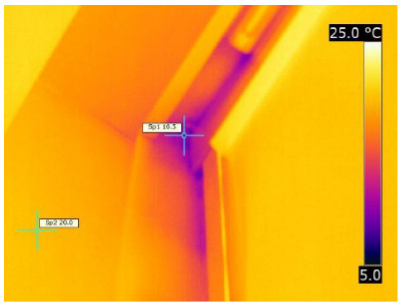


Õhupidava kihi loomine on valmimisjärgus

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



Kui õhupidavus ei ole kõikjal tagatud





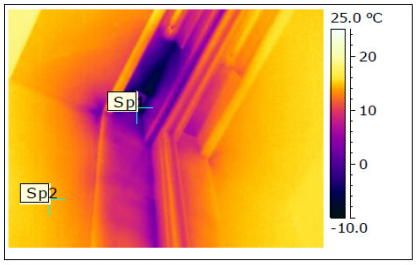
Faili nimi	IR_2252	Sp1 temp	10,5 °C
Kellaaeg	09:57	Sp2 temp	20,0 °C
Min temp	8,4 °C		
Maks temp	23,0 °C		

Kommentaar:

Probleemid puuduvad.

Välisõhu temperatuur	-7 – -6 °C
Tuul	2 – 3 m/s
Õhuniiskus	43 %
Pilvisus	Täielik pilvisus; 100%
Siseõhu temperatuur	20 – 22 °C

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.





Välistemperatuur	-12 °C
Tuul	2,5 – 3 m/s
Pilvisus	Täielik

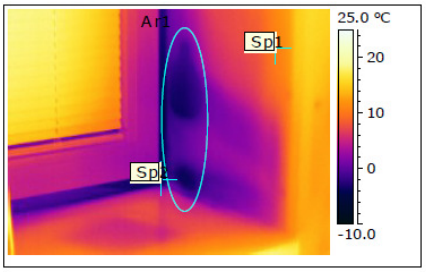
Faili nimi	IR_0918.jpg
Kellaaeg	12:08:26
Emissiivsus	0.95
Max. temperatuur	19.1 °C
Min. temperatuur	-8.8 °C
Sp1 temperatuur	-7.8 °C
Sp2 temperatuur	14.0 °C

Asukoht: ruum 017
Kommentaar:
Õhuleke Sp1 piirkonnas. **Probleemne koht.**

Telliskivifassaadi aknakinnituste soojusvoosimulatsioonile tuginedes ei tohiks valgustikambris temperatuur langeda alla 7 °C.

Sarnane õhulekkeprobleem esines termografeerimise hetkel enamusel null, esimese ja teise korruse telliskivifassaadi akendel, millel akna kohal valgusti.
Lisaks olid enamus akendel esindatud õhulekked ka aknapõske katva vineerplaadi ja aknaraami vahelt.
Halvematel juhtudel oli temperatuur lekkekohas ligilähedane välistemperatuuriga.

Kui õhupidavus ei ole kõikjal tagatud



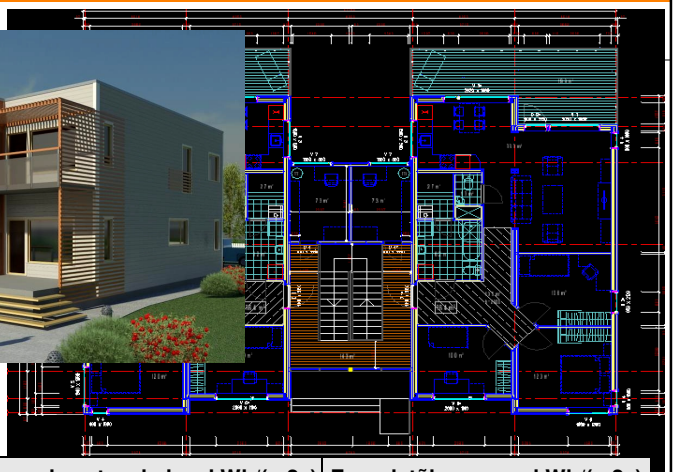


Välistemperatuur	-20 °C
Tuul	1 m/s
Pilvisus	Väga hõre

Faili nimi	IR_1448.jpg
Kellaaeg	10:11:40
Emissiivsus	0.98
Max. temperatuur	18.6 °C
Min. temperatuur	-4.9 °C
Sp1 temperatuur	10.4 °C
Sp2 temperatuur	-4.2 °C

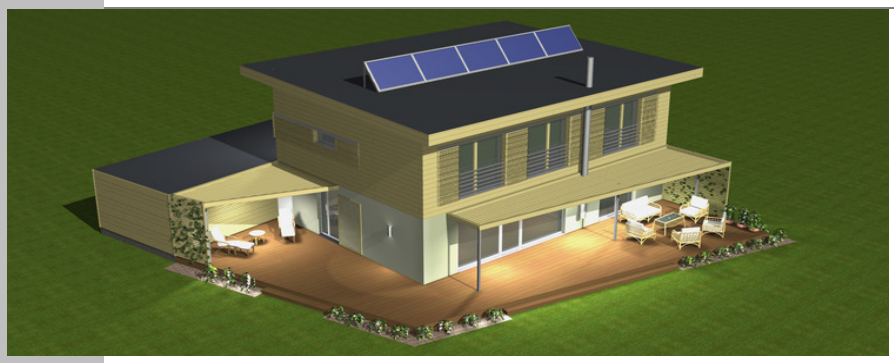
Asukoht: ruum 003
Kommentaar:
Külm välisõhk on pääsenud seinakonstruktsiooni sisse ja jahutab siseviimistlusel kasutatud kipsplaate. Tõsisest probleemist annab märku ka tavafotol nähtav jäätumine aknapõsel. Infrapunafotol on need piirkonnad ümbritsetud ringiga.





	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
n50 = 6,0 h^{-1}	100,2	172,1
n50 = 3,0 h^{-1}	77,6	158,4
n50 = 0,6 h^{-1}	60,0	147,7

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



	kütteenergia netovajadus, kWh/(m2a)	Energiatõhususarv, kWh/(m2a)
n50 = 6,0 h^{-1}	50,2	138,7
n50 = 3,0 h^{-1}	30,5	117,2
n50 = 0,6 h^{-1}	16,7	102,2

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

RAKENDUSLIKUD ASPEKTID

Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Avade suund, suurus ja fragmenteeritus

- Aknapindade mõõdukas suurendamine: 3x paketil on optimaalne suurus ca 2,5 – 3,0 m2 vahemikus.
  - 4/4/4 – kuni 2.5m2
  - 6/4/6 – kuni 4.0m2
  - 8/6/8 – kuni 7.0m2
  - 8/8/8- kuni 8.0m2
- Fragmentatsiooni vältimine kus võimalik: vaheliistu KS mõju suureneb, klaasiosa väheneb.
- Eluhoonetel klaaspindade ja ruumiplaneeringu optimeerimine lõunakaarde +- 25° (koos päikesekaitse lahendamisega!).
- Ida- ja läänefassaadidel klaaspindade vähendamine – eriti suurema soojuseraldusega kasutusotstarvete korral (palavusoht, päikesekaitseklaaside vajadus).
- Fassaadisüsteemi eelised (õhupidavus!)

Tõhusate komponentide valik

- Projektispetsiifiline tasuvus, kuid tõhusate komponentide valikul tuleks jälgida, et komponendid oleksid enam-vähem vastavad.
- Kitsa profiiliga raamisüsteemid ja raamid/lengid annavad eelise (klaasiosa suureneb).
- Probleem: Eesti turul on raske saada komponentide lõikes spetsiifilist informatsiooni eeskätt raamide/lengide soojusläbivuse kohta. Alternatiiviks:
  - Rahvusvahelised andmebaasid: nt www.passiv.de
  - Tootjate rahvusvahelised kodulehed: nt Rehau, Raico
  - Numbrilised arvutused (EVS EN 10077-2, nt LBNL Therm)
- 3x Argoontäitega klaaspakett kahe low-e kattekihiga saab lähitulevikus tõenäoliselt tüüplahenduseks, kui me räägime pikema kasutusega hoonetest.

Energiaarvutusteks olulisi tähelepanekuid

Lähteandmete piisav kirjeldamine. Aknakomponentide variatsiooni mõju võib olla sõltuvalt projektis suur, eeskätt madalenergia ja liginullenergia hoonete korral. Seega:

- Oluline on arvutusmudelis eelnevalt käsitletud parameetrid detailselt kirjeldada (need on spetsiifilised üksikule avale):
  - klaasi ja raamiosa soojusläbivus eraldi
  - raami mõõtmed (osakaal),
  - joonkülmasildade pikkused ja joonsoojusjuhtivused,
  - **Varjutusolud!** (lihtsustatud arvutustarkvarad)

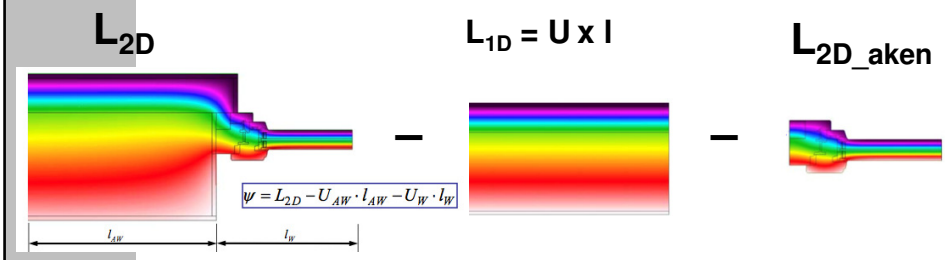
Palavusriski ja päikesekaitsevajaduse hindamine on oluline!

- Tuulutuse võimalik mõju
- Erinevate päikesekiatselahenduste mõju

Seinakinnituse optimeerimine

Arvutatakse vastavalt ISO 10211 üldmeetodi füüsikalisele edasiarendusele ISO 10077 põhjal (kus luuakse eraldi detailne aknalengi/raami/klaasi mudel):

$$\Psi = L_{2D} - L_{2D_aken} - U \times l = L_{2D} - L_{2D_aken} - L_{1D}$$



Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine

- Avatäite õhupidavuse eest vastutab tootja.
- Avatäite seinakinnituse eest vastutavad projekteerija ja ehitaja
- Projekteerimisel:
  - Joonised, kuidas õhupidavuse tagamise üldpinnad detailses sõlmes aknalengiga kokku viiakse.
  - Vajadusel tööde järjekorra kirjeldus õhupidavuse lahendamiseks vastavalt joonisele.
  - Kasutada tuleb ajas püsivaid materjale – ehk akna puhul spetsiaalsed teibid (tolerants ja hea nake!)
  - Näidislahendusi leiab õhupidavustoodete tootjate (ISOVER, SIGA, Pro Clima jne) veebilehtedel ja laiemalt veebis:
- Realiseerimisel: sõltuvalt lahendusest puhasta/krundi pinnad ja kontrolli rõhutestiga lõpptulemust.

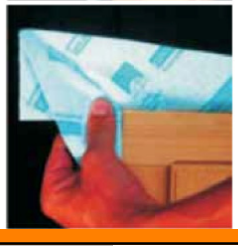
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine

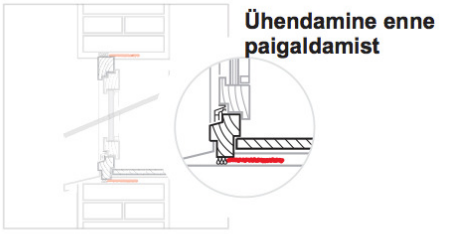
Enne akna paigaldamist kinnitada akna-tihendusteip. Nurkades voltida sisse kinnitusvaru.



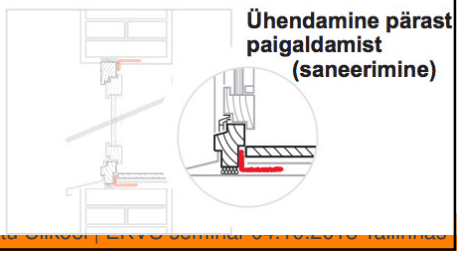
Enne akna montaaži paigaldatakse teip kogu ulatuses ümber aknaraami. Aknanurkades võib teipi voltida, nagu näidatud vasakul pool olevatel joonistel. CONTEGA FC fliisi mõlemad lahtised otsad liimitakse õhutihedalt nt pro clima DUPLEXi abil.



Hilisema montaaži korral liimitakse CONTEGA FC liimiteibiga aknaraami sise-küljele. Nurgapiirkondades tuleb samuti kasutada spetsiaalset voltimistehnikat, et teipi oleks võimalik nurkades peale voltida. Teibi mõlemad otsad liimitakse õhutihedalt pro clima DUPLEXi abil.



Ühendamine enne paigaldamist



Ühendamine pärast paigaldamist (saneerimine)

Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine



Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Õhupidavuse projekteerimine ja realiseerimine



Jaanus Hallik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

- **Aparatuur paigaldada aknaavasse!**
- **Sooritada üle- JA alarõhutest!**

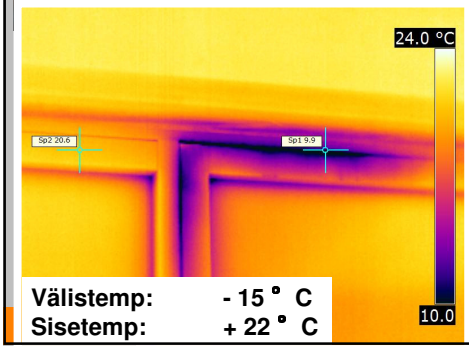


Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja





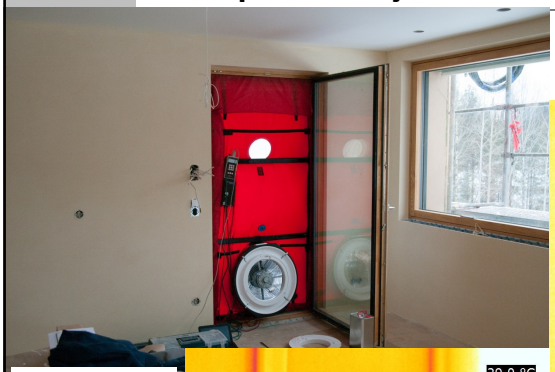


Välistemp: - 15 ° C
Sisetemp: + 22 ° C



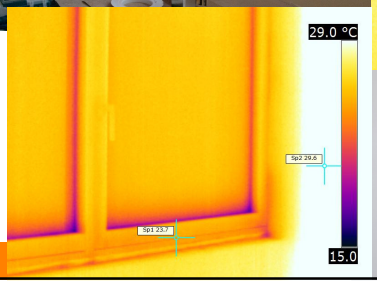
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Põlva passiivmaja

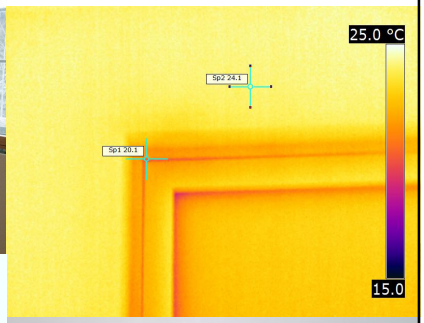


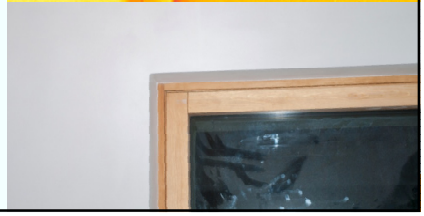
Välistemp:
- 15 ° C

Sisetemp:
+ 22 ° C



Järgmine rõhutest peale vigade parandust





Sertifitseerimisjärgus passiivmaja Tartumaal



Sertifiseerimisel passiivmaja Tartumaal



Õhupidava kihi loomine on valmimisjärgus



Arvutustarkvarad akendega seotud arvutusteks

Klaaspaketi soojusjuhtivusteguri ja päikesefaktori standardiseeritud arvutused:

- Calumen II - http://www.glassolutions.ee/tools/tool/2
- LBNL Window 7.1 - http://windows.lbl.gov/software/window/window.html

Aknaraami/-lengi soojusläbivuse ning akna seinakinnituse külmasilla joonsoojusjuhtivuse arvutused:

- LBNL Therm 7.1 - http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html

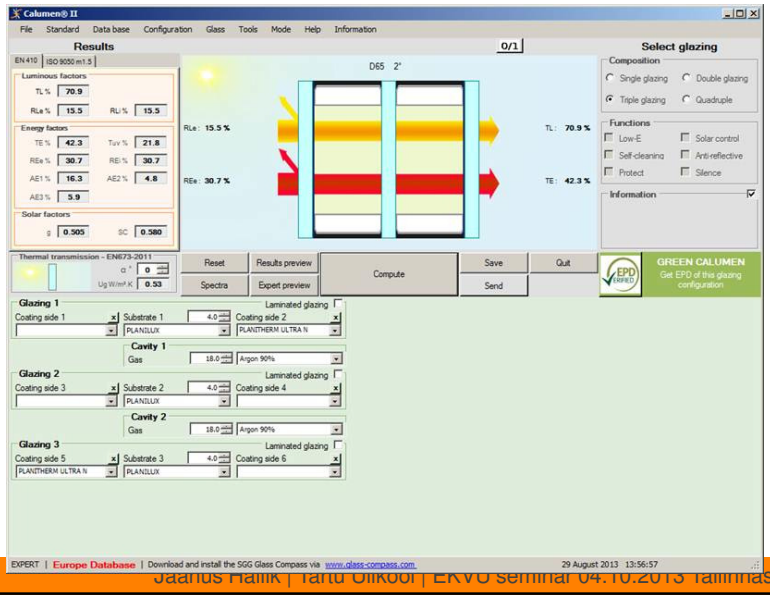
Varjutusolude analüüs, päikesekaitselahenduse efektiivsuse analüüs:

- Autodesk Ecotect, Autodesk Revit ja mitmed muud tasulised tarkvarad
- Dünaamilise hoonesimulatsiooni tarkvarad, mis võimaldavad lähteandmete geomeetrilist sisestamist.

Insolatsiooniolude analüüs:

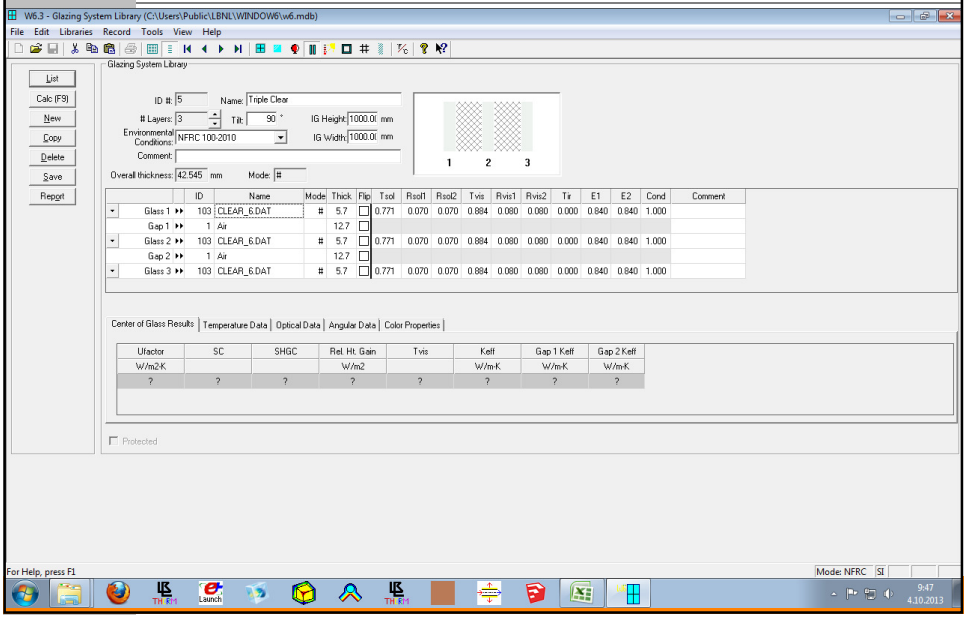
- Autodesk Ecotect ja mitmed muud tasulised tarkvarad;
- Sketchup ligikaudseks analüüsiks või detailseks analüüsiks kasutades RUBY kaudu automatiseerimist - http://sketchup.com

Calumen II



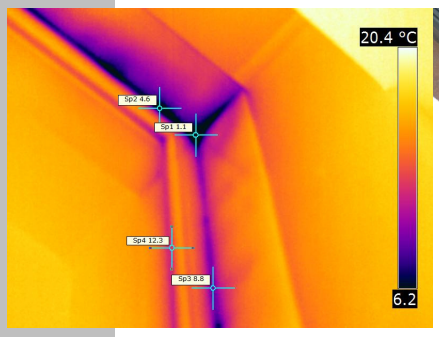
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

LBNL Window



Praktilisi näiteid arvutustest ja lahendatud probleemidest

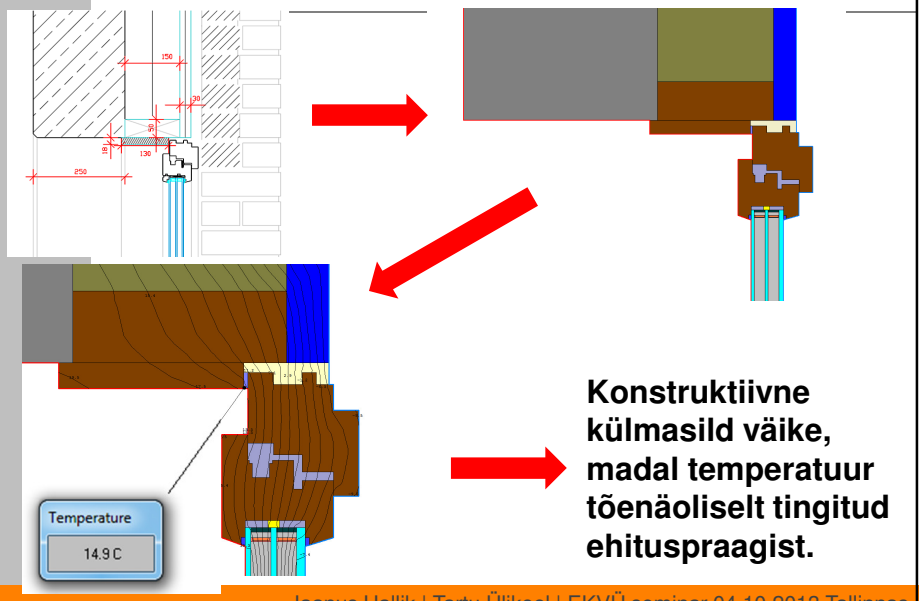
1. Ehituskvaliteedi kontroll – kõrgkool Tartus





Välistemperatuur -12 ° C, sisetemperatuur +20° C
Akna ülaääres temperatuur +1...+5 ° C
Konstruktiivne külmasild või ehituspraak?

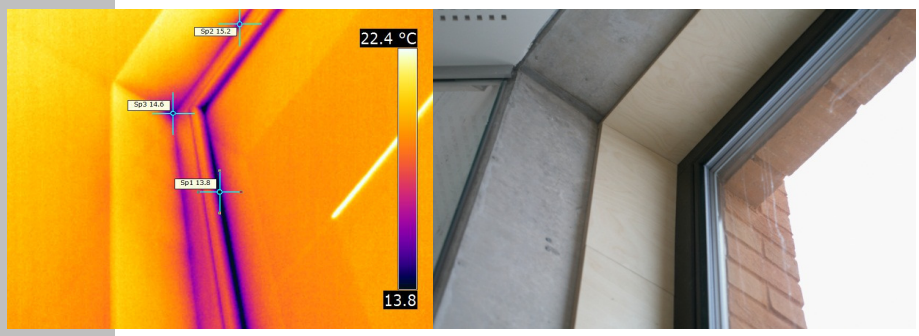
Tavaline akna seinakinnituse ülasõlm



Konstruktiivne külmasild väike, madal temperatuur tõenäoliselt tingitud ehituspraagist.

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

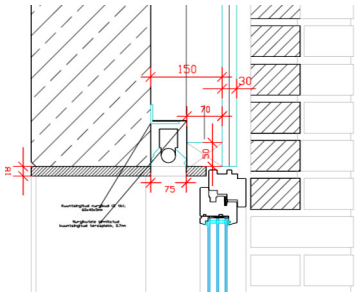
Tavaline akna seinakinnituse ülasõlm



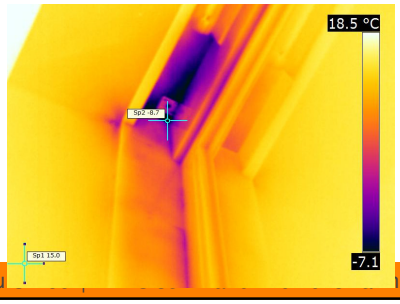
Infrapuna termograafia kinnitas numbriliste arvutuste tulemusi.

Välistemperatuur -12 ° C, sisetemperatuur +20° C
Termofoto õhuleketeta piirkonnast näitab Akna ülaääres temperatuuri ligikaudu +15 ° C

Valgusti nišiga aknasõlm





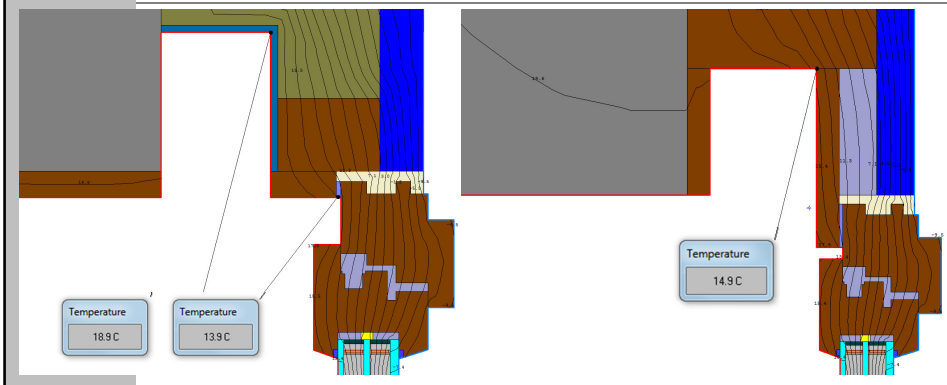


Välistemperatuur -12 ° C, sisetemperatuur +20° C

Valgusti nišis temperatuur ligikaudu -8 ° C

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Valgusti nišiga aknasõlm



Termopildil temperatuur ligikaudu - 8 ° C
Soojusvoosimulatsioonis mitte alla 13 ° C

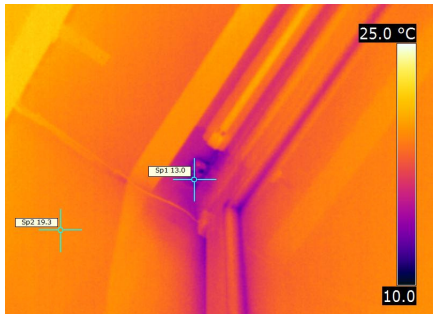
Valgusti nišiga aknasõlm



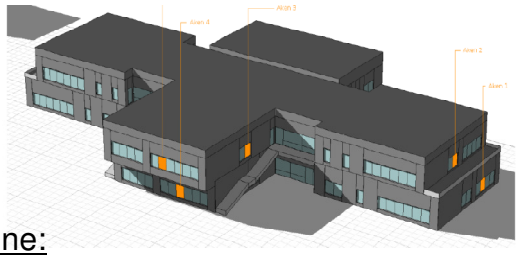


Parandustööd ja kontroll:

Välistemperatuur -7° C, sisetemperatuur +20° C Valgusti nišis temperatuur ligikaudu +13 ° C



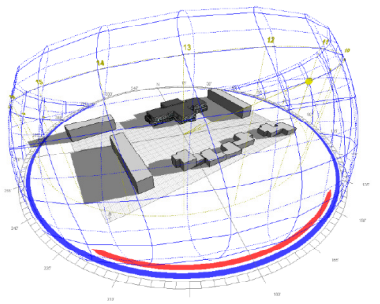
2. Statsionaarse päikesekaitse kavandamine - Lasteaed Tartus

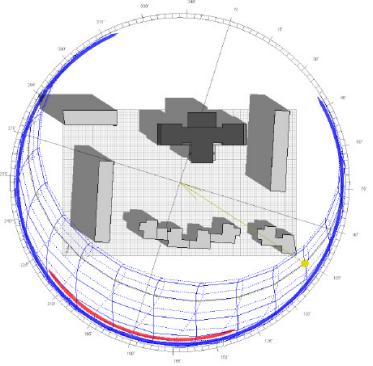


- Probleem/ülesanne:
  Leida erinevate päikesekaitsesirmide efektiivsus päikese otsekiirguse vähenemisele erinevatel fassaadidel.
- Lahendus:
  Autodesk Ecotectis hoone 3D mudel ja sirmide võimaliku mõju uuring erineva suunaga fassaadidel päikese otsekiirguse vähenemisele.

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende ko

1. Esmane suveolukorra analüüs (juuni - august).
2. 1,0m ja 1,5m hor.sirmi mõju analüüs suve-olukorras.
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.





Jaanus Hallik | Tartu

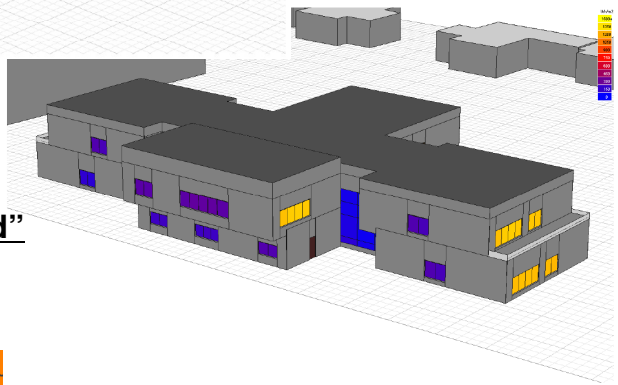
nas

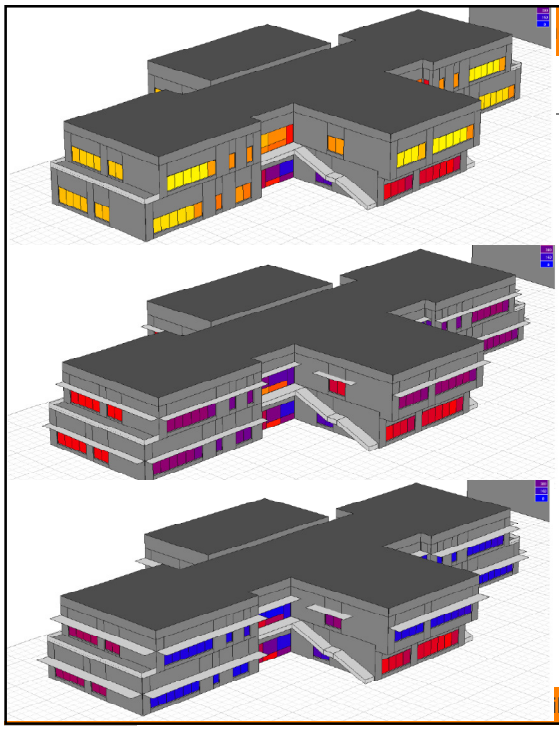
ergiatõhususe aspektist.

“Lõunafassaad”



“Põhjafassaad”





õju energiatõhususe aspektist.

Esialgne olukord

1,0m sirm

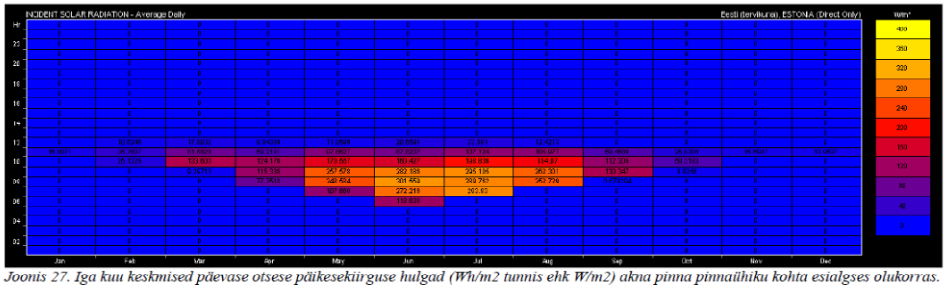
1,5m sirm

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

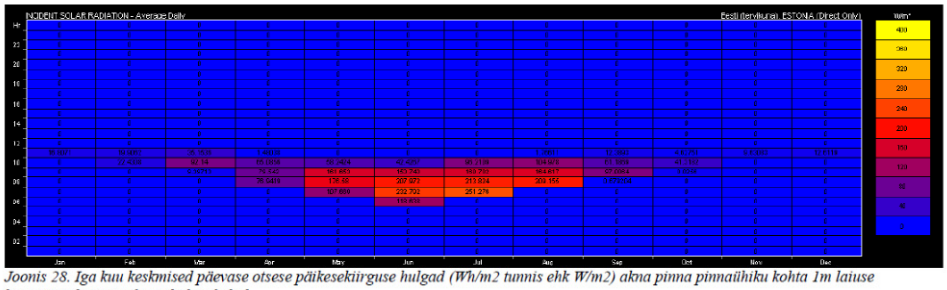


Joonis 22. Detailsemalt analüüsitud aknad.

Aken 2.

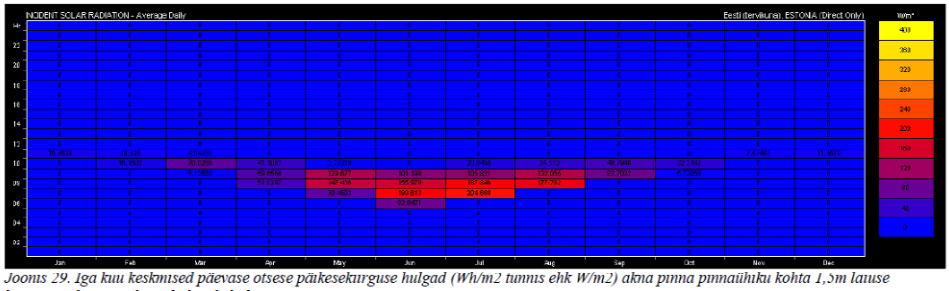


Joonis 27. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m2 tunnis ehk W/m2) akna pinna pinnaühiku kohta esialgses olukorras.



Joonis 28. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m2 tunnis ehk W/m2) akna pinna pinnaühiku kohta 1m laiuse horisontaalse sirmi korral akna kohal.

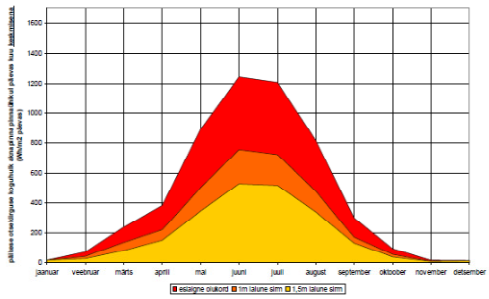
"Idapoolne" aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm



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

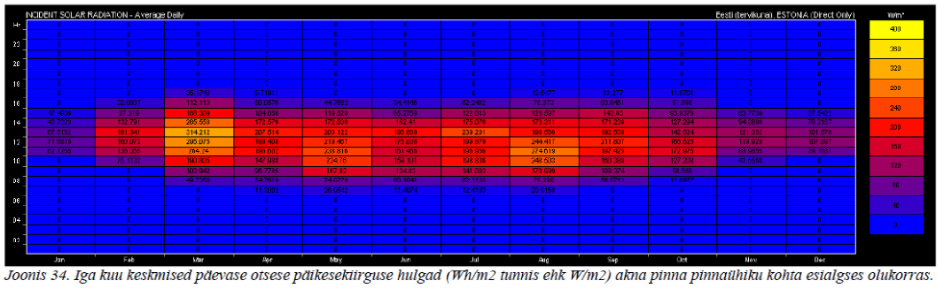
	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	17	17	0,0%	16	5,9%
veebruar	72	42	41,7%	27	62,5%
märts	242	137	43,4%	80	66,9%
aprill	386	223	42,2%	152	60,6%
mai	893	504	43,6%	350	60,8%
juuni	1244	756	39,2%	529	57,5%
juuli	1208	722	40,2%	519	57,0%
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 pinnaühikule langev kiirgushulk (Wh/m2 päevas) ning päikesekaitselahenduste 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 pinnaühiku kohta esialgses olukorras.



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

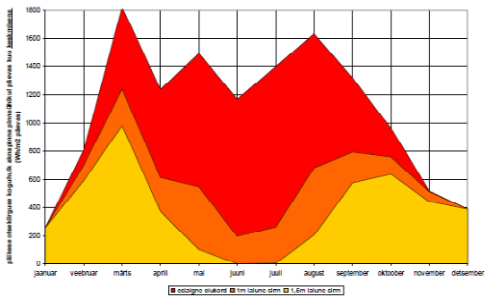
“Lõunapoolne” aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm



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

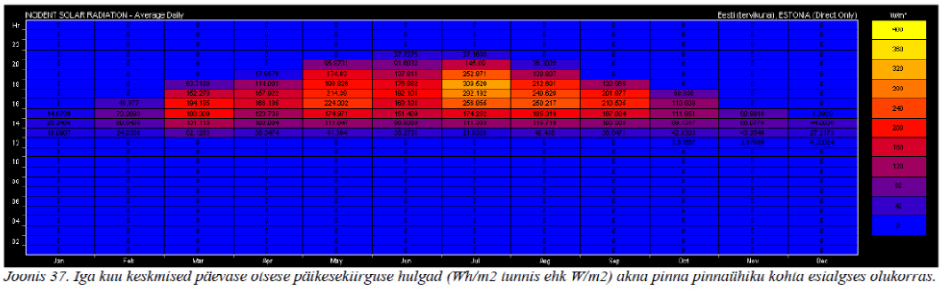
	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	263	263	0,0%	262	0,4%
veebruar	806	699	13,3%	591	26,7%
märts	1819	1243	31,7%	980	46,1%
aprill	1241	612	50,7%	377	69,6%
mai	1492	548	63,3%	105	93,0%
juuni	1171	200	82,9%	0	100,0%
juuli	1400	267	80,9%	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 pinnaühikule langev kiirgushulk (Wh/m2 päevas) ning päikesekaitselahenduste protsentuaalse mõju otsekiirguse vähenemisele.

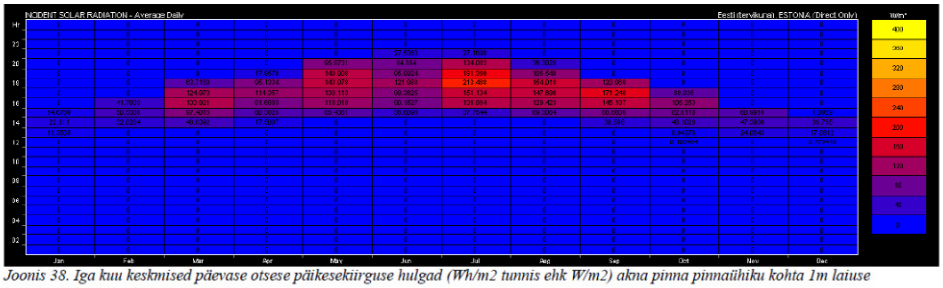


“Lõunapoolne” aken, 1,5m sirm ja mõjude koondgraafik

Aken 6.

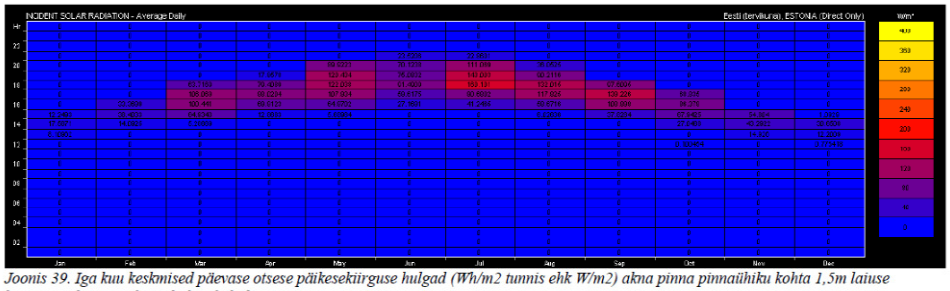


Joonis 37. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m2 tunnis ehk W/m2) akna pinna pinnaühiku kohta esialgses olukorras.



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.

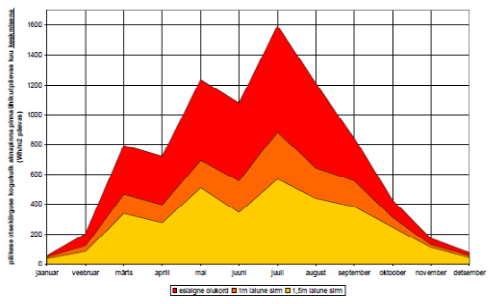
"Läänepoolne" aken, esialgne olukord vs 1,0m sirm



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

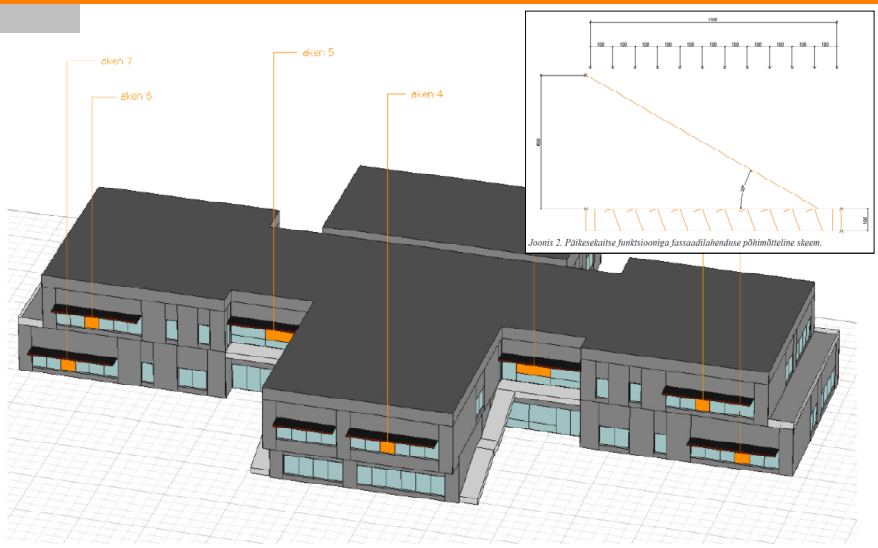
	esialgne olukord	1m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine	1,5m laiune sirm	otsekiirguse vähenemine
jaanuar	58	49	15,5%	38	34,5%
veebruar	205	124	39,5%	86	58,0%
märts	792	469	40,8%	340	57,1%
aprill	718	397	44,7%	278	61,3%
mai	1236	692	44,0%	511	58,7%
juuni	1079	556	48,5%	347	67,8%
juuli	1591	882	44,6%	569	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	41,0%

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



"Läänepoolne" aken, 1,5m sirm ja mõjude koondgraafik

Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



Joonis 2. Päikesekaitse funktsiooniga fassaadilahenduse põhimõtteline skeem.

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

Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt. Ainult “lõunafassaad”

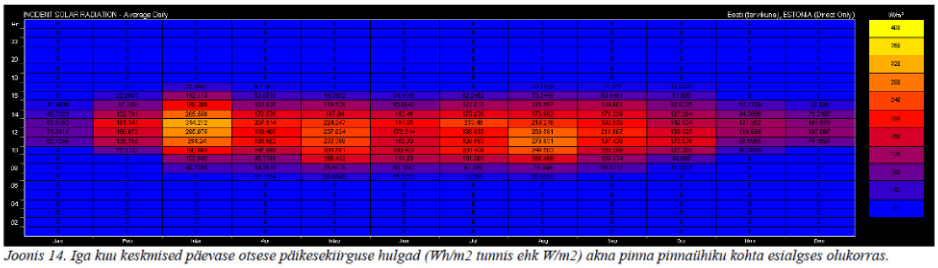
Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.



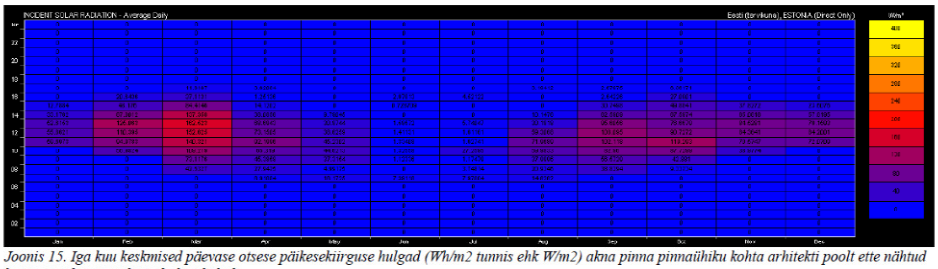
Joonis 3. Päikese otsekiirguse hulgad lõunafassaadi aknapindadel suvekuude (juuni - august) keskmisena ühe päeva jooksul (Wh/m2 päevas) esialgses olukorras (ülemine joonis) ning arhitekti poolt ette nähtud lahenduse korral (alumine joonis).

Eelneva põhjal lõpplahendus arhitektilt

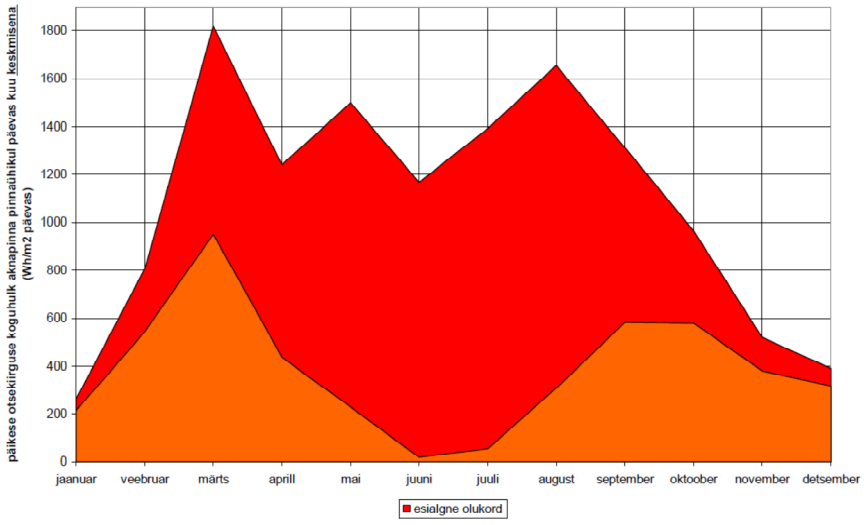
3.4. Detailse analüüsi tulemused (Aken 4).



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



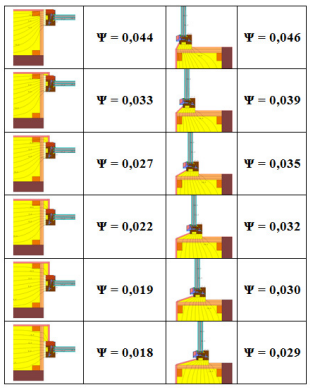
Joonis 15. Iga kuu keskmised päevase otsese päikesekiirguse hulgad (Wh/m2 tunnis ehk W/m2) akna pinna pinnaühiku kohta arhitekti poolt ette nähtud horisontaalse sirmi korral akna kohal.

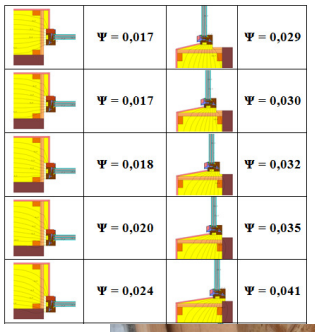


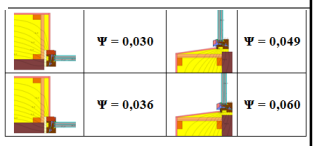
Joonis 16. Iga kuu keskmise päeva jooksul aknapinna pinnaühikule langev kiirgushulk (Wh/m2 päevas)

klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

3. Aknapaigalduse optimeerimine



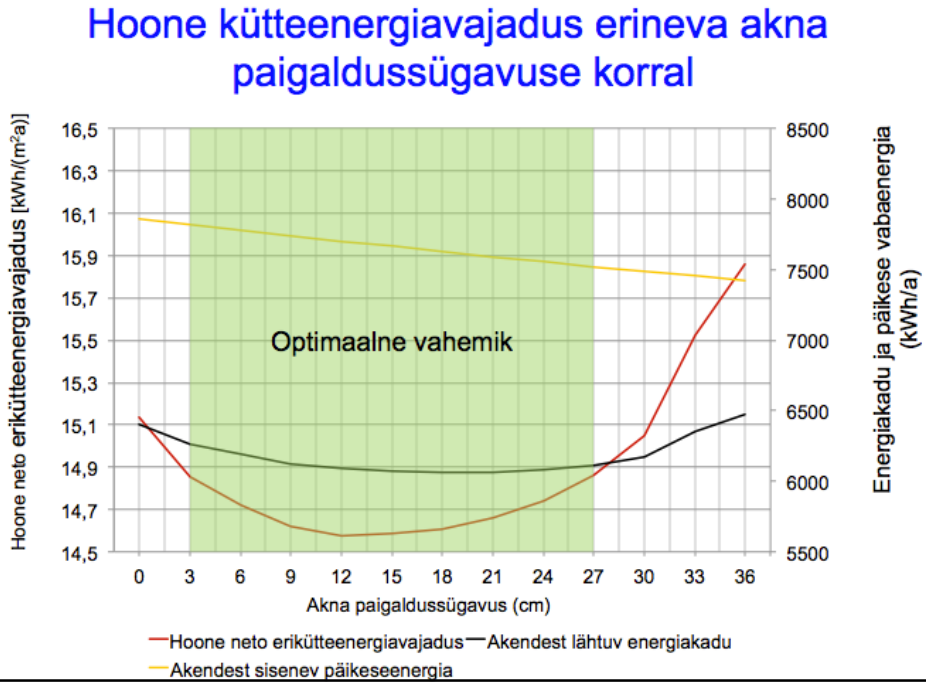




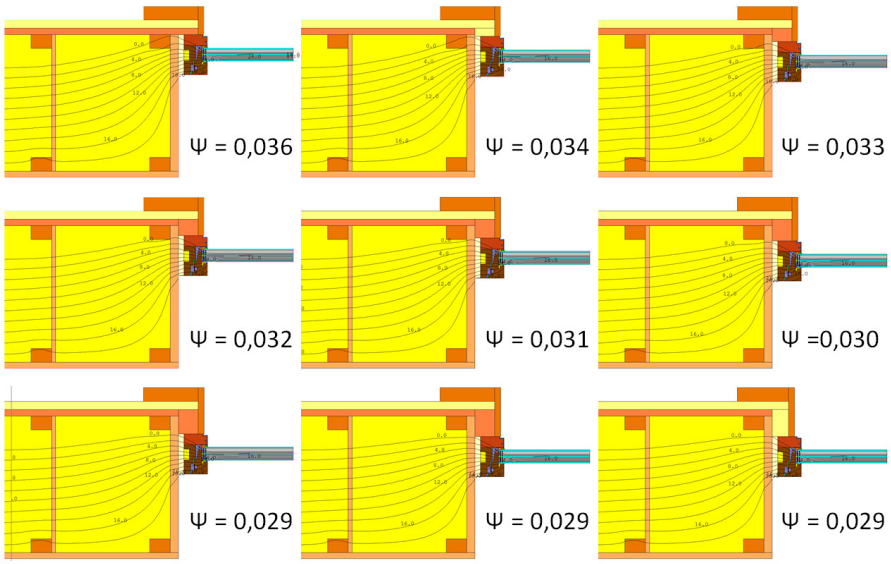




allik | Tartu Ülikool | EKVÜ seminar 04.10.2013 Tallinnas



Sobiva aknakinnituse leidmine



Avatäited - paigaldus, raam ja klaas - nende koosmõju energiatõhususe aspektist.

Sobiva aknakinnituse leidmine

