

TAL TECH

PAI GALDUSE MÕJU AVATÄIDETE SOOJUSKAOLE JA SELLE HINDAMINE

JAANUS HALLIK

Tallinna tehnikaülikool (Liginullenergiahoonete uurimisgrupp)

FASSAADIPÄEV seminar Tartus messil Ehitus ja Sisustus 2020



Economical. Efficient.
Wooden buildings.

TÄNASE TEEMA TAUST

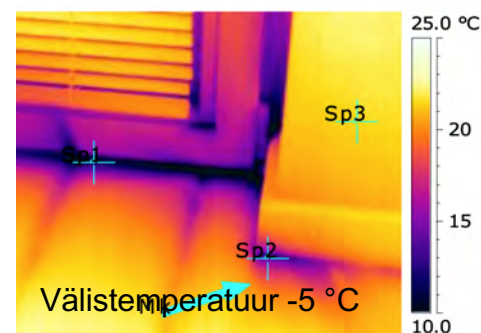
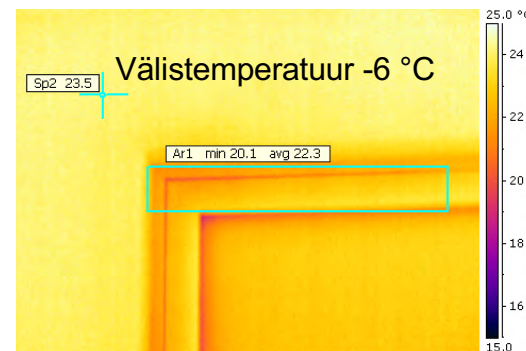
Hoone energiaarvutuste kontekstis räägime avatäidete puhul tavaliselt toote enda soojusläbivusest ning sellest tingitud soojuskaost. Üha enam võetakse lisaks arvesse ka ligikaudsele paigalduslahendusele vastava külmasilla joonsoojusläbivus.

Akna paigalduse tegelik mõju võib olla oluliselt suurem:

- Erinev paigalduslahendus sama projekti piires: alumine / külgmine / ülemine kinnitus, varieeruvad tooted;
- Kinnitite mõju (punktkülmasillad);
- Ebatihedast paigaldusest tingitud õhulekked;
- Paigaldusvigadest tingitud külmasillad.

**TAL
TECH**

Tava- ja IR-fotod:
Kristo Kalbe | Tallinna tehnikaülikool



AKNAGA SEOTUD SOOJUSKADU

Piirdetarindite soojuskaod

TAL TECH

- Piirdetarindite soojuskadu H , W/K
 - Soojusläbivuskaod läbi piirdetarindite;
 - Soojusläbivuskaod läbi tarindi liitekohtade ja läbiviikude;
 - Välispiirete ebatiheduste (infiltratsioonist) soojuskadu;

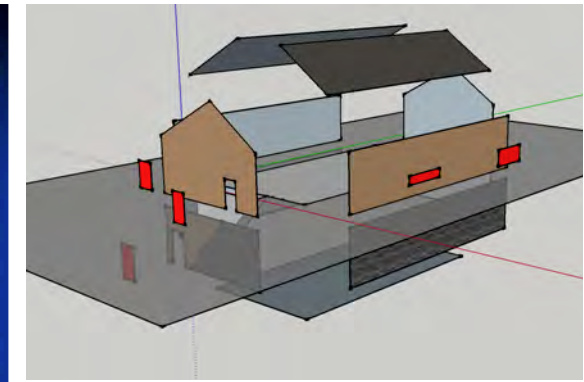
Piirdetarind	U_j W/(m ² ·K)	A_j m ²	$H_{\text{piirdetarind}}$ W/K	Joon- soojusläbivus	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	$H_{\text{joonsoojusläbivus}}$ W/K	Infiltratsioon	$H_{\text{infiltratsioon}}$
Välisseina välisruuk	0.12	85.1	10.2	Välisseina välisruuk	0.060	10.0	0.6	q_{50} m ³ /(h·m ²)	1.5

Päärde soojusläbivus Joon-külmasillad Punkt-külmasillad Õhulekked e. infiltratsioon

$$H = \sum U_j \cdot A_j + \sum \Psi_j \cdot l_j + \sum \chi_p \cdot n_p + \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_{inf}, W/K$$

$$\dot{V} = \frac{q_{50} \cdot A}{3600 \cdot x}, m^3/s$$

x: 1-korruselise hoone: 35,
 x: 2-k hoone: 24,
 x: 3-5k hoone: 20,
 x: >5k-hoone: 15

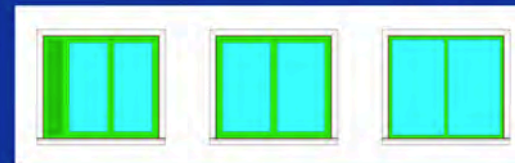


soojuskadu

TAL TECH

7 d tegurid on:

- hoone arhitektuur,
- piirdetarindite soojusläbivus ja õhulekked,
- **akende suurused, omadused,**
 - Klaasiosa: 55...85%
 - Aknaraami osa 15...45%



Akende osa selles:

- Akna soojusläbivus
- Kinnitusest tekkivad külmasillad
- Ebatihedast kinnitusest tingitud õhulekked (mõjutab ka eelmist)

AKNAGA SEOTUD SOOJUSKADU



Akende osa kogu hoone piirdetarindite soojuskadudes võib olla väga erinev.

Enamasti siiski ca 50% kogu piirdetarindite soojuskadudest. Seega on oluline teada, mis seda mõjutab!



AKNAGA SEOTUD SOOJUSKADU

Millest sõltub akna (toote) soojusläbivus ?

- Akna raami soojusläbivusest, U_r
- Akna pimepaneelide soojusläbivusest, U_p
- Akna klaasingu soojusläbivusest, U_k
- Klaasingu serva (vaheliistu) omadustest, Ψ_k
- Akna suurusest, kujust ja liigendatusest!
 - *osapindalad*
 - *klaasingu osakaal*
 - *klaasingu serva pikkus*
 - *prosspulkade pikkus*

$$U_a = \frac{U_k A_k + U_r A_r + U_p A_p + \Psi_k l_k}{A_k + A_r + A_p},$$



AKNAGA SEOTUD SOOJUSKADU

Eeltoodud parameetrite mõju suurus oleneb oluliselt akna või ukse suurusest ja liigendatusest.

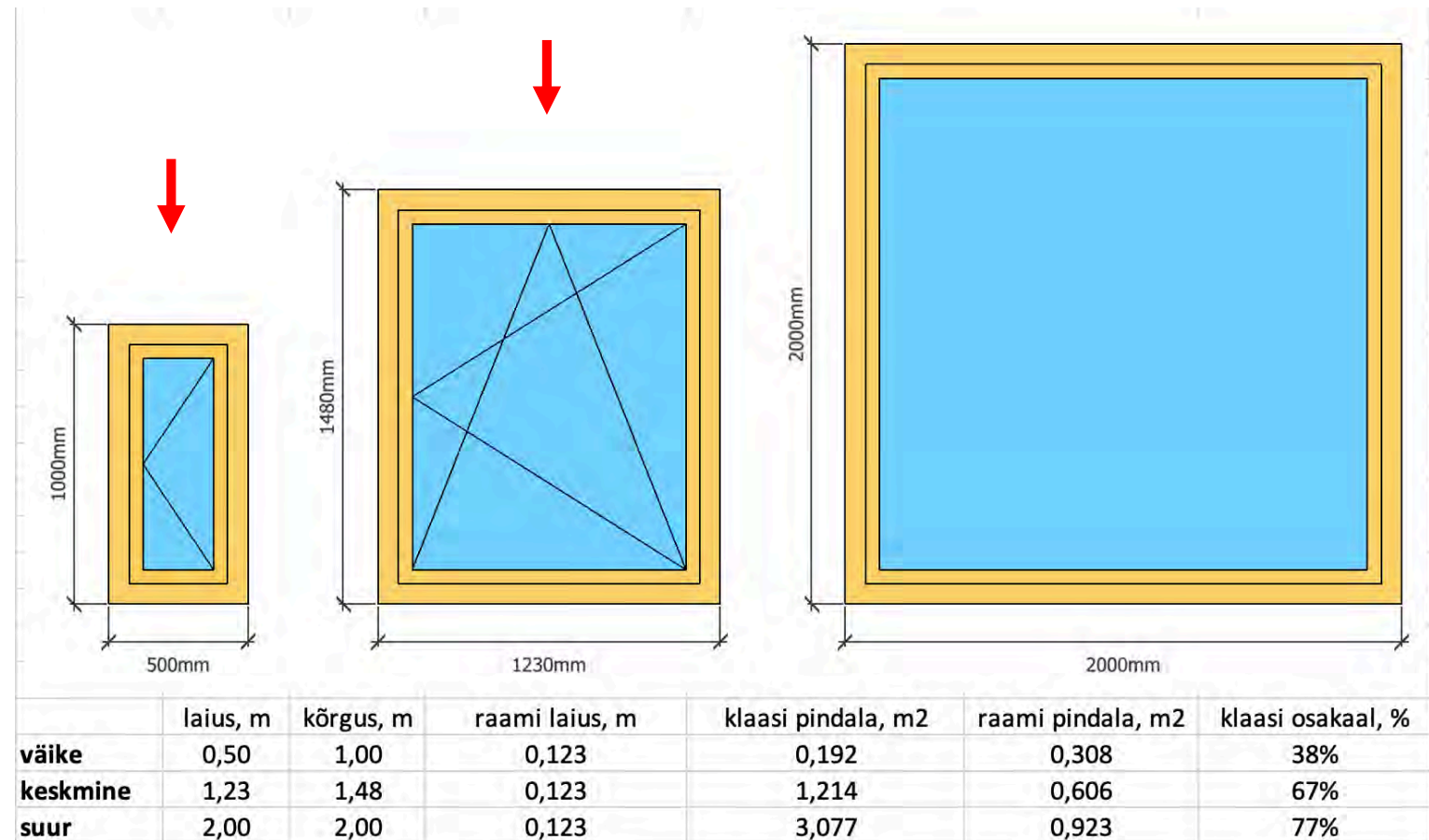
Vaatleme täna läbivalt kahe erineva suurusega head plastakent mõöduga

0,50m x 1,00m
1,23m x 1,48m

$U_r = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$U_k = 0,60 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

$\Psi_k = 0,04 \text{ W}/(\text{mK})$



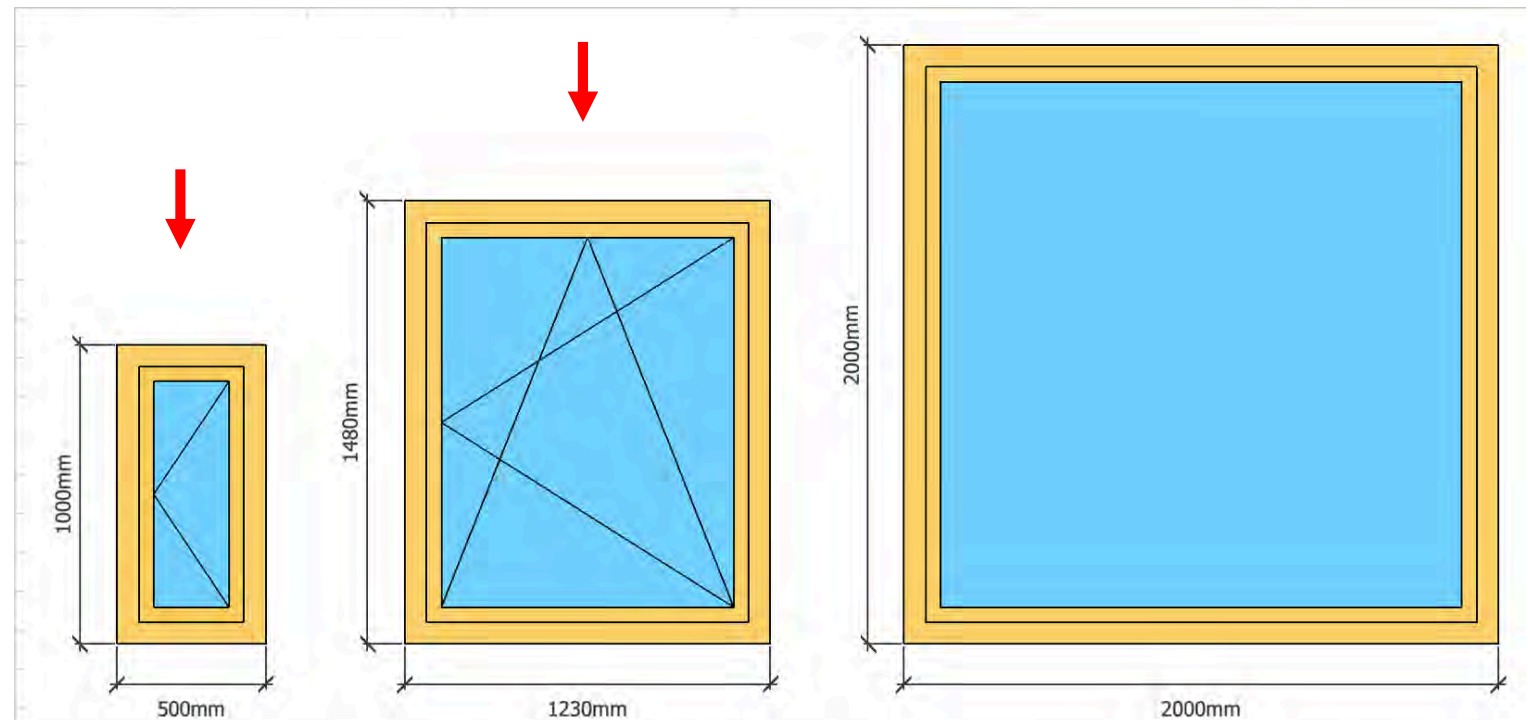
AKNAGA SEOTUD SOOJUSKADU

Eeltoodud parameetrite mõju suurus oleneb oluliselt akna või ukse suurusest ja liigendatusest.

Vaatleme täna läbivalt kahe erineva suurusega head plastakent mõöduga

0,50m x 1,00m
 $U_w = 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

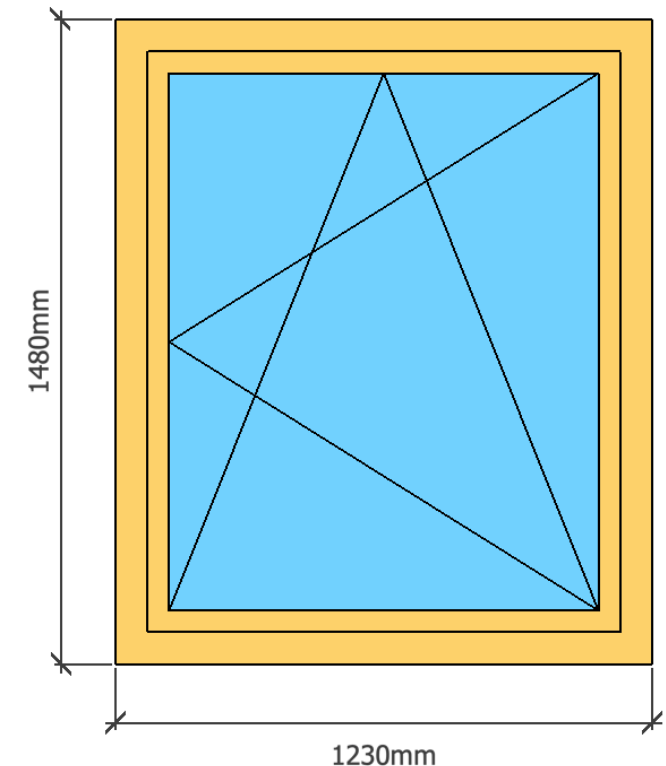
1,23m x 1,48m
 $U_w = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



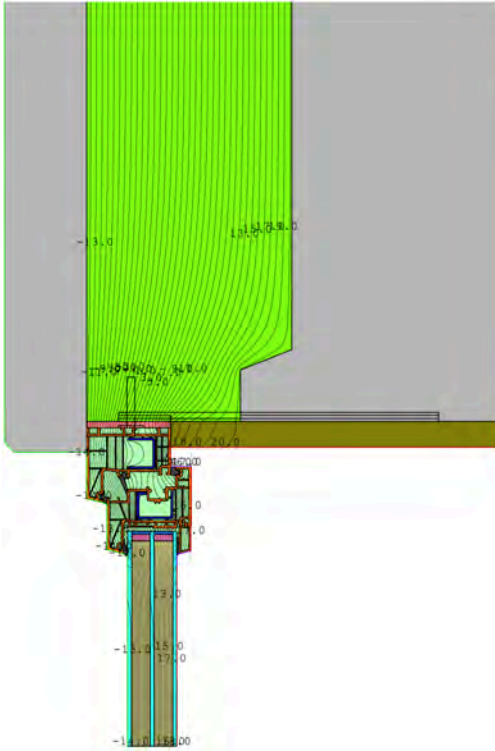
	laius, m	kõrgus, m	vaheliistu Ψ_k , W/(mK)	klaasingu U_k , W/(m ² K)	raami U_r , W/(m ² K)	akna U_a , W/(m ² K)
väike	0,50	1,00	0,040	0,600	0,980	1,00
keskmine	1,23	1,48	0,040	0,600	0,980	0,82
suur	2,00	2,00	0,040	0,600	0,980	0,76

AVATÄI TE SOOJUSLÄBIVUSE ARVUTAMINE. PEAMISED STANDARDID

- Soojuskadu läbi raamiosa
(EVS EN 10077-2, **aknaraami soojusläbivus U_r**)
- Soojuskadu läbi klaaspaketi nõ "keskosa"
(EVS EN 673, **klaaspaketi keskosa soojusläbivus U_k**)
- Soojuskadu läbi seinakinnitusele 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 osaliselt
soojuskadusid klaasingut läbiv päikesekiirgus ja selle
neeldumisel emiteeruv soojuskiirgus (EVS EN 410,
klaaspaketi päikesekaitsetegur SHGC ehk g-arv).



KUIDAS AKNA PAIGALDUS SELLE SOOJUSKADU MÕJUTAB



Lisaks akna kui toote soojusläbivusele kaasnevad soojuskaod ka akna kinnitamisviisist piirdetarindisse

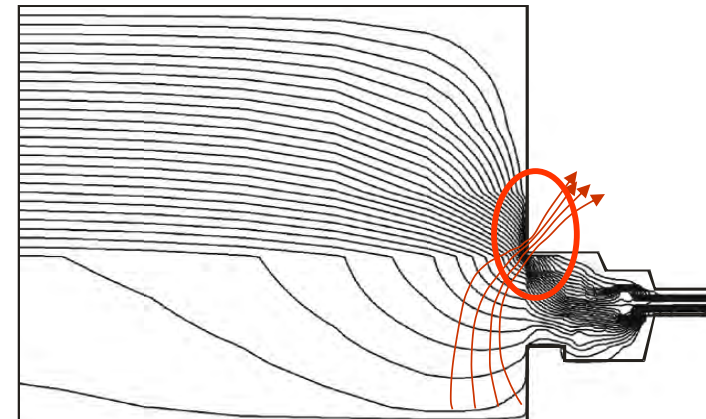
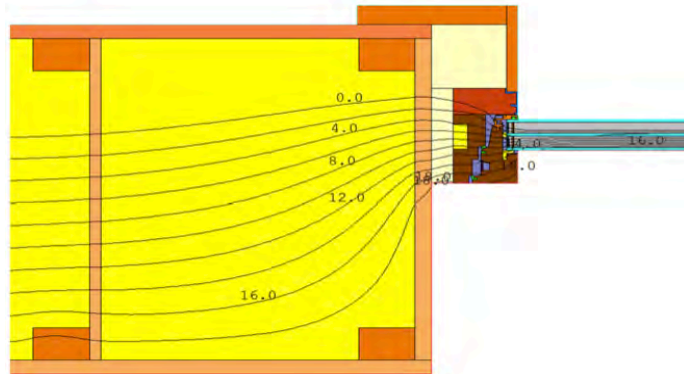
- Nt joonkülmasillad, mis on tingitud:
 - soojustuse õhenemisest või katkestamisest
 - sise- ja välispindade geomeetria muutumisest (so aknapaled)
 - Puidust paigaldusraamist, tugiprussist jne.
- Nt punktkülmasillad tingitud kinnitusvahenditest (kinnitusnurgikud, kronsteinid jne)
- Akna paigaldusel tihendamata jäänud pragudest ja läbiviikudest tingitud õhuleketest!

AKNALENGI SEINAKIINNITUSE JOONSOOJUSLÄBIVUS

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

Tüüpiliselt vahemikus:

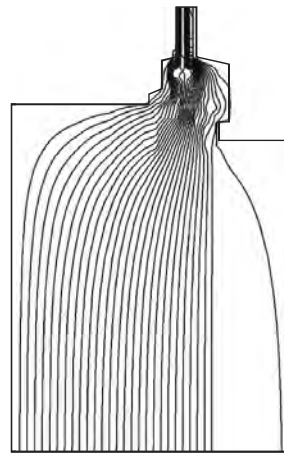
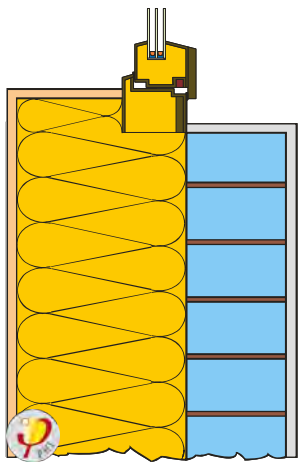
- $\psi = > 0,2 \text{ W/(mK)}$ – soojuslikult väga halb lahendus
- $\psi = < 0,02 \dots 0,04 \text{ W/(mK)}$ – soojuslikult hea tüüpalahendus
- $\psi = < 0 \text{ W/(mK)}$ – paks ülekate, soojuslikult üloptimeeritud lahendused



AKNALENGI SEINAKIINNITUSE JOONSOOJUSLÄBIVUS

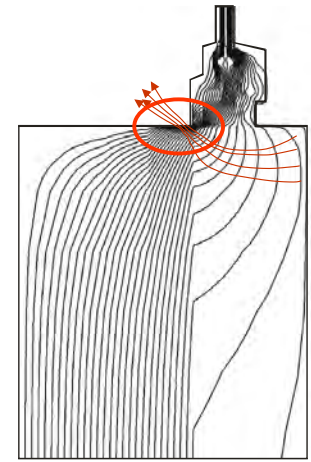
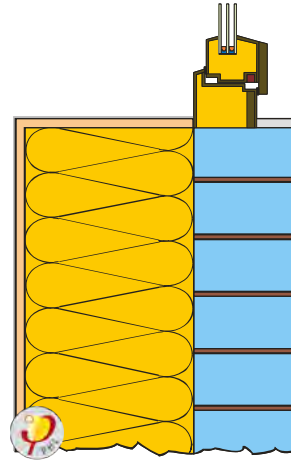
Näide heast paigaldusest

$$\Psi_{\text{paigaldus}} = 0.005 \text{ W/(mK)}$$
$$U_{\text{a,paigaldatud}} = 0.78 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$



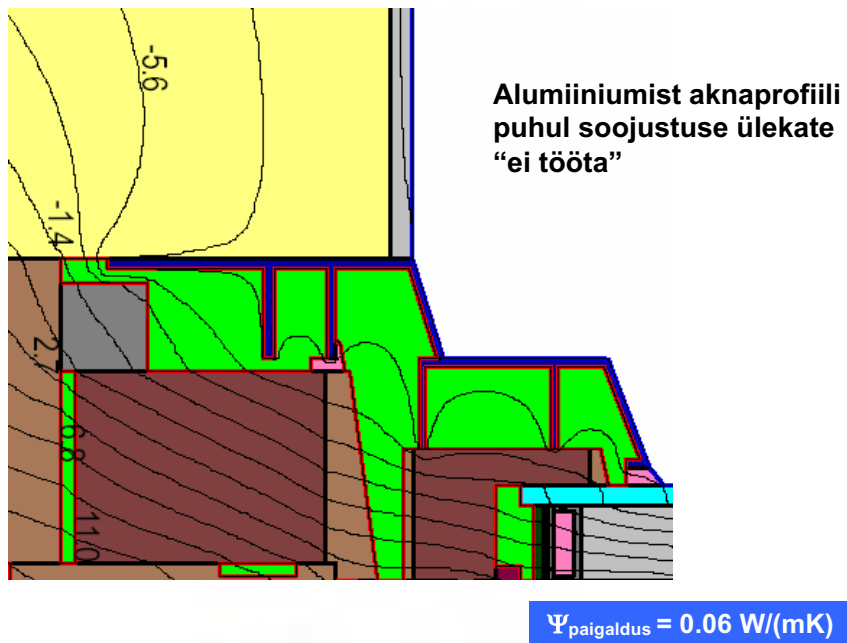
Näide halvast paigaldusest

$$\Psi_{\text{paigaldus}} = 0.15 \text{ W/(mK)}$$
$$U_{\text{a,paigaldatud}} = 1.19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

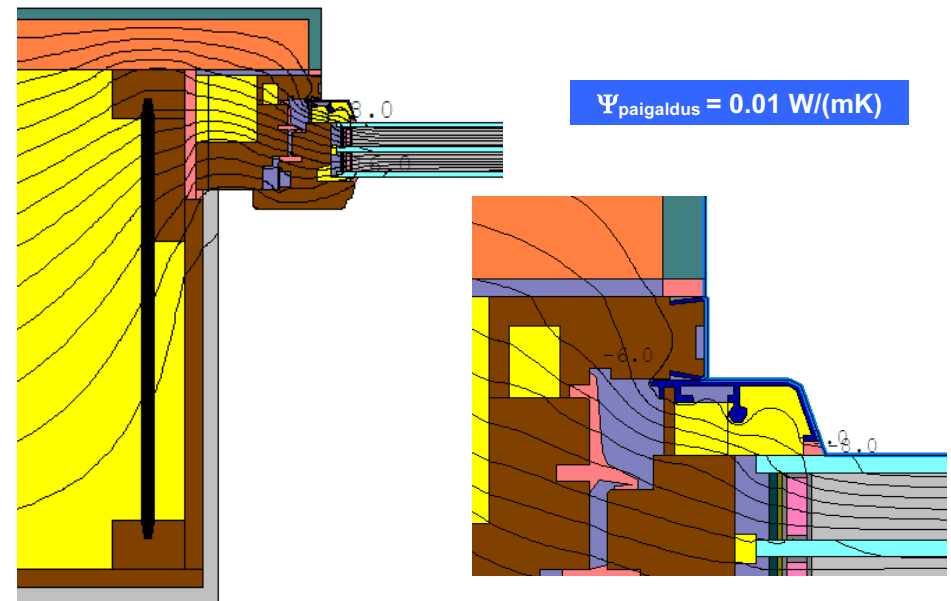


AKNALENGI SEINAKIINNITUSE JOONSOOJUSLÄBIVUS

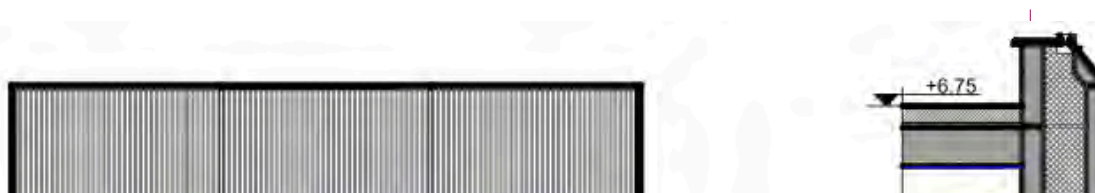
Erisus tavapärase puit-alumiiniumakende korral



Ülekatte jaoks optimeeritud puit-alumiiniumaknad

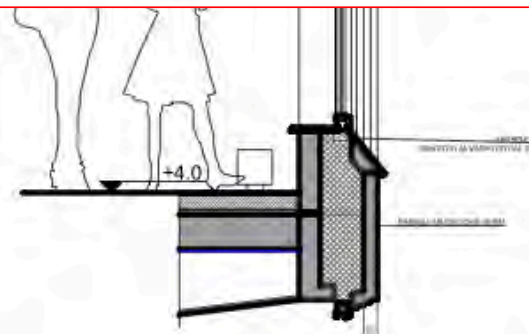
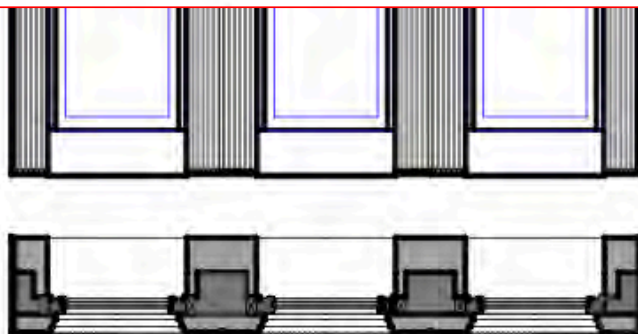


AKNALENGI SEINAKINNITUSE JOONSOOJUSLÄBIVUS

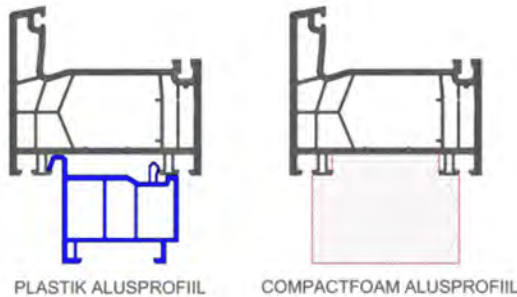


Liitekoht	Külmasilla joonsoojusjuhtivus Ψ_j
Ülalt, vt. Joonis 2	>0,09
Küljelt, vt. Joonis 3	>0,07
Alt, vt. Joonis 4	>0,17

$$U_{ew,red} = \frac{(U \cdot A + \Psi_j \cdot l_j)}{A} \quad W((m^2 \cdot K)) = \frac{(0,15 \cdot 6,95 + 0,09 \cdot 2,4 + 0,07 \cdot 16,7 + 0,17 \cdot 2,4)}{6,95} = 0,41 W((m^2 \cdot K))$$



LI SAKS PAI GALDUSDETAI LI DE JOON- JA PUNKTKÜLMASI LLAD



Võib olla sõltuvalt lahendusest olulise mõjuga. Suur potentsiaal optimeerimiseks.

Üldiselt:

- Akende alusprofiili (enamasti PVC) mõju on väga suur!
- Alumiiniumist kinnitusdetailide ja soojustust läbivate elementide punktsoojusläbivus on suur!
- Üksikute väikeste terasest kinnitusnurgikute soojusläbivus on madal, kuid kui neid on palju, siis see mõjutab paigalduse summaarselt lisanduvat soojuskadu.
- Liginullenergiahoonetes on oluline hulgaliselt esinevate külmasildade arvestamine piirdetarindite soojuskao arvutamisel (nt päikesekaitseelementide kinnitused, päikesepaneelide kinnitused jne).



AKNA PAIGALDUSDETAILED JON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja seina liitekohta soojuskaotuse ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.

2D ja 3D temperatuuriväljaarvutused paigaldusdetailide mõju hindamiseks ja võrdlemiseks.

- 2 seinatüüpi: krohvitud müüritis, RB suurpaneel
- 2 aknatüüpi: puitaken, hea soojapidavusega plastaken
- 2 ristlõiget: alumine ja külgmine (kohaldub ka ülemisele)
- 3 põhimõtteliselt erinevat kinnituslahendust + alusprofiili mõju

Paigaldus	1: SFS JB-D 200 alusprofiil pvc	2: Compacoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil pvc	3: Puitpruss 50x150 mm, alusprofiil pvc	4: Compacoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil Compacoam CF125, 35x52mm
Akna alune Leng/raam PVC 82mm				
Akna külg Leng/raam PVC 82mm				
Akna alune Leng/raam puit 88mm				
Akna külg Leng/raam puit 88mm				

Paigaldus	1: SFS JB-D 50, akna lengi sisemine külgmüüritisega tasa, alusprofiil pvc	2: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsentrisse 100 mm, alusprofiil pvc	3: Compacoam CF 125, 60x80 mm, akna lengi sisemine külgmüüritisega tasa, alusprofiil pvc	4: Puitpruss 50x150 mm, akna lengi sisemine külgmüüritisega tasa, alusprofiil pvc	5: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsentrisse 100 mm, alusprofiil Compacoam CF 125, 35x52mm
Akna alune Leng/raam PVC 82mm					
Akna külg Leng/raam PVC 82mm					

AKNA PAIGALDUSDETAILED JOON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja seina liitekohta soojuskaotuse ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.

3 põhimõtteliselt erinevat kinnitusolukorda

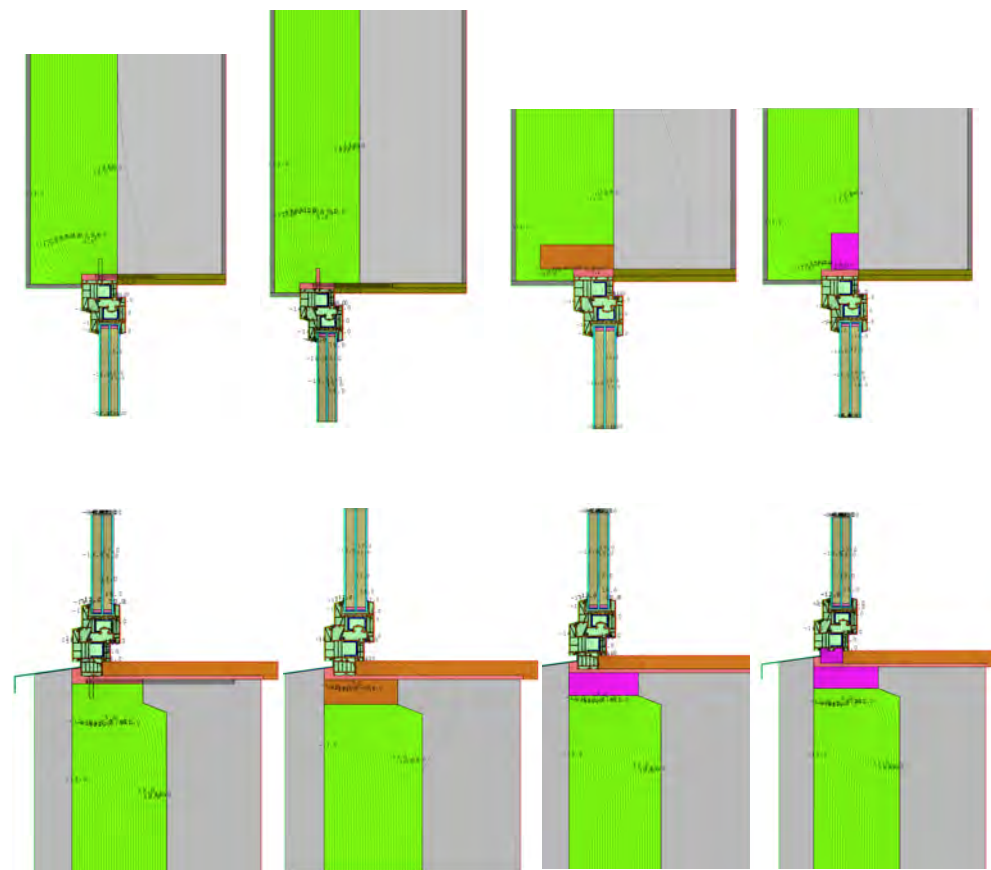
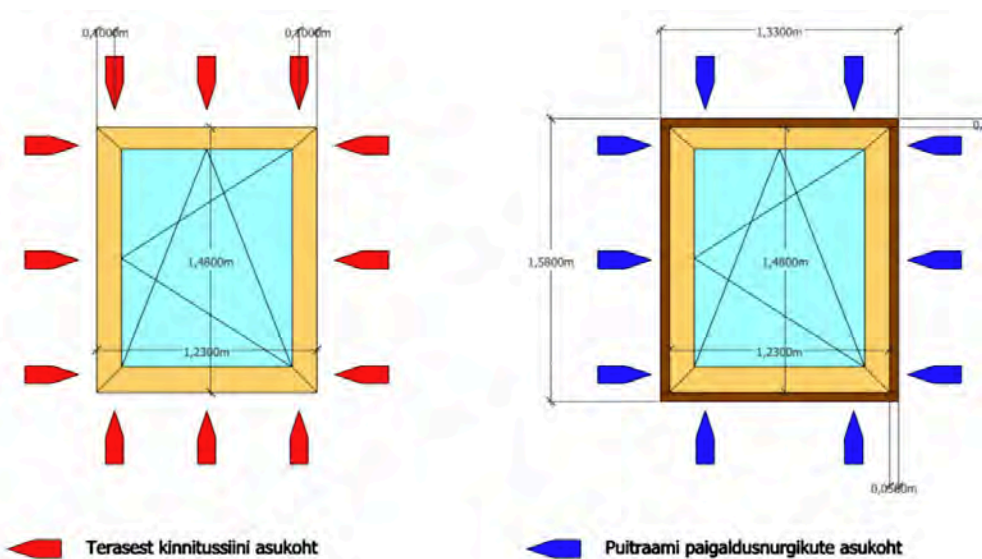
- terasest SFS JB-D 50/100/200 siinid
- puidust paigaldusraam akna perimeetris + terasnurgikud selle kinnitamiseks
- tugevast soojustusmaterjalist CompacFoam paigaldusraam akna perimeetris.

Lisaks uuriti alumise kinnituse puhul PVC ja CompacFoam alusprofiili mõju erinevust joonsoojusläbivusele.



AKNA PAIGALDUSDETAILED JOON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja seina liitekohta soojuskaotaja ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.



TAL
TECH

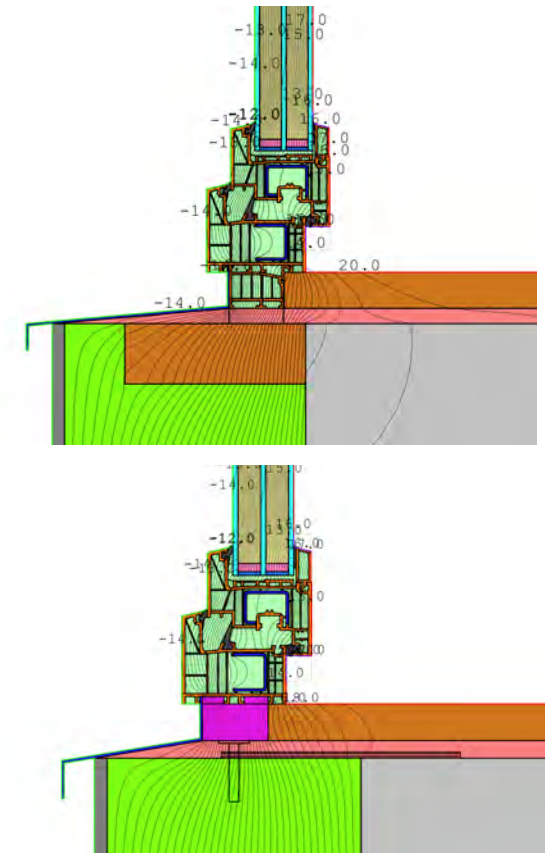
Tüüpsuurusega aken: 1,23m x 1,48m

AKNA PAIGALDUSDETAILEDI DE JON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja sein liitekohta soojuskaot ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.

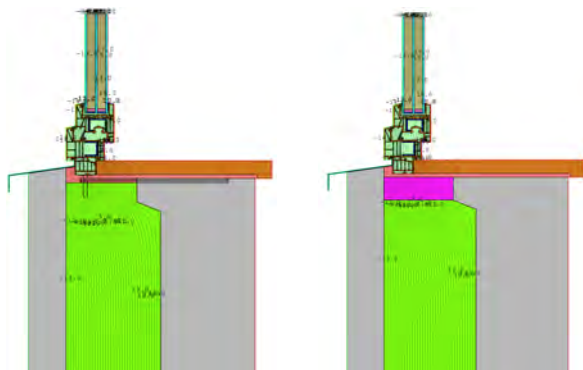
Kokkuvõte (1/2):

- Plastakna puhul on väga suur mõju PVC alusliistu asendamisel spetsiaalse soojustusmaterjalist alusliistuga.
- PVC alusliistu kasutamisel on hallituse ja kondensite tekke oht piirde sisepinnal või aknalaua all.
- Puidust paigaldusraami nurgikute mõju on samas suurusjärgus terasest aknapaigalduseks ette nähtud kinnititega (nt terasest SFS JB-D seeria)



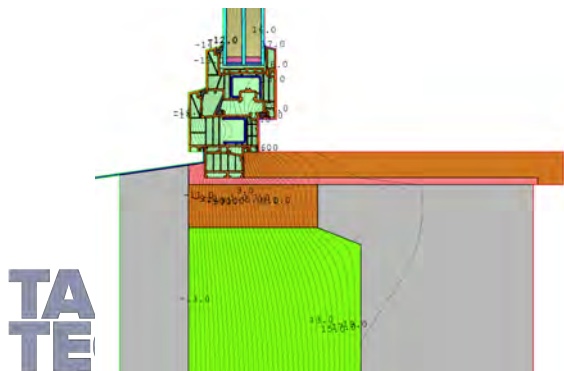
AKNA PAIGALDUSDETAILEDI JÕON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja seina liitekohta soojuskao ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.



Kokkuvõte (2/2):

- Tavapärase väljast soojustatud ja krohvitud müüritise puhul oli aknakinnitusest tingitud soojusläbivus kokku nii SFS teraskinnitite kui tugevast soojustusmaterjalist paigaldusraami puhul analoogne.
- Puidust paigaldusraami puhul oli lisanduv soojusläbivus enam kui 2 korda suurem!

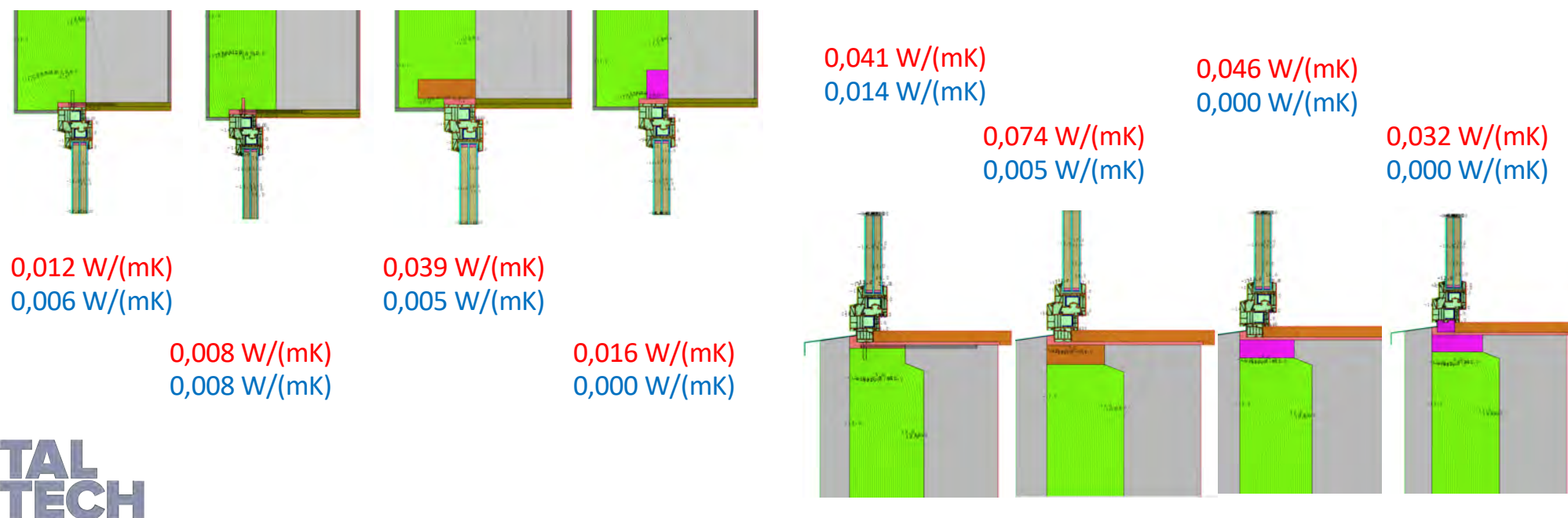


RB suurpaneeli puhul olid tulemused analoogsed – so selgelt kõige halvem oli puidust paigaldusraami kasutamine akna perimeetris ja kõige parem tugevast soojustusest paigaldusraami kasutamine (erinevus samuti enam kui 2 korda).

AKNA PAIGALDUSDETAILED JÕON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Näide VBH OÜ-ga koostöös just lõppenud Akna ja seina liitekohta soojuskaotuse ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuringust.

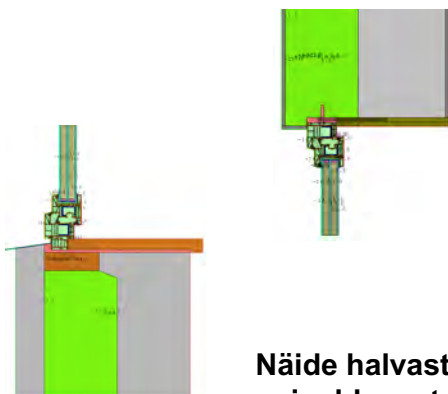
Joon- ja punktkülmasilade mõju (tüüpaknal)



AKNA PAIGALDUSDETAILED JON- JA PUNKTKÜLMASILLAD

Kui palju see akna soojuskadusid suurendab?

Vaatame uuesti ettekande alguses valitud kahe suurusega akent.

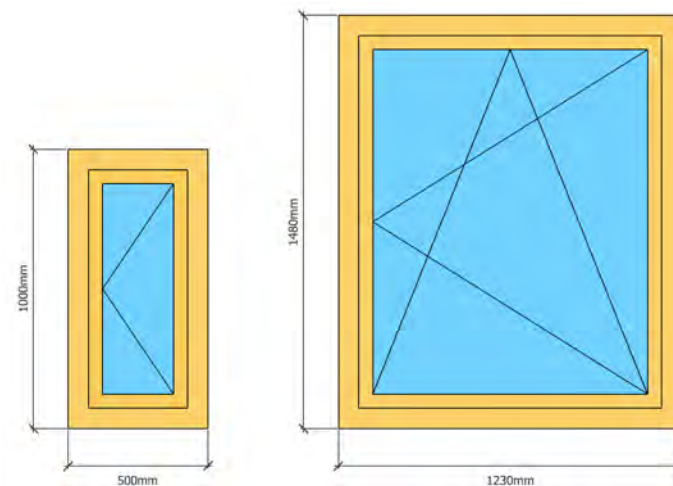


Näide halvast paigaldusest

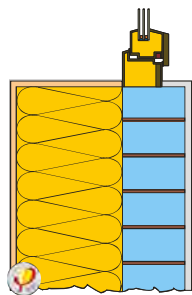
väike aken 1,00 -> 1,11 W/(m²K)
tüüpakken 0,82 -> 0,88 W/(m²K)
+7%...+11%

väike aken 1,00 -> 1,33 W/(m²K)
tüüpakken 0,82 -> 1,00 W/(m²K)
+22% ... +33%

väike aken 1,00 -> 1,90 W/(m²K)
tüüpakken 0,82 -> 1,27 W/(m²K)
+55%...+90%

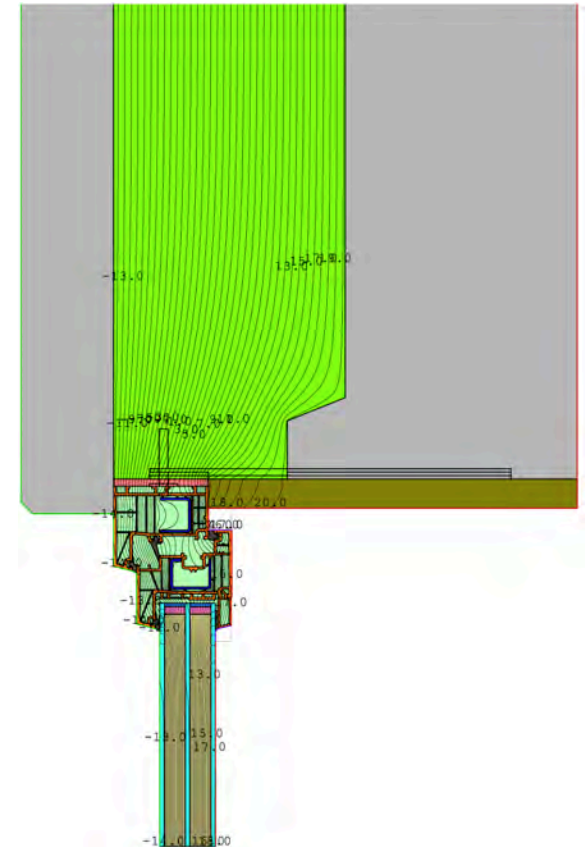


TAL
TECH



PAIGALDUSE MÕJU HINDAMINE. JOONKÜLMASILLAD

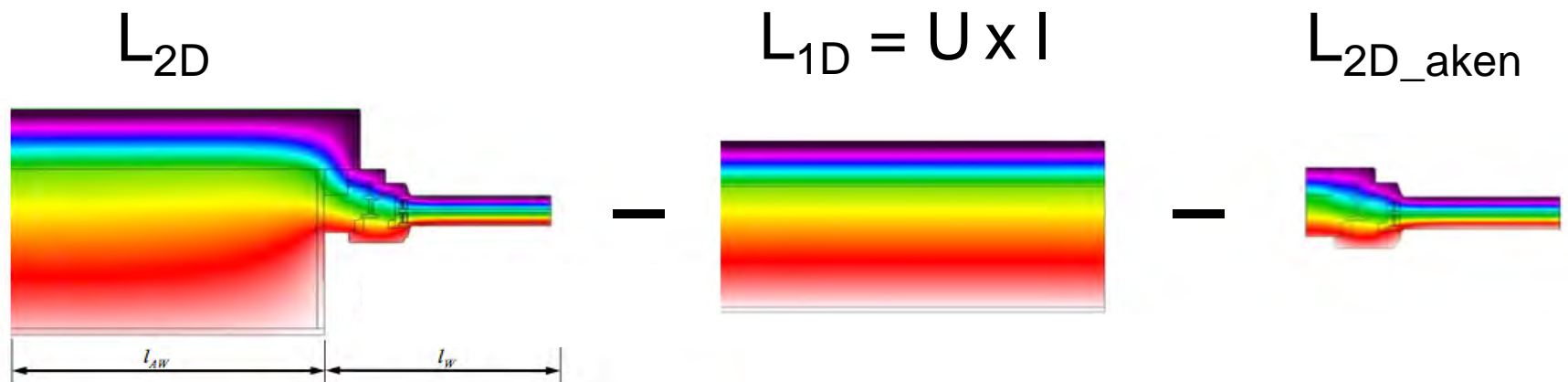
- Ligikaudne hinnang - joonsooju läbivuse kataloogid (kui projektis olev sõlm on lähedane kataloogis toodud ja läbi arvutatud sõlmahendusele). NB! Mõõtsüsteemi kontroll. Eestis kasutatakse ruumi sisemõõte VÕI hoone üldisi sisemõõte.
- Täpne hinnang - standardiseeritud temperatuuriväljaarvutus ("külmasillaarvutus") vastavalt projektis toodud ristlõikele lähtudes ISO 10211 ja ISO 10077-2 metoodikast.



PAIGALDUSE MÕJU HINDAMINE. JOONKÜLMASILLAD

- Standardiseeritud temperatuuriväljaarvutus ("külmasillaarvutus") vastavalt projektis toodud ristlõikele lähtudes ISO 10211 ja ISO 10077-2 metoodikast. Vaja on koostada 2 või 3 numbrilist mudelit iga sõlme kohta!
- Erinevad ristlõiked (alumine vs külgmine kinnitus) vajavad eraldi arvutus!

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



PAIGALDUSE MÕJU HINDAMINE. JOONKÜLMASILLAD

Avatäitega liitekoha joonsooju läbivuse mudeli koostamine on geomeetria tõttu töömahukam kui tavasõlmedel. Soovitus kasutada väikest valikut juba kord sisse joonistatud aknaprofiile (eraldi plast-, alumiinium- ja puitraamid + klaasfassaadi profiilid).

Juhendmaterjal ja arvutusi lihtsustav abitabel kättesaadav Kredexi veebilehel:

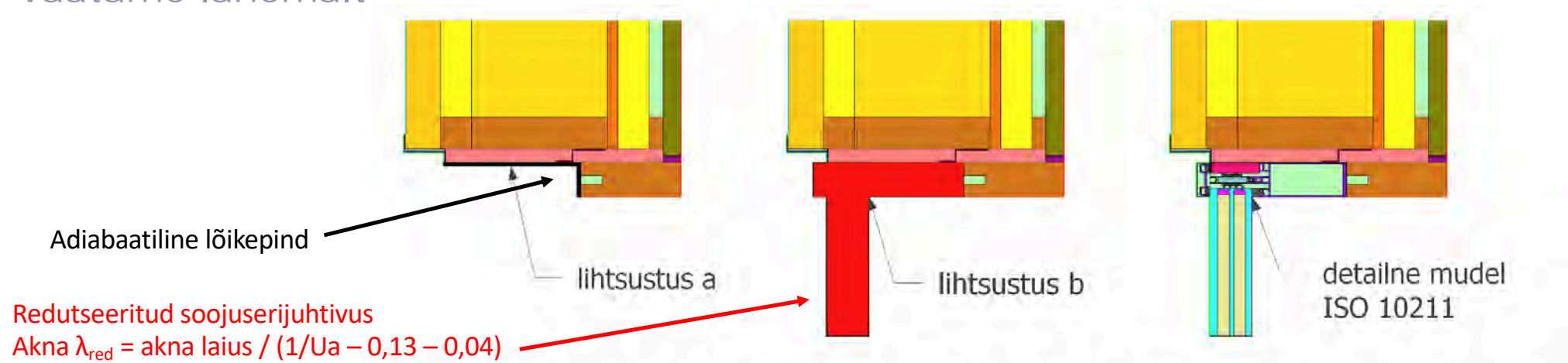
- https://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Piirdetarindite_liitekohtade_joonsooju_labivuse_arvutus.pdf
- http://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Joonsooju_labivuse_tulemuste_esitamise_vorm.xls

Lisaks vajalik temperatuuriväljaarvutuste tarkvara: nt LBNL Therm, Physibel Bisco, Blocon HEAT jne.

PAIGALDUSE MÕJU HINDAMINE. JOONKÜLMASILLAD

Avatäitega liitekohta joonsooju läbivuse mudeli koostamine on geomeetria tõttu tömahukam kui tavasõlmedel. Ajalooliselt on teistes riikides kasutatud arvutuste kiirendamiseks olulisi lihtsustusi, kuid need võivad plast- ja alumiiniumprofiilide puhul oluliselt alahinnata tegelikku soojuskadu.

Vaatame lähemalt



Joonis 1. Lihtsustatud käsitlused (a ja b) avatäite ja välisseina liitekohta külmasilla määramisel võrreldes standardkohase arvutusega. Adiabaatiline katkestustasapind tähistatud paksu musta joonega, taandatud soojuseriiktivusega lihtsustatud avatäide punase alana.

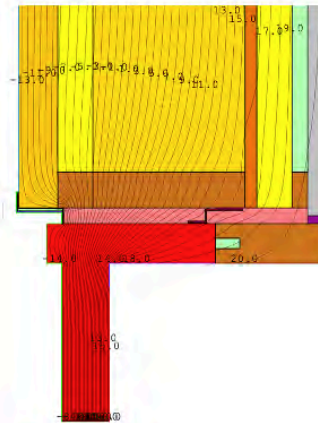
PAIGALDUSE MÕJU HINDAMINE. JOONKÜLMASILLAD

Avatäitega liitekoha joonsoojuśläbivuse mudeli koostamine on geomeetria tõttu töömahukam kui tavasõlmedel. Ajalooliselt on teistes riikides kasutatud arvutuste kiirendamiseks olulisi lihtsustusi, kuid need võivad plast- ja alumiiniumprofiilide puhul oluliselt alahinnata tegelikku soojustkadu.

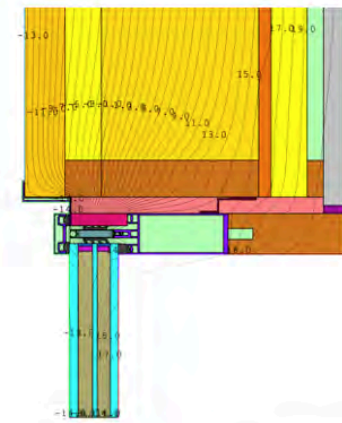
0,014 W/(mK)
alahindab ca 70%



0,008 W/(mK)
alahindab ca 83%



Tegelik joonsoojuśläbivus
0,047 W/(mK)



Joonis 2. Temperatuuride jaotumine ülejäänud konstruktsiooni ristlõikel nii kasutatud lihtsustuste (variandid a ja b) kui detailsel mudeli (variant c) puhul.

KOKKUVÕTE

Avatäidete osakaal kogu hoone soojuskadudes on suur. Avatäidete soojuskadusid on seetõttu energiatõhusate ja liginullenergiahoonete puhul vaja täpsemalt hinnata.

- Avatäidete paigaldusel tekkiva joonkülmasilla mõju on oluline ning võib olla heade lahenduste puhul väga väike ($0,01 \dots 0,04 \text{ W/mK}$), kuid halbade lahenduste puhul kordi suurem. Soojuskaotuse suurenemine 7% ... 90%.
- Spetsiaalsed akna kinnitusvahendid (terasest või plastist) on põhjustavad oluliselt väiksema külmasilla kui puidust paigaldusraam.
- Akna all kasutatav plastist paigaldusprofiil on tugev külmasild seda nii soojuskadude, aga eriti sisepinna kondentsi- ja hallitusriski tõttu.
- Punktkinnitite mõju akna paigaldusel on enamasti vähene, kuid suuremate metalldetailide puhul tuleb kindlasti täpsemalt arvutada!

KOKKUVÕTE

Avatäidete osakaal kogu hoone soojuskadudes on suur. Avatäidete soojuskadusid on seetõttu energiatõhusate ja liginullenergiahoonete puhul vaja täpsemalt hinnata.

- Avatäidete paigaldusel tekkivate õhulekete mõju võetakse energiamudelisis avatäidetest eraldi arvesse (so terve hoone kohta tervikuna). Sellegipoolest on hea teada, et õhutiheda või väga väikeste õhuleketega olukorras ei too paigaldus kaasa soojuskadude olulist suurenemist. Konkreetsete lekete puhul, aga võib akna soojuskadu suureneda 10% ja suurte lekete puhul kordi enam.
- Lisaks viivad õhulekked tarindi sisse niiskust, mis omakorda tekitab külmasildu ning võib puitkonstruktsioonide puhul kahjustada tarindi püsivust.

TAL TECH

TÄNAN KUULAMAST

JAANUS HALLIK | jaanus.hallik@taltech.ee

Tallinna tehnikaülikool (Liginullenergiahoonete uurimisgrupp)

FASSAADIPÄEV seminar Tartus messil Ehitus ja Sisustus 2020



Economical. Efficient.
Wooden buildings.