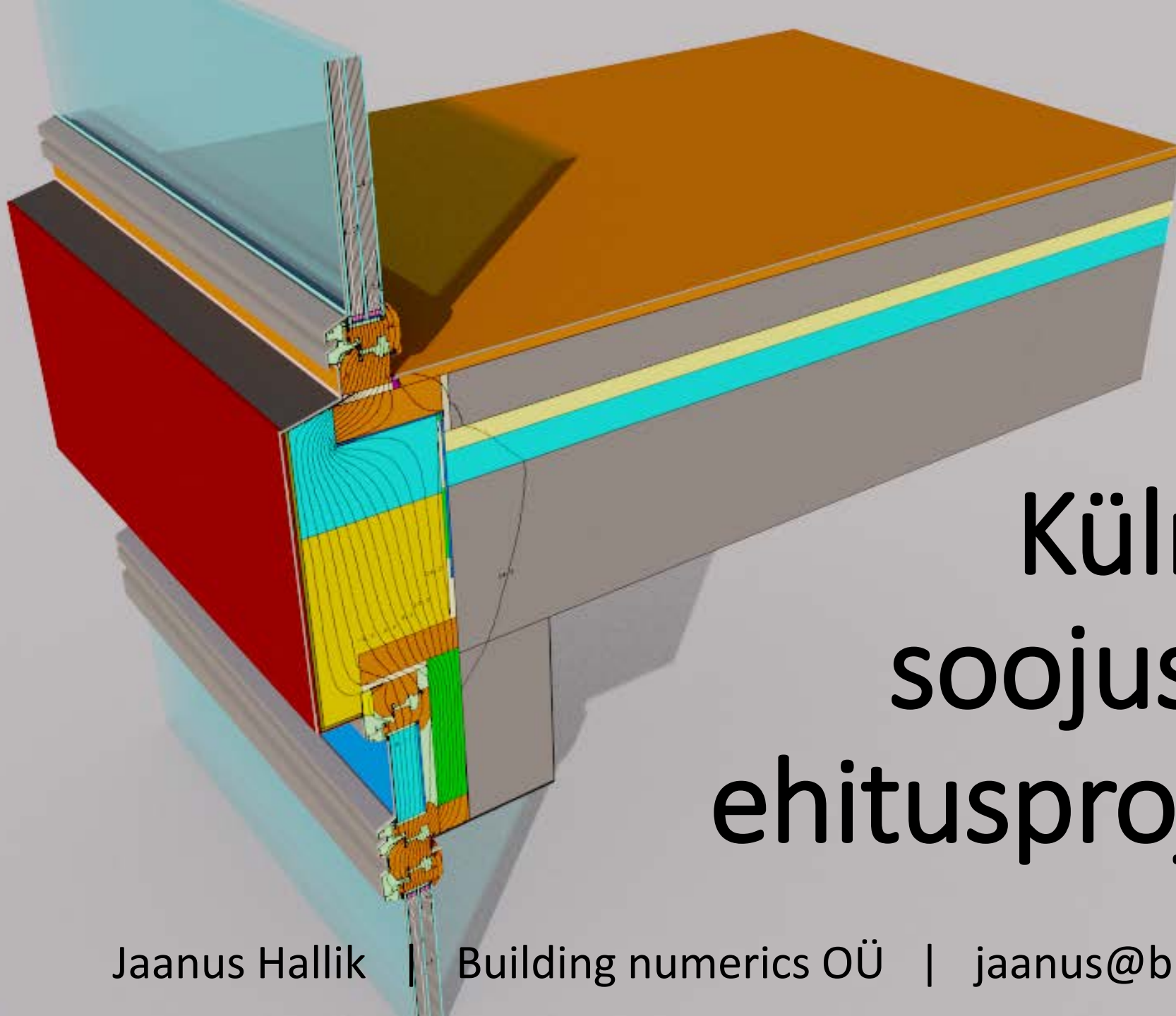
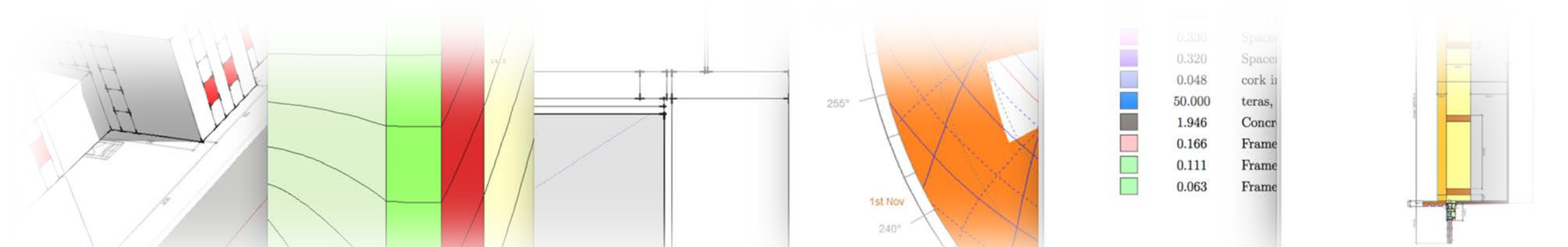




Külmasildade soojusläbivused ehitusprojektidesse

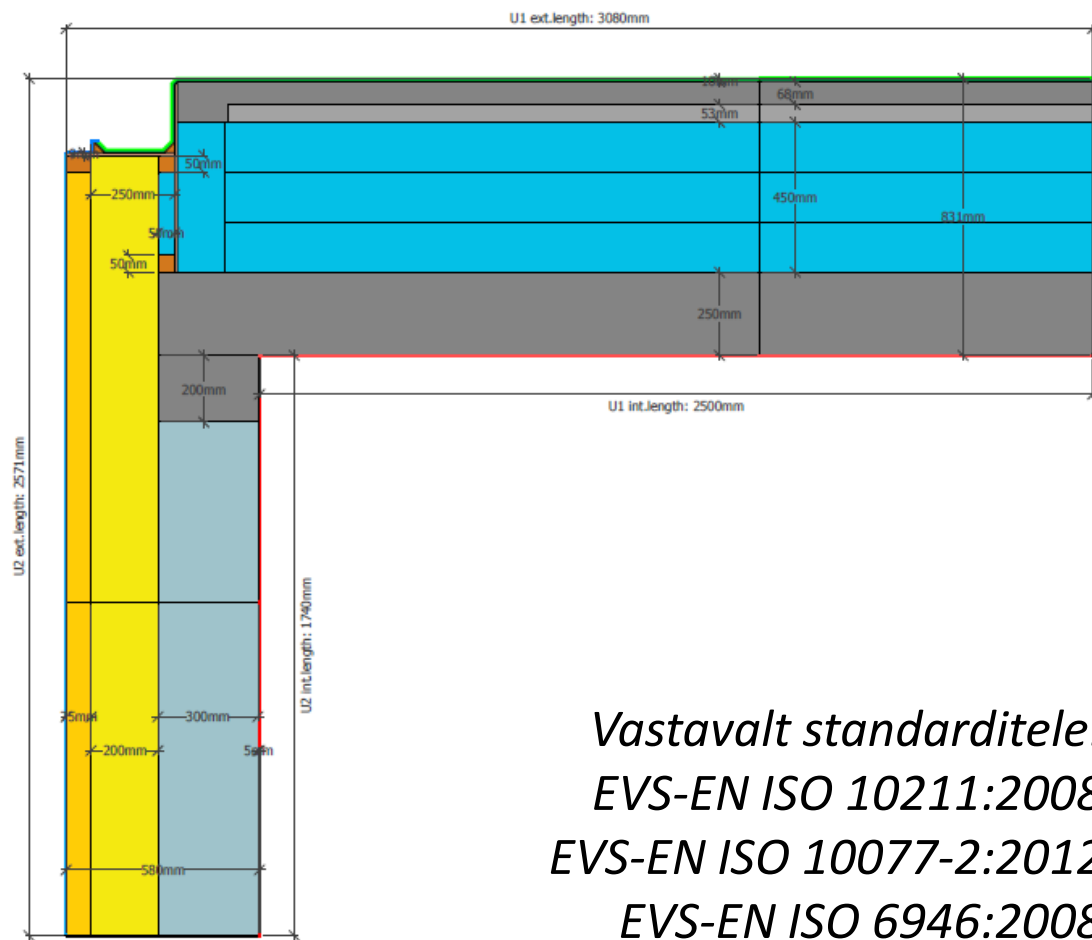


BUILDING NUMERICS

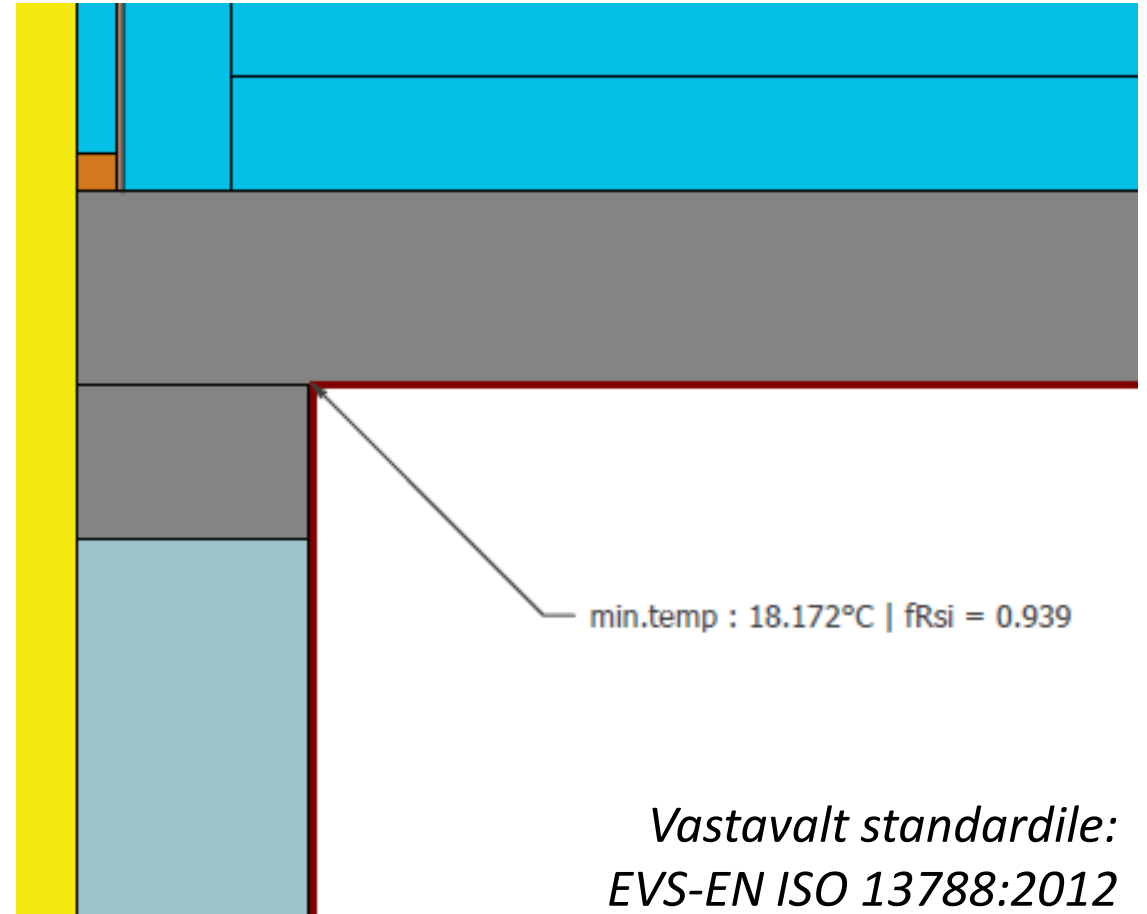
Tartu Ülikooli spin-off ettevõte

Hoonete energiatõhususe, ehitusfüüsika ja sisekliima valdkonnas:

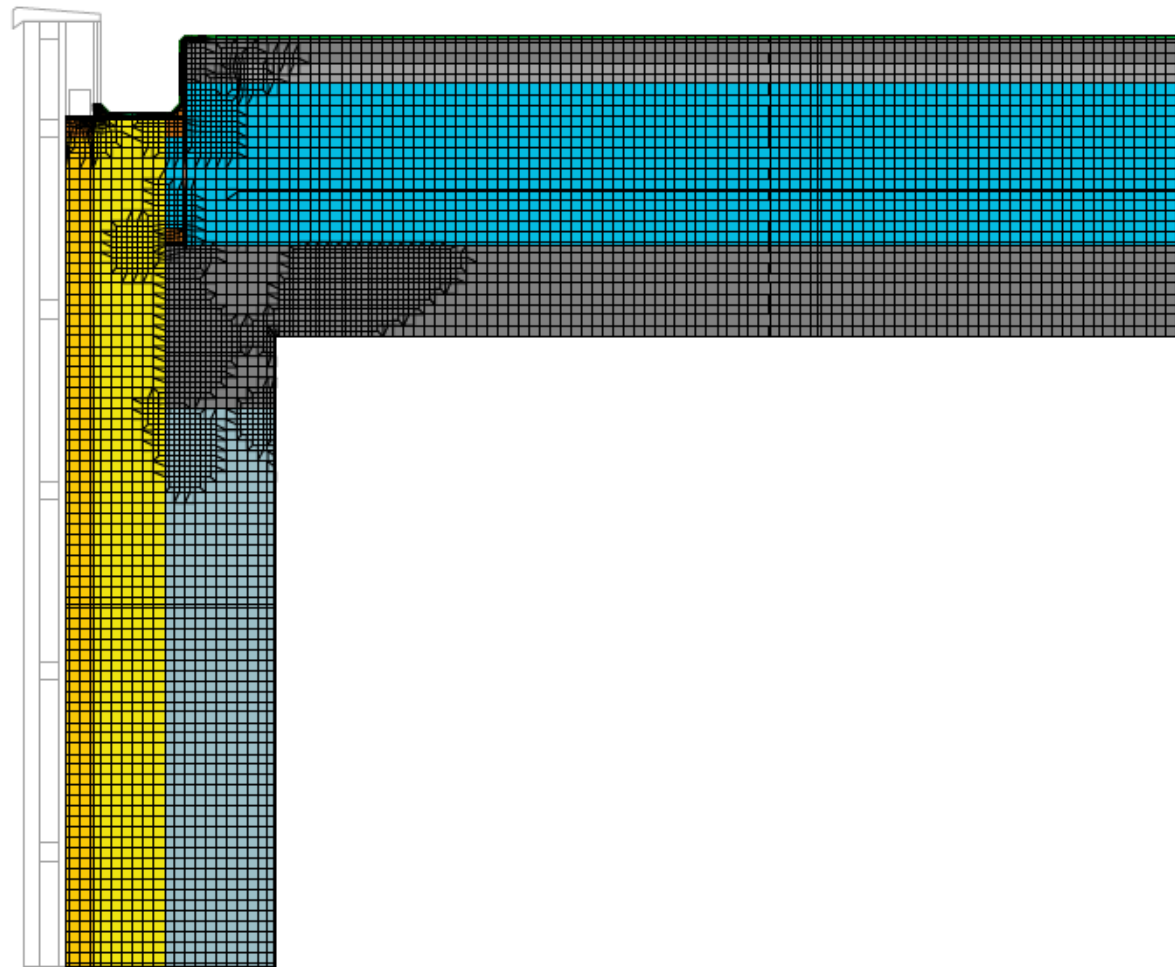
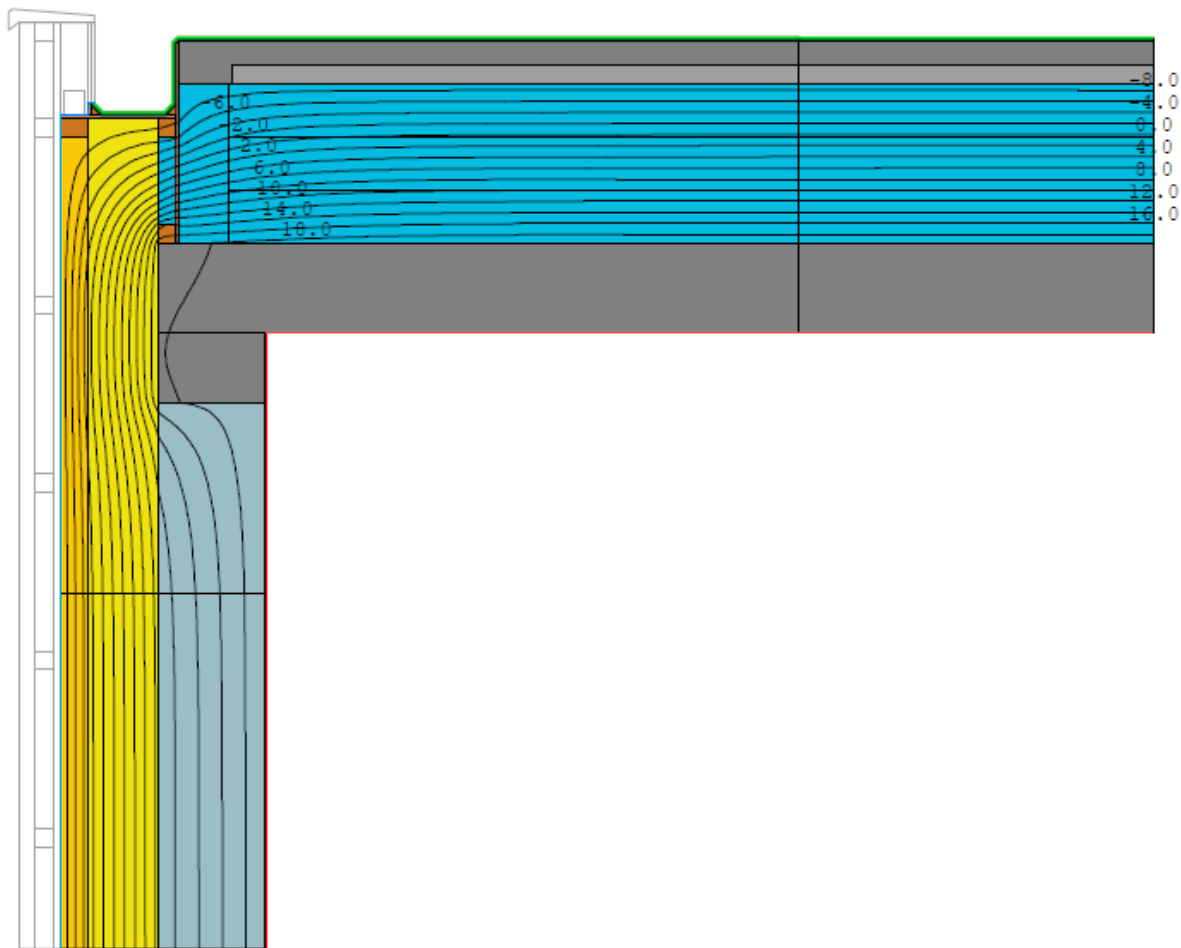
- Standardiseeritud arvutused ekspressteenuseks ja konsultatsioon
- Tarkvara ja eksperimentaalmeetodite arendus
- koolitused



*Vastavalt standarditele:
EVS-EN ISO 10211:2008
EVS-EN ISO 10077-2:2012
EVS-EN ISO 6946:2008*



*Vastavalt standardile:
EVS-EN ISO 13788:2012*



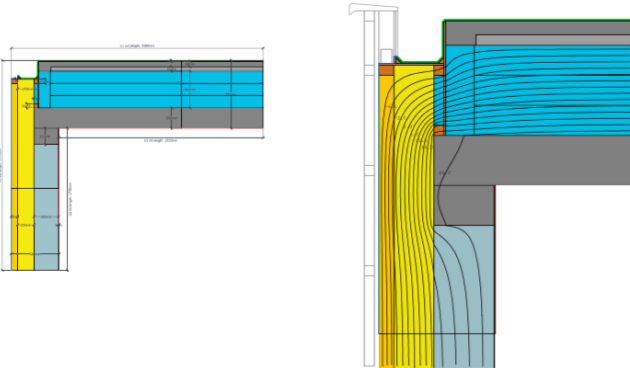
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Building numerics OÜ
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus@buildingnumerics.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	A-3.4 TÕÜPNE PARAPET (S-04).DWG
Arvutusmodeli nimi	KAUSS-A-3-4-TYYPNE-PARAPET-S04-27082015-01JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus ψ_{int} , sisemõõdudega	0.0907 (W/mK)
külmasilla joonsoojuslähivus ψ_{ext} , välimõõdudega	-0.0242 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeksi f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.939 (—)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	18.172 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	30.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	6567 (—)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000001 (—)

* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamide ja -lengide ning klaaspaketite puhul $f_{Rsi} > 0,7$ (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standardile).



Joonis 1: Arvutusmodel (vasakul), isothermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2008, EVS-EN ISO 10077-2:2012: EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2008 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääritingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.3.2 tarkvara).

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2012 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m2K)	t (°C)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	20.0	ISO interior (wall) +20 C, Rs = 0,13
—	10.00	20.0	ISO interior (ceiling) +20 C, Rs = 0,10
—	25.00	-10.0	ISO exterior (universal) -10, Rs=0,04
—	10.00	-10.0	ISO exterior (roof, ventilated) -10 C, Rs = 0,10
—	7.69	-10.0	ISO exterior (wall, ventilated) -10 C, Rs = 0,13
—	4.00	20.0	ISO interior (fRsi) +20, Rs = 0,25

MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

Arvutusmodelis kirjeldatud materjalid ning nende soojuseri juhtivus (vastavalt standartitele ISO EN 6946 ja ISO EN 10211) on esitatud alljärgnevalt:

Värv	λ (W/mK)	Materjali nimetus
—	0.033	EPS 60 Silver
—	0.150	Vineer
—	0.240	Fibo 5
—	0.130	Puit
—	0.170	PVC / Vinyl - Rigid
—	2.100	Raudbetoon
—	0.039	ISOVER KL33 (KAUSS-VS 50/600 karkassiga)
—	1.000	krohv
—	0.031	Isover RKL-31 FACADE
—	0.088	Aeroc Ecoterm 300

Külmasilla joonsoojuslähivus (ψ_{int} või ψ_{ext}) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2008:

$$\psi = L_2 D - U_1 * l_1 - U_2 * l_2$$

kus:

$L_2 D$ külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

U_1, U_2 külmasillaga külgnevate elementide (välissein, katuslagi vms) soojuslähivused

l_1, l_2 külmasillaga külgnevate elementide (välissein, katuslagi vms) arvutusulatused (akna puhul mõõdetuna aknalengi külgtasapinnast)

Mitte-geomeetriliste külmasildade puhul (nt välisseina ja sisesena liitumisel või välisseina ja vahelae liitumisel), kus mõlemad külmasillaga külgnevad elemendid on identsed, kirjeldatakse kogu ristlõike arvutusulatus ja külgelementide soojuslähivus enamasti U_1 ja l_1 raames ning U_2 ja l_2 mudelis eraldi ei kirjeldata.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbib soojusvool ja külmasilla arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal (kõigi soojuslike ääritingimuste kohta lõikes):

Ääritingimuse tähis	arvutusulatus (m)	soojusvool, Phi (W)	L2D (W/mK)
exterior-BC	5.663	12.651	0.422
interior-BC	4.240	12.651	0.422

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojuslähivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põrand arvutusulatuse soojuserikadu vastavalt standardis ISO EN 10211 kirjeldatud meetodile B:

	U (W/m2K)	l (m)		U x l (W/mK)		L2D (W/mK)	
		int	ext	int	ext	int	ext
külgnev element 1	0.070	2.500	3.080	0.176	0.217	-	-
külgnev element 2	0.089	1.740	2.571	0.155	0.229	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.000	0.000
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmodelitest (Therm arvutusmodelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

Külmasildade arvutamise ja nendega arvestamise olulisus

OLULISEMAD ASPEKTID:

- projektspetsiifiliste väärtusteta on oht **üle-** või **alahinnata** külmasildade mõju
- projektspetsiifiliste väärtusteta on oht pinnakondentsi ja hallituse tekkeks piirete sisepinnal!
- **projektspetsiifiliste väärtuste arvutamine võimaldab oluliselt optimeerida välispiirde soojusläbivust (akna ja ukse kinnitused, sokkel jt põrandaga seotud külmasillad)**
- projektspetsiifiliste väärtusteta on osade komposiitpiirete korral võimatu piirde kogusoojusläbivust õigesti hinnata!

Külmasildade ülehindamine

Külmasillad – tabeliväärtuste mõju

Tabel 7. Tarindi liitekohta ja soojuskatkestuse soojusläbivus

	Tarindi liitekohta joonsoojusläbivus Ψ , W/(m·K)			
	Uus hoone	Oluliselt rekonstrueeritud hoone	Rekonstrueeritav hoone	Olemasolev hoone
Välisseina välisnurk	0,2	0,3	0,5	1,0
Välisseina sisenurk	−0,1	−0,2	−0,2	0,3
Välisseina ja siseseina liitekoht	0,1	0,1	0,2	0,9
Välisseina ja vahelae liitekoht	0,1	0,2	0,3	0,8
Katuse ja välisseina liitekoht	0,2	0,2	0,4	0,4
Põrand-pinnasel ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Alt tuulutatud põranda ja välisseina liitekoht	0,3	0,3	0,4	0,4
Akna liitumine välisseinaga (aken soojustuse kihis, raam kaetud soojustusega min 40% soojustuse paksusest)	0,1	0,1	0,2	0,2
Akna liitumine välisseinaga (aken kandekonstruktsiooni kihis)	0,2	0,3	0,4	0,5
Rõdu liitumine välisseinaga	0,3	0,5	0,6	0,8

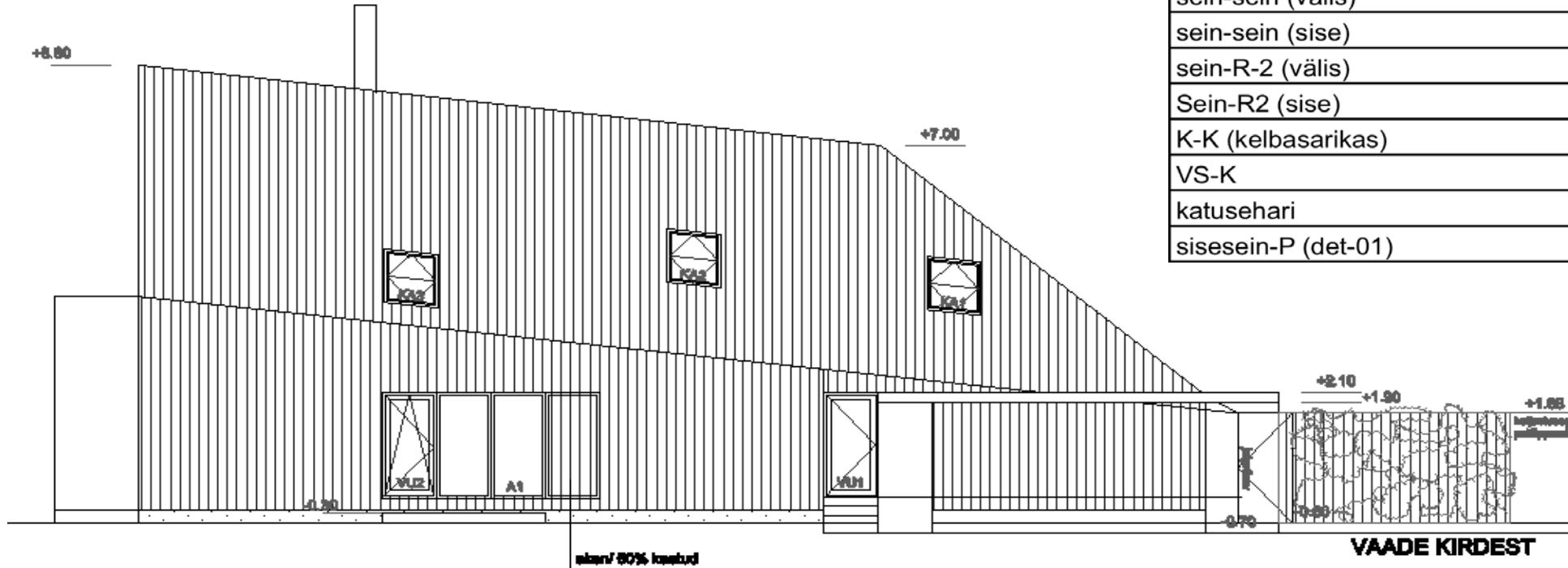
Allikas: Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika¹

Külmasillad – tabeliväärtuste mõju “heade” sõlmede korral



	ET-arv (koos päikeseküttesüsteemiga)	ET-arv (ilma päikeseküttesüsteemita)
Detailselt arvutatud “reaalsed” külmasillaväärtused	100,0 kWh/(m2a)	114,1 kWh/(m2a)
Joonkülmasildade vaikeväärtused	116,6 kWh/(m2a)	130,5 kWh/(m2a)

Külmasillad – tabeliväärtuste mõju



sokliring	0,300	0,419
sein-sein (välis)	0,200	0,068
sein-sein (sise)	-0,100	0,000
sein-R-2 (välis)	0,200	0,044
Sein-R2 (sise)	-0,100	0,000
K-K (kelbasarikas)	0,200	0,043
VS-K	0,200	0,067
katusehari	0,200	0,031
sisesein-P (det-01)	0,100	0,547

ET-arv

Detailselt arvutatud “reaalsed” külmasillaväärtused

165,5 kWh/(m²a)

Joonkülmasildade vaikeväärtused

169,4 kWh/(m²a)

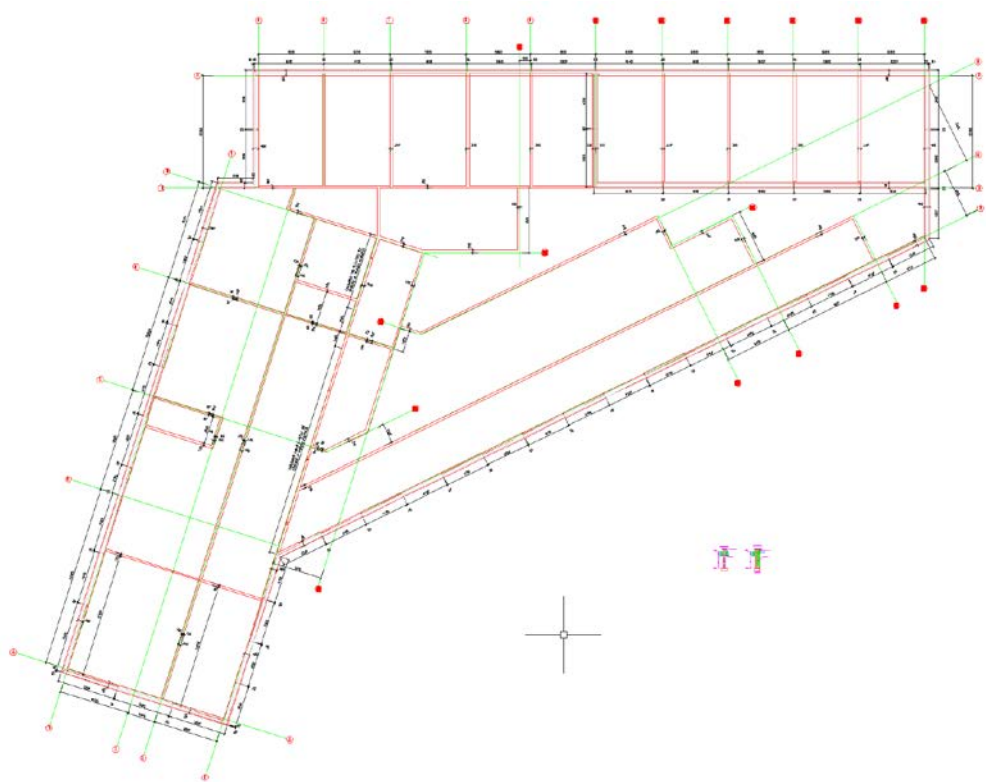
Keskmisest paremate sõlmede tüüpilised väärtused

- Oluliselt paremad tabeliväärtustest – selle projekti puhul vahemikus **0,018 ... 0,051 W/mK**

arvutusfaili ja detailse raporti nimi	joonsoojusläbivus, W/(mK)		sisepinna temperatuuri-indeks fRsi, -
	üldised sisemöödud	välis- möödud	
KodumajaTPS-EW-Wintop-v1-11042016-01JH	0,036	0,036	0,694
KodumajaTPS-EW170+30mm-Winside-v1-12042016-01JH	0,030	0,030	0,724
KodumajaTPS-EW170+30mm-Winsill-v1-12042016-02JH	0,033	0,033	0,690
KodumajaTPS-EW170+30mm-KL-13042016-01JH	0,051	-0,056	0,867
KodumajaTPS-EW170+30mm-nurk-13042016-02JH	0,050	-0,036	0,833
KodumajaTPS-EW170+30mm-VL-13042016-03JH	0,026	0,026	0,863
KodumajaTPS-EW170+30mm-IW-13042016-04JH	0,021	0,021	0,896
KodumajaTPS-EW215+30mm-KL-13042016-05JH	0,043	-0,063	0,883
KodumajaTPS-EW215+30mm-nurk-13042016-06JH	0,045	-0,040	0,855
KodumajaTPS-EW215+30mm-VL-13042016-07JH	0,027	0,027	0,876
KodumajaTPS-EW215+30mm-IW-13042016-08JH	0,022	0,022	0,910
KodumajaTPS-KL-SS-14042016-01JH	0,016	0,016	0,957
KodumajaTPS-EW215+30mm-F-14042016-02JH	0,050	-0,041	0,876
KodumajaTPS-P-SS-14042016-03JH	0,033	0,033	0,926
KodumajaTPS-EW170+30mm-Winsill-v3-14042016-04JH	0,033	0,033	0,690
KodumajaTPS-EW170+30mm-Wintop-v3-14042016-05JH	0,032	0,032	0,691
KodumajaTPS-EW170+30mm-Winside-v3-14042016-06JH	0,018	0,018	0,731
KodumajaTPS-EW215+30mm-Winside-v2-14042016-07JH	0,035	0,035	0,723
KodumajaTPS-EW215+30mm-Wintop-v2-14042016-08JH	0,041	0,041	0,690
KodumajaTPS-EW215+30mm-Winsill-v2-14042016-09JH	0,030	0,030	0,692

Külmasildade alahindamine

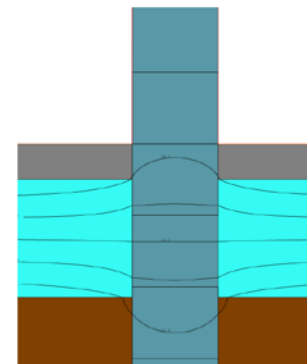
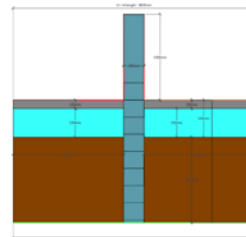
PUUDUVATE tabeliväärtuste võimalik mõju



PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{int} , sisemõõdudega	0.4105 (W/mK)
külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{ext} , välismõõdudega	0.4105 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.870 (—)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	18.32 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	13.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	25035 (—)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000000 (—)

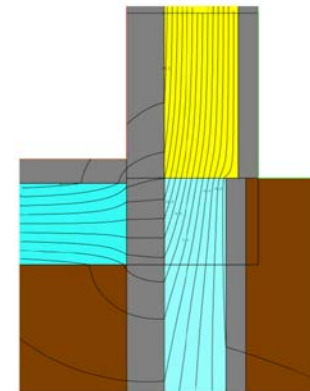
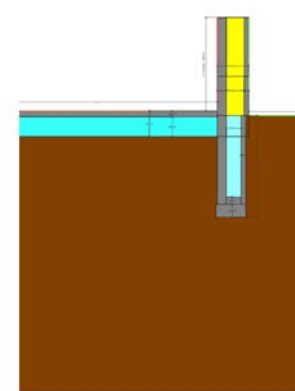
* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamia-lengide ning klaaspaketide puhul $f_{Rsi} > 0,7$ (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standard)



PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{int} , sisemõõdudega	0.2411 (W/mK)
külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{ext} , välismõõdudega	- (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.848 (—)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	15.432 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	30.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	38367 (—)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000050 (—)

* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamia-lengide ning klaaspaketide puhul $f_{Rsi} > 0,7$ (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standard)



Arvestamata SISESEIN-PÕRAND ühendussõlmede mõju

Põranda konstruktsiooniline
soojusläbivus

0,102 W/(m²K)

Põranda soojusläbivus
vastavalt ISO 13370

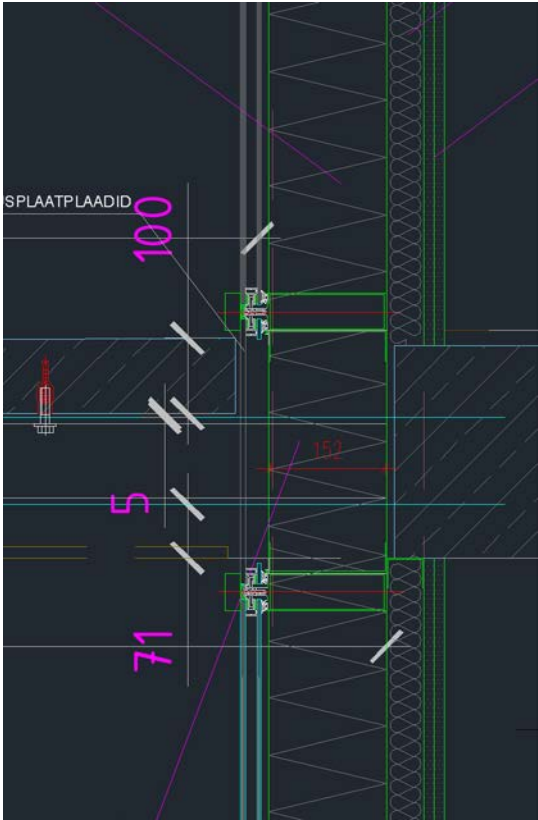
0,093 W/(m²K)

Arvestades SISESEIN-PÕRAND ühendussõlmede mõju

0,182 W/(m²K)

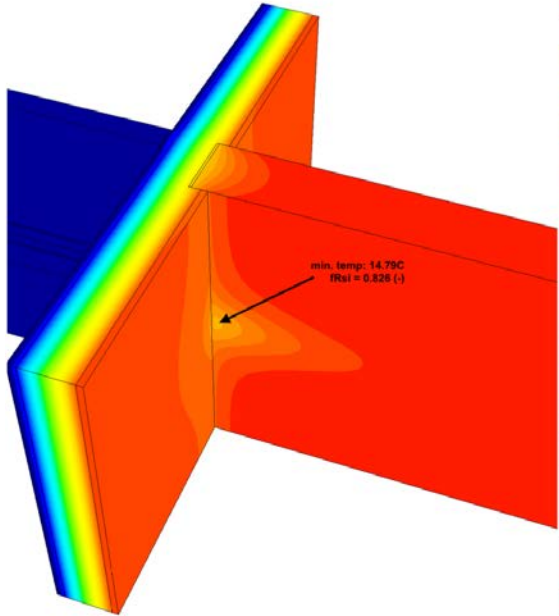
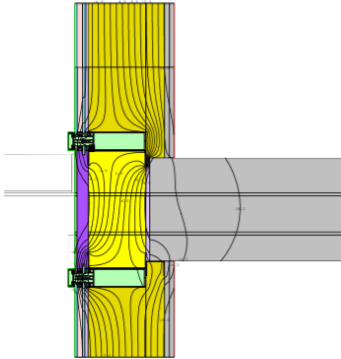
0,125 W/(m²K)

Külmasildade võimalik mõju Klaasfassaadi tummosas



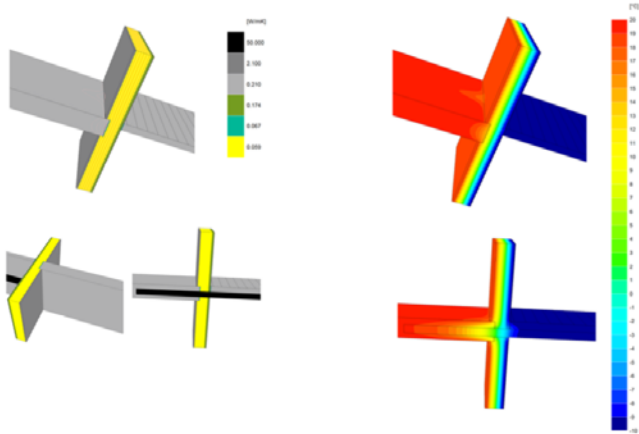
sisemõõdudega	0.4548 (W/mK)
välismõõdudega	0.4548 (W/mK)
vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.773 (-)
temperatuur arvutusmodelis	13.199 (°C)
temperatuuride vahe arvutusmodelis	30.0 (K)
lõplike elementide võrgus	15302 (-)
ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000022 (-)

sooruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamid 7 (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standard).



PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED	
külmasilla punktsoojusläbivus χ (ühe terastala kohta)	0.193 (W/K)
Sisepinna temperatuurindeksi f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.826 (-)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	14.79 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	30.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	440147 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	< 0.0000000001

* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamid 7 (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standard).



Klaasfassaad(tummosa) - Vahelagi ühendus

joonsoojusläbivus

0,455 W/(m2K)

Täiendav punktsoojusläbivus tala kohta

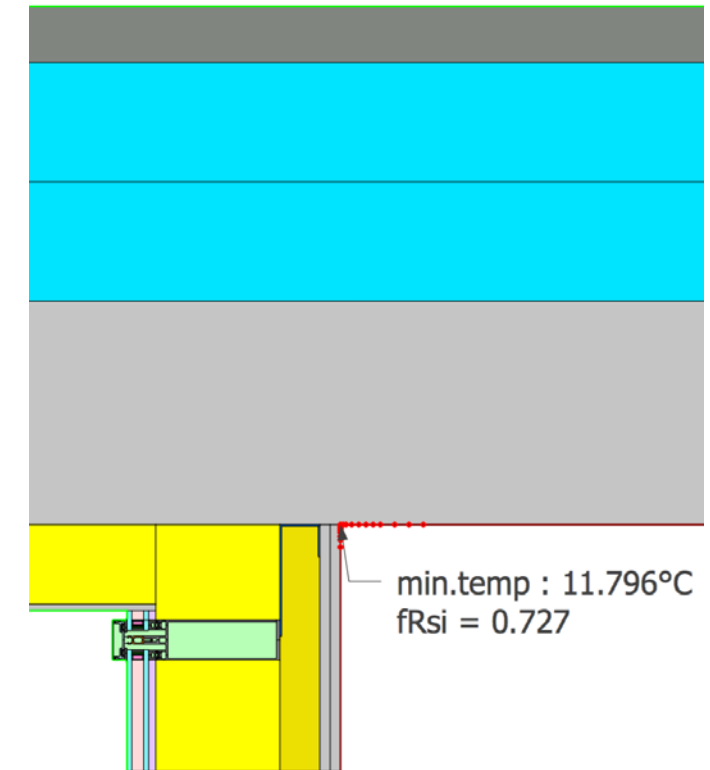
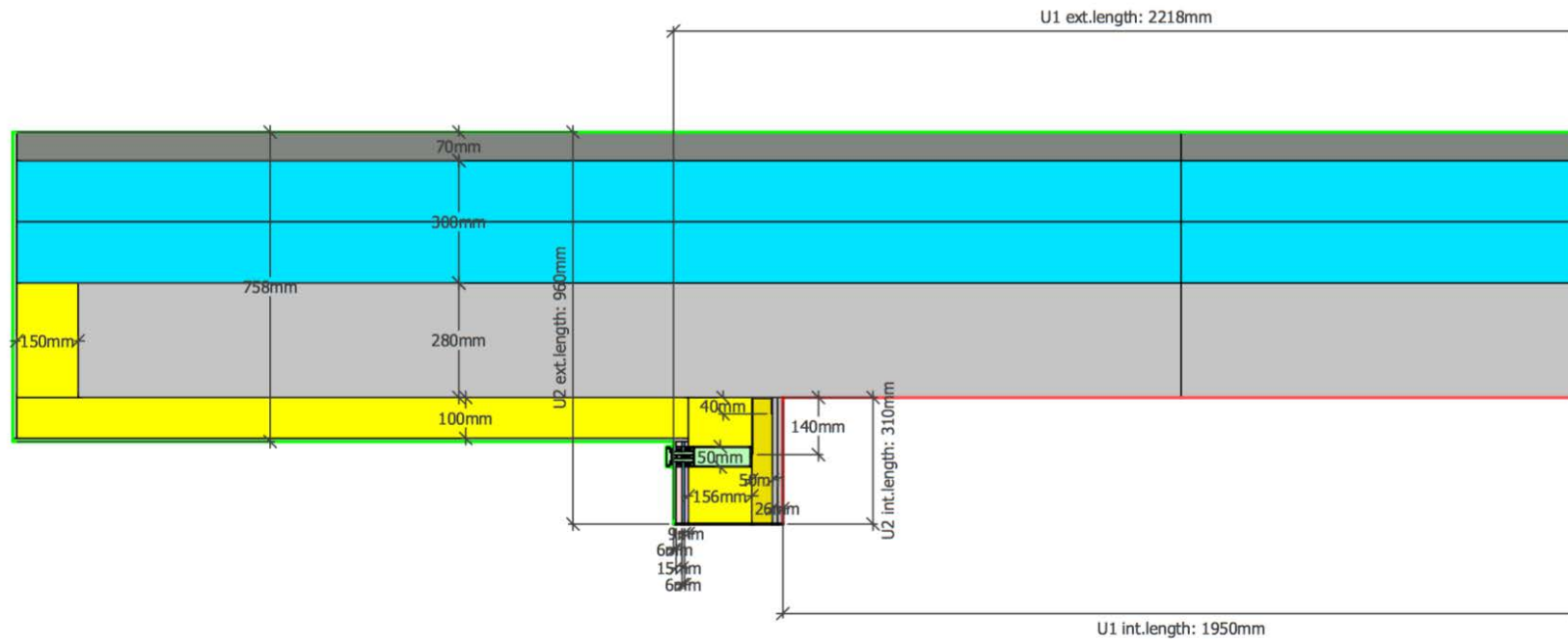
0,193 W/K

Klaasfassaad(tummosa) - Katuslagi ühendus

0,501 W/(m2K)

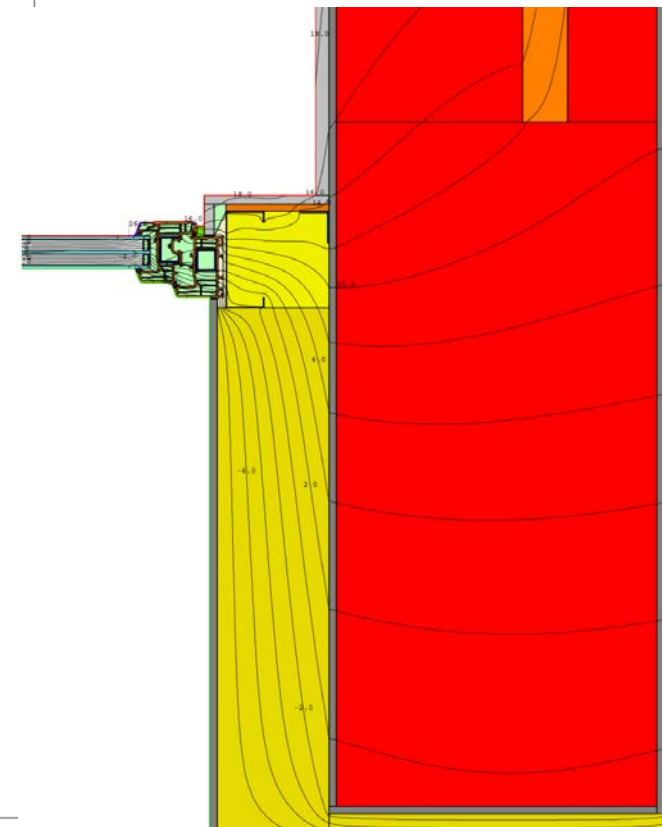
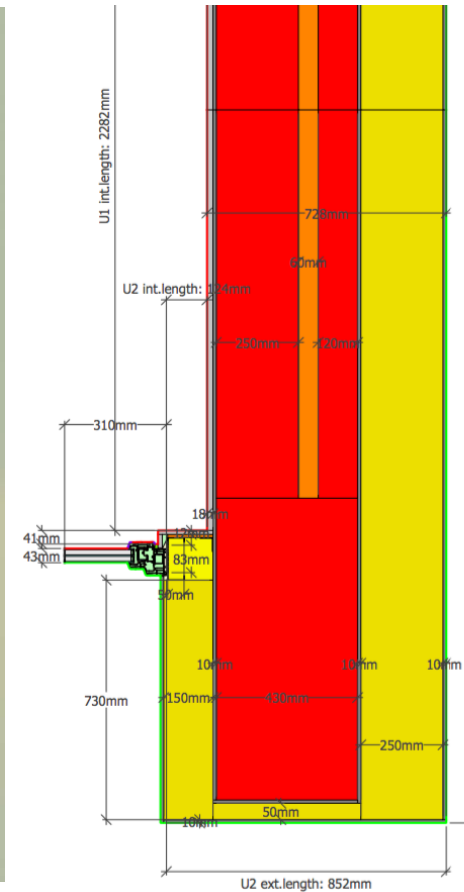
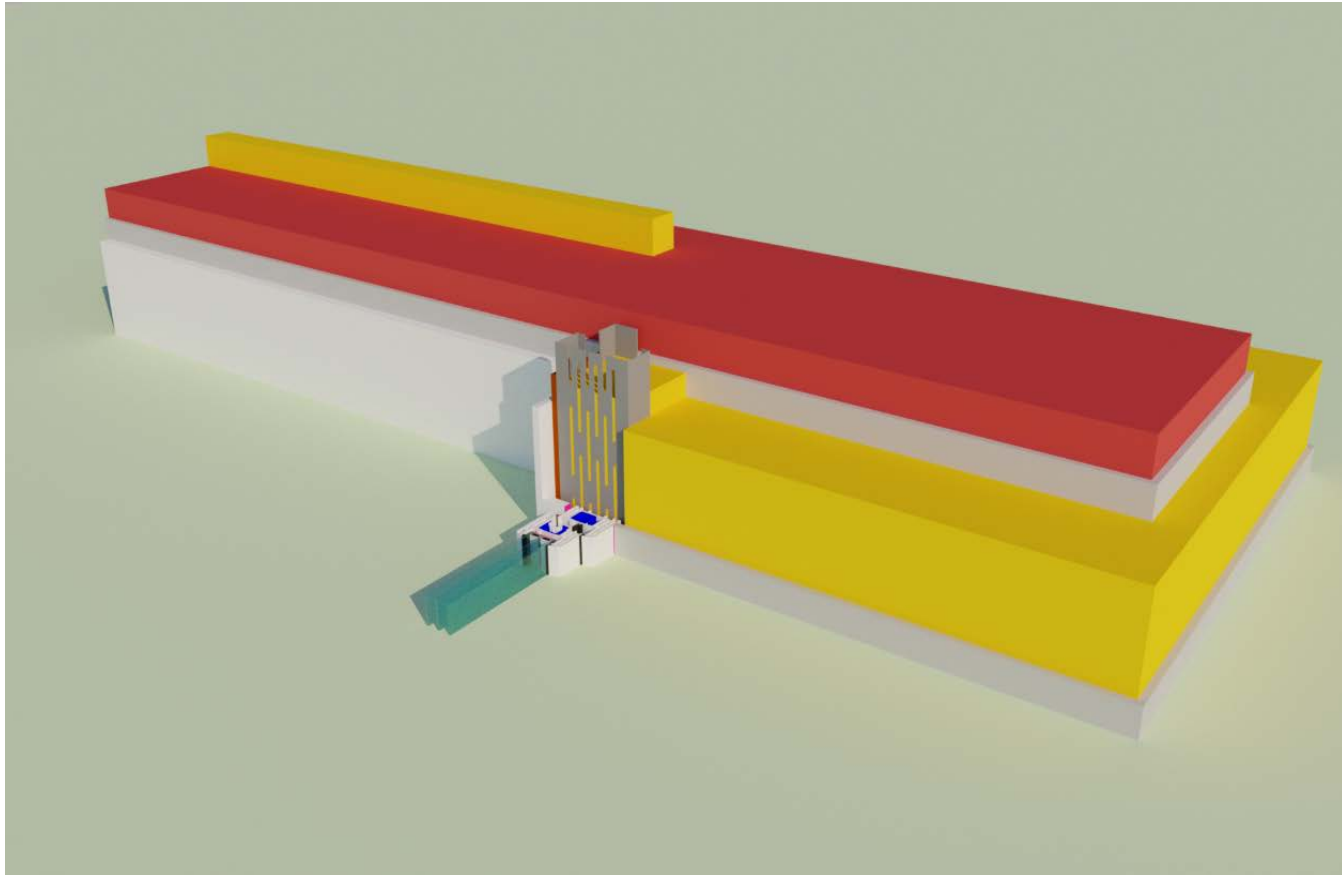
-

Külmasildade võimalik mõju Klaasfassaadi tummosas



	joonsoojusläbivus	Sisepinna temperatuuriindeks fRsi
Klaasfassaad(tummosa) - Katuslagi ühendus	0,501 W/(m ² K)	0,727 (< 0,8)

Väljaulatuvate piirdeosade mõju joonsoojusläbivusele



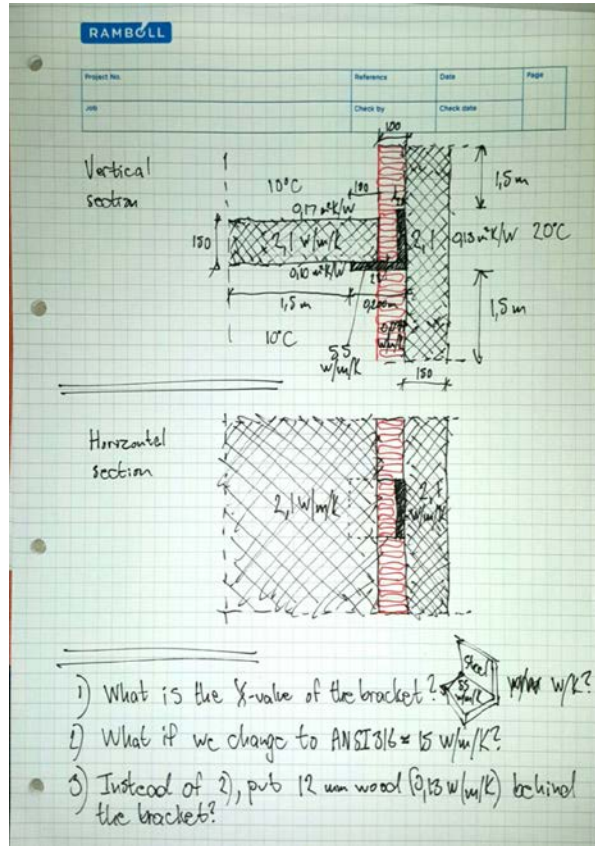
Sõlme joonsoojusläbivus

Välissein – rõduaken ühendus soojustatud tellisseinas

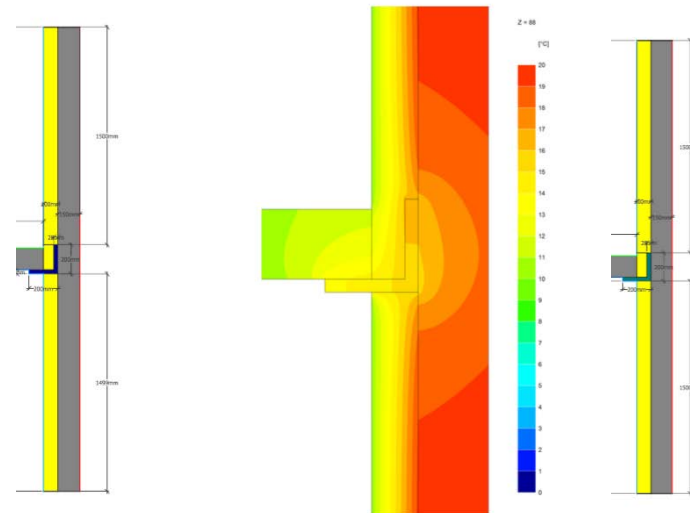
0,238 W/(mK)

Külmasildade optimeerimine
sõlmedes

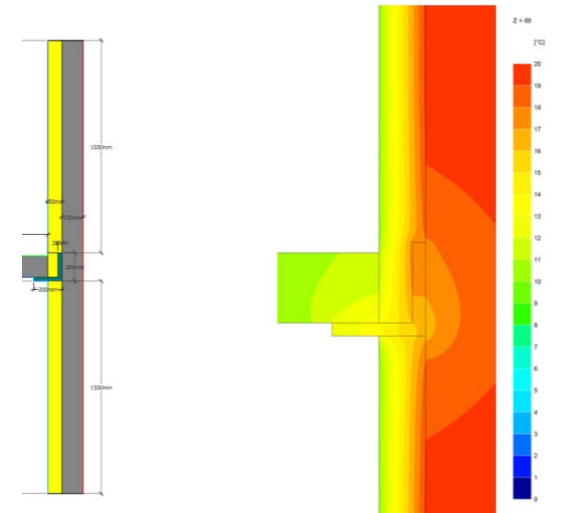
Külmasildade optimeerimine – Rambøll'i 3D näide



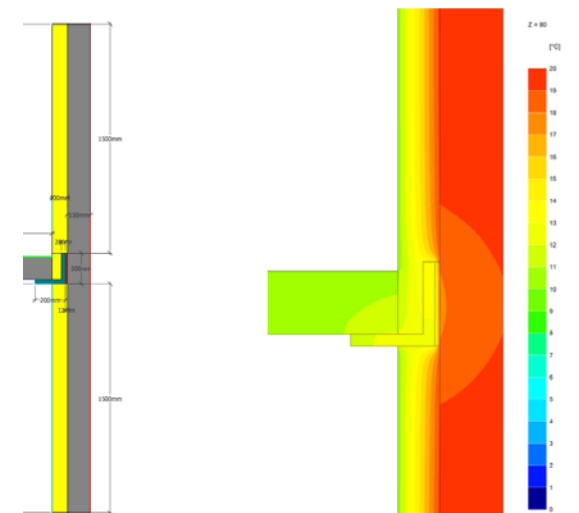
point thermal transmittance χ	0.357 (W/K)
index f_{Rsi} according to ISO EN 13788	0.747 (-)
surface temperature of internal surface	17.47 ($^{\circ}\text{C}$)
ifference between boundary conditions	10.0 (K)
Number of calculation nodes	1277541 (-)
according to ISO 10211 (max 0.0001)	0.00000156 (-)



point thermal transmittance χ	0.236 (W/K)
index f_{Rsi} according to ISO EN 13788	0.804 (-)
surface temperature of internal surface	18.04 ($^{\circ}\text{C}$)
ifference between boundary conditions	10.0 (K)
Number of calculation nodes	1277541 (-)
according to ISO 10211 (max 0.0001)	0.00000138 (-)



point thermal transmittance χ	0.186 (W/K)
index f_{Rsi} according to ISO EN 13788	0.828 (-)
surface temperature of internal surface	18.28 ($^{\circ}\text{C}$)
ifference between boundary conditions	10.0 (K)
Number of calculation nodes	1085448 (-)
according to ISO 10211 (max 0.0001)	0.00000169 (-)



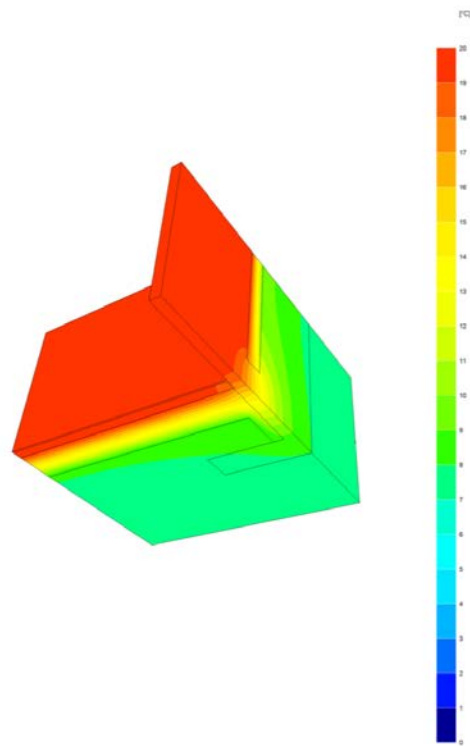
Sõlme täiendav punktsoojuslääbivus

Teraskandur 0,357 W/K

ANSI 316 teraskomposiitkandur 0,236 W/K

Teraskandur + puitklots 0,186 W/K

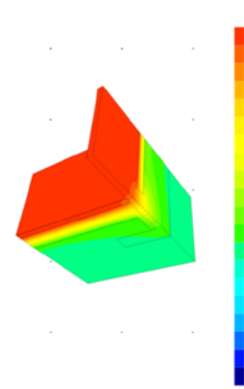
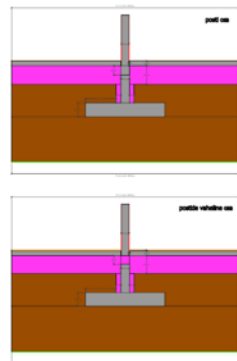
Külmasildade optimeerimine – sokli ja SS-PP 2D+3D näide



PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{int} , sisemõõdudega	0.1109 (W/mK)
külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{ext} , välismõõdudega	0.1109 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.876 (-)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	18.390 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	13.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	2231922 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000344 (-)

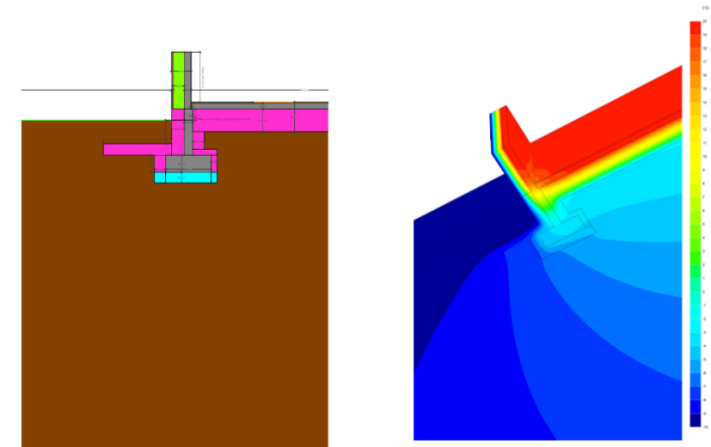
* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamide -lengide ning klaaspakettide puhul $f_{Rsi} > 0,7$ (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standardile).



PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{int} , sisemõõdudega	0.0820 (W/mK)
külmasilla joonsoojusläbivus ψ_{ext} , välismõõdudega	- (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.842 (-)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmodelis	15.25 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmodelis	30.0 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	962192 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.000061 (-)

* Eesti kliimas on temperatuurindeksi piirsuuruseks uutel elamutel $f_{Rsi} > 0,8$; aknaraamide -lengide ning klaaspakettide puhul $f_{Rsi} > 0,7$ (vastavalt EVS-EN ISO 13788:2012 standardile).



Sõlme joonsoojusläbivuse “effektiivväärtus”

Algne Sisesein – Põrand ühendus (soojustust läbiv betoon)

0,337 W/(mK)

Parendatud SS-PP ühendus (soojustust läbivad betoonpostid S1500mm)

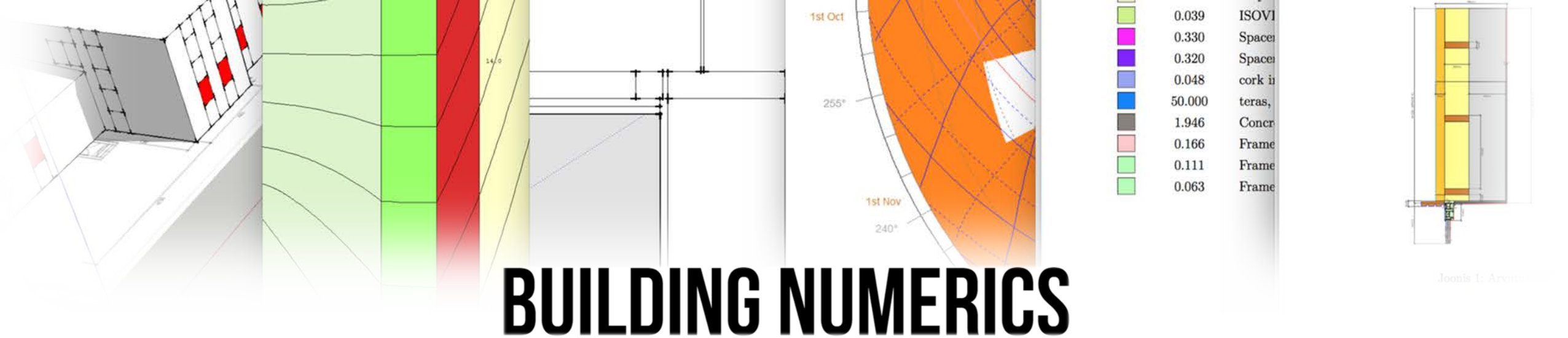
0,111 W/(mK)

Parendatud Soklisõlm (soojustust läbivad betoonpostid S1500mm)

0,082 W/(mK)

KOKKUVÕTE – miks on sõlmede soojusläbivuse arvutamine oluline

- parendada reaalseste numbriliste tulemuste abil hoone arvutuslikku energiaklassi või lihtsustada miinimumnõuete täitmist
- lokaliseerida ja vähendada pinnakondentsi riski
- korrigeerida energiaarvutustes piirete soojusläbivust sõlmede osas, mida tabeliväärtustena ette ei ole antud
- **põhieesmärk - parendada kavandatavaid sõlmi**
- (tõlgendada IR-termograafia tulemusi võrdlusarvutuste abil).



TÄNAME KUULAMAST!