

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSE JA ARHITEKTUURI INSTITUUT

Akna ja seinä liitekoha soojuskaod ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuring

Aruanne

Autorid: Jaanus Hallik ja Targo Kalamees,
Liginullenergia uurimisrühm, Tallinna Tehnikaülikool
jaanus.hallik@taltech.ee, targo.kalamees@taltech.ee

Akna ja seina liitekohta soojuskaod ja niiskusturvalisuse arvutuslik uuring

1 Meetodid

1.1 Arvutusmetoodika

Külmasilla joon- ja punktsoojusläbivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017: EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääritingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara), 3D soojusvoogude analüüs piirde mahulisel mudelil baseerub lõplike vahede meetodil (Physibel Trisco). Täpsem ülevaade mudelite arvutusulatusel ning kirjeldatud soojuslikest ja geomeetrilistest ääritingimustest on toodud iga liitekohta detailses raportis, mis on esitatud käesoleva aruande lisadena.

1.2 Aknad ja välisseinad

Uuringus kasutati kahte erinevat seinatüüp:

- krahvitud soojustusega Columbia-kivist müüritis
- raudbetoonist suurpaneel

ning kolme põhimõtteliselt erineva kinnituslahendust:

- terasest kinnitussiinid,
- puidust paigalduskonstruktsioon akna perimeetris
- tugevast soojustusmaterjalist CompacFoam paigalduskonstruktsioon akna perimeetris).

Lisaks uuriti akna alumise seinakinnituse juures alusprofiili materjalist (PVC või CompacFoam) tingitud mõju liitekohta joonsoojusläbivusele.

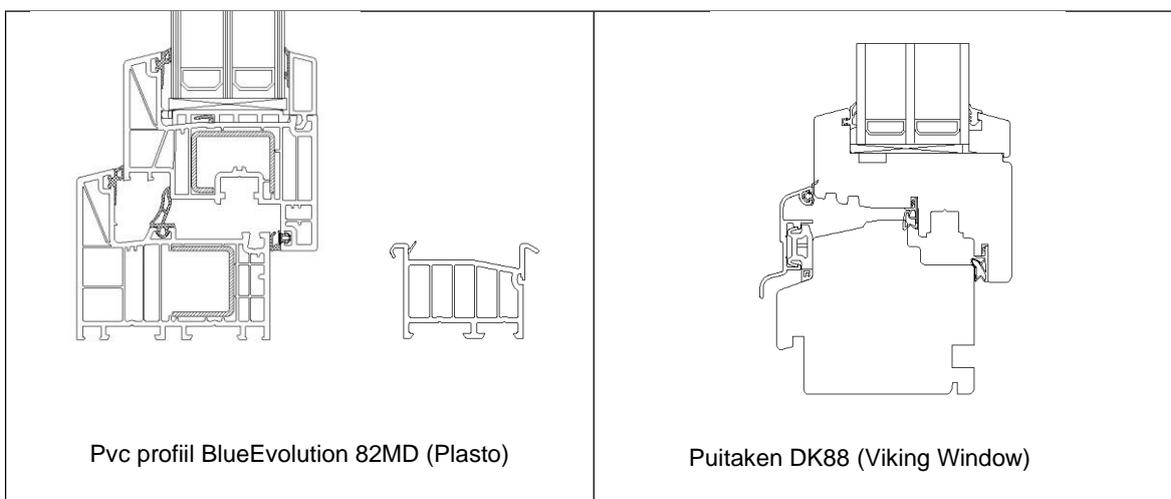
Arvutustel eeldati reaalse, madala soojuserijuhtivusega soojustusmaterjali (PIR soojustussoojuserijuhtivusega $0,022 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) kasutamist. Nii katavad tulemused erinevad soojustusmaterjali tarindilahendused tagavara kasuks. Kõrgema soojuserijuhtivusega soojustusmaterjali (sh EPS Silver jne) korral on liitekohtade joonsoojusläbivus veidi madalam.

Akna seinakinnituse liitekohta joonsoojusläbivuse uuringus lähtuti kahest erinevast aknatüübist:

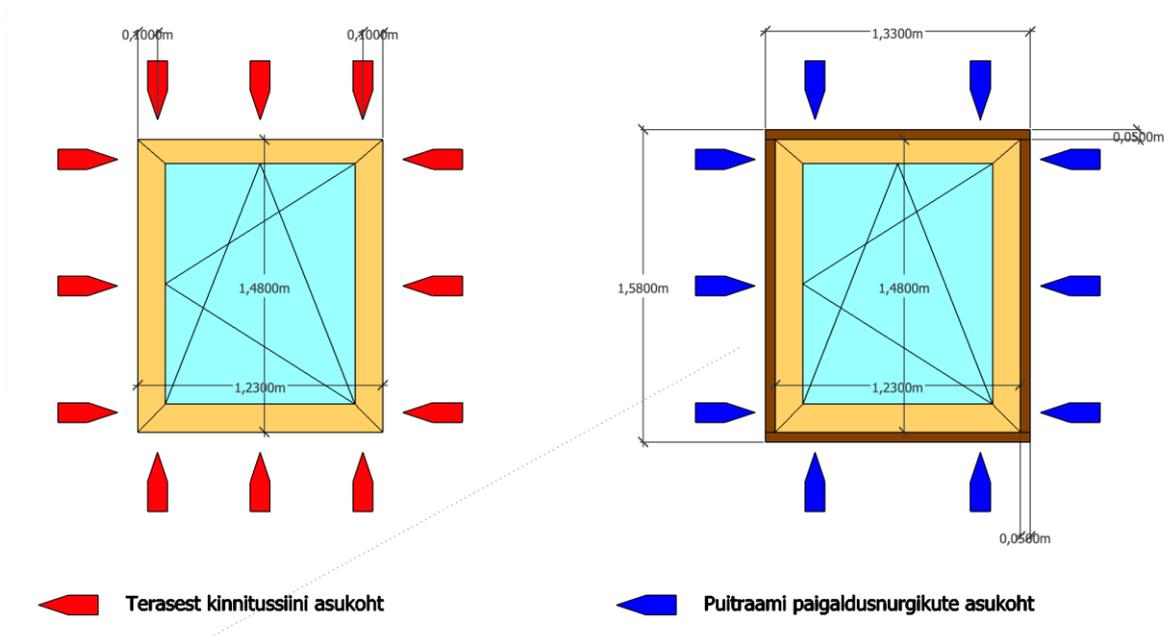
- PVC või CompacFoam paigaldusliistuga Plasto PVC-aknast Blue Evolution 82MD
- ilma paigaldusliistuta Viking Window puitaknast DK88.

Uuringu jaoks vajalike temperatuurivälja arvutuste jaoks lähtuti tellija poolt edastatud vastavate akende ristlõike joonistest (joonis 1).

Sõltuvalt aknaprofiili ristlõike ning paigaldusolukorra erinevustest akna erinevates paletes (so alumine ja ülemine koos külgmiste paledega) on liitekohta joonsoojuslähivus paletst sõltuvalt erinev. Seetõttu sõltub kogu akna perimeetri keskmine joonsoojuslähivus akna laiuselt ja kõrgusest. Samuti sõltub akna suurusest ja kujust akna paigaldamiseks kasutatavate punktliitite arv. Erinevate lahenduste omavaheliseks võrdluseks kasutati seetõttu standardsuurusega avanevat akent mõõtudega 1,23m x 1,48m. Punktliitite mõju lisamiseks lähtuti tootjapoolsetest juhistest, mille kohaselt punktliitite maksimaalne vahekaugus on 700mm ja seetõttu on igal akna küljel (so alumisel, külgmisel, ülemisel,) 3 liitit. Täiendavalt on arvesse võetud ka ava ümber puitprussidest moodustatava paigaldusraami terasnurgikutest liitid. Standardsuurusega akna puhul on puitprussidest paigaldusraami liitimiseks eeldatud kahe (alumise või ülemine liitus) ja 3 (külmine liitus) nurgiku kasutamist. Terasest nurgiku mõõdud 105x105x90x2,5mm. Standardsuurusega akna skemaatiline joonis koos punktliitite (punasega SFS liitussiinid, sinisega puidust paigaldusraami terasnurgikud) asukohaga on toodud joonisel 2.



Joonis 1. Uuringus aluseks olnud kahe aknatüübi ristlõike joonised.



Joonis 2. Analüüsitulemuste võrdlemisel aluseks olnud standardsuurusega aken ja punktliitite asukohad.

Uuringu lähteülesandele vastavate liitekohtade loetelu (nõ arvatavate variantide loetelu) ja skemaatilised lahendused on alljärgnevalt toodud tabelis 1.

Tabel 1. Arvatavate variantide ülevaade.

Krohvitud soojustusega fassaad Soojustus 200mm EPS Silver, ilma lengi soojustuse ülekatteta						
Paigaldus	1: SFS JB-D 50, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	2: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsentrisse 100 mm, alusprofiil pvc	3: Compacfoam CF125, 60x80 mm, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	4: Puitpruss 50x150 mm, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	5: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsentrisse 100 mm, alusprofiil Compacfoam CF 125, 35x52mm	
Akna alune leng/raam PVC 82mm						
Akna külg/üla leng/raam PVC 82mm						
Kihiline r/b seina paneel, 80mm betoon +200mm EPS Silver + 200mm betoon, akna leng vastu välimist r/b koorikut						
Paigaldus	1: SFS JB-D 200 alusprofiil pvc	2: Compacfoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil pvc	3: Puitpruss 50x150 mm, alusprofiil pvc	4: Compacfoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil Compacfoam CF125, 35x52mm		
Akna alune leng/raam PVC 82mm						
Akna külg/üla leng/raam PVC 82mm						
Akna alune leng/raam puit 88mm						
Akna külg/üla leng/raam puit 88mm						

2 Tulemused

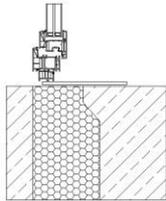
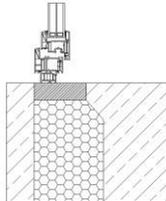
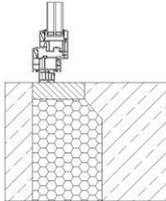
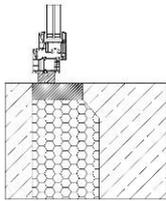
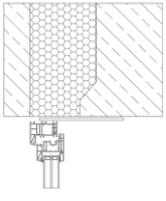
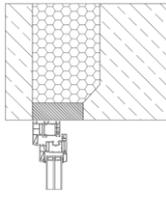
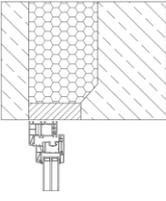
Detailsed tehnilised raportid koos kasutatud lähteandmete ja olulisemate vahetulemustega akna ja välisseina iga liitekohta joon- ning punktsoojuslähivuse kohta on esitatud käesoleva aruande lisades. Alljärgnevatel tabelitel on ülevaatliselt esitatud arvutuste koondtulemused: so iga liitekohta ristlõikele vastav joonsoojuslähivus, lisaks kasutatava punktikiinniti punktsoojuslähivus ning standardsuurusega akna puhul kiinnititest tingitud lisasojuskadu (ehk punktsoojuslähivus) arvestav redutseeritud joonsoojuslähivus akna vastava külje kohta.

Tabelis 2 on esitatud tulemused PVC-akna liitumise kohta krohvitud ja soojustatud müüritisega välisseina osas, tabelis 3 tulemused PVC-akna liitumise kohta raudbetoon suurpaneelist välisseinaga ja tabelis 4 tulemused puitakna liitumise kohta raudbetoon suurpaneelist välisseinaga.

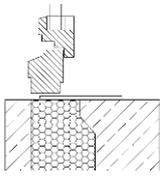
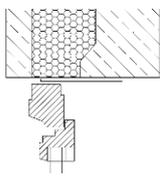
Tabel 2. Kokkuvõtlikud arvutustulemused PVC-akna liitumise kohta krohvitud ja soojustatud müüritisega

Krohvitud soojustusega fassaad Soojustus 200mm PIR (soojuseri juhtivus 0,022 W/(mK)), ilma lengi soojustuse ülekatteta					
Paigaldus	1: SFS JB-D 50, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	2: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsesstrisse 100 mm, alusprofiil pvc	3: Compacfoam CF 125, 60x80 mm, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	4: Puitpruss 50x150 mm, akna lengi sisemine külj müüritisega tasa, alusprofiil pvc	5: SFS JB-D 100, müüritisest akna lengi tsesstrisse 100 mm, alusprofiil Compacfoam CF 125, 35x52mm
Akna alune Leng/raam PVC 82mm					
Joonsoojuslähivus Ψ , W/(mK)	0,0498	0,0402	0,0574	0,0909	0,0261
Punktsoojuslähivus ühe kiinniti kohta χ , W/K	0,0041	0,0048	-	0,0019	0,0030
Redutseeritud joonsoojuslähivus tüüpakna vastaval küljel Ψ , W/(mK)	0,0599	0,0518	0,0574	0,0955	0,0326
Akna külj/üla leng/raam PVC 82mm					
Joonsoojuslähivus Ψ , W/(mK)	0,0120	0,0079	0,0163	0,0393	
Punktsoojuslähivus ühe kiinniti kohta χ , W/K	0,0023	0,0031	-	0,0019	
Redutseeritud joonsoojuslähivus tüüpakna vastaval küljel Ψ , W/(mK)	0,0176	0,0154	0,0163	0,0439	

Tabel 3. Kokkuvõtlikud arvutustulemused PVC-akna liitumise kohta raudbetoon suurpaneelist seinaga.

Kihiline r/b seina paneel, 80mm betoon + 200mm PIR (soojuseri juhtivus 0,022 W/(mK)), + 200mm betoon, akna leng vastu välimist r/b koorikut (PVC AKEN)				
Paigaldus	1: SFS JB-D 200 alusprofiil pvc	2: Compacfoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil pvc	3: Puitpruss 50x150 mm, alusprofiil pvc	4: Compacfoam CF125, 50x150 mm, alusprofiil Compacfoam CF125, 35x52mm
Akna alune leng/raam PVC 82mm				
Joonsoojusläbivus Ψ , W/(mK)	0,0411	0,0456	0,0737	0,0319
Punktsoojusläbivus ühe kinniti kohta χ , W/K	0,0058	-	0,0019	-
Redutseeritud joonsoojusläbivus tüüpakna vastaval küljel Ψ , W/(mK)	0,0552	0,0456	0,0783	0,0319
Akna külg/üla leng/raam PVC 82mm				
Joonsoojusläbivus Ψ , W/(mK)	0,0097	0,0166	0,0477	
Punktsoojusläbivus ühe kinniti kohta χ , W/K	0,0030	-	0,0019	
Redutseeritud joonsoojusläbivus tüüpakna vastaval küljel Ψ , W/(mK)	0,0171	0,0166	0,0523	

Tabel 4. Kokkuvõtlikud arvutustulemused puitakna liitumise kohta raudbetoon suurpaneelist seinaga.

Kihiline r/b seina paneel, 80mm betoon + 200mm PIR (soojusjuhtivus 0,022 W/(mK)), + 200mm betoon, akna leng vastu välimist r/b koorikut (PUITAKEN)				
Paigaldus	1: SFS JB-D 200 PUITAKEN			
Akna alune leng/raam puit 88mm				
Joonsoojusläbivus, W/(mK)	0,0010			
Punktsoojusläbivus ühe kinniti kohta, W/K	0,0054			
Redutseeritud joonsoojusläbivus tüüpakna vastaval küljel, W/(mK)	0,0141			
Akna külg/üla leng/raam puit 88mm				
Joonsoojusläbivus, W/(mK)	0,0090			
Punktsoojusläbivus ühe kinniti kohta, W/K	0,0037			
Redutseeritud joonsoojusläbivus tüüpakna vastaval küljel, W/(mK)	0,0170			

Lisad

- Krohvitud välisseina ja PVC akna liitumise külmasillaanalüüsi aruanded lk 9 - 90
- RB-paneelist välisseina ja PVC akna liitumise külmasillaanalüüsi aruanded lk 91 - 154
- RB-paneelist välisseina ja puitakna liitumise külmasillaanalüüsi aruanded lk 155 - 169

Lisa 1. Krohvitud välisseina ja PVC akna liitumise külmasillaanalüüsi aruande

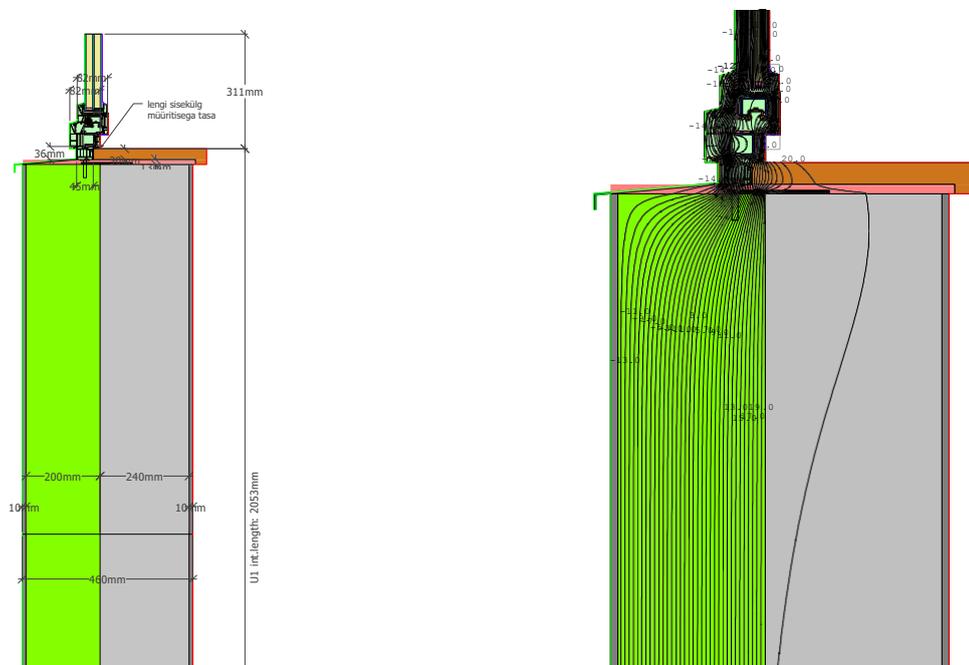
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v01al-PVCpp-SFS-JBD50siin-15032020-01JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus int , sisemõõtu dega	0.0498 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeksi f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.737 (-)
Sisepinna madalaim pinnatemperatuur arvutusmudelis	11.524 (°C)
Sise- ja väliskeskkonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	20547 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000003 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.627	19.709	0.547
interior-BC	2.718	19.709	0.547

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.053	0.000	0.219	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

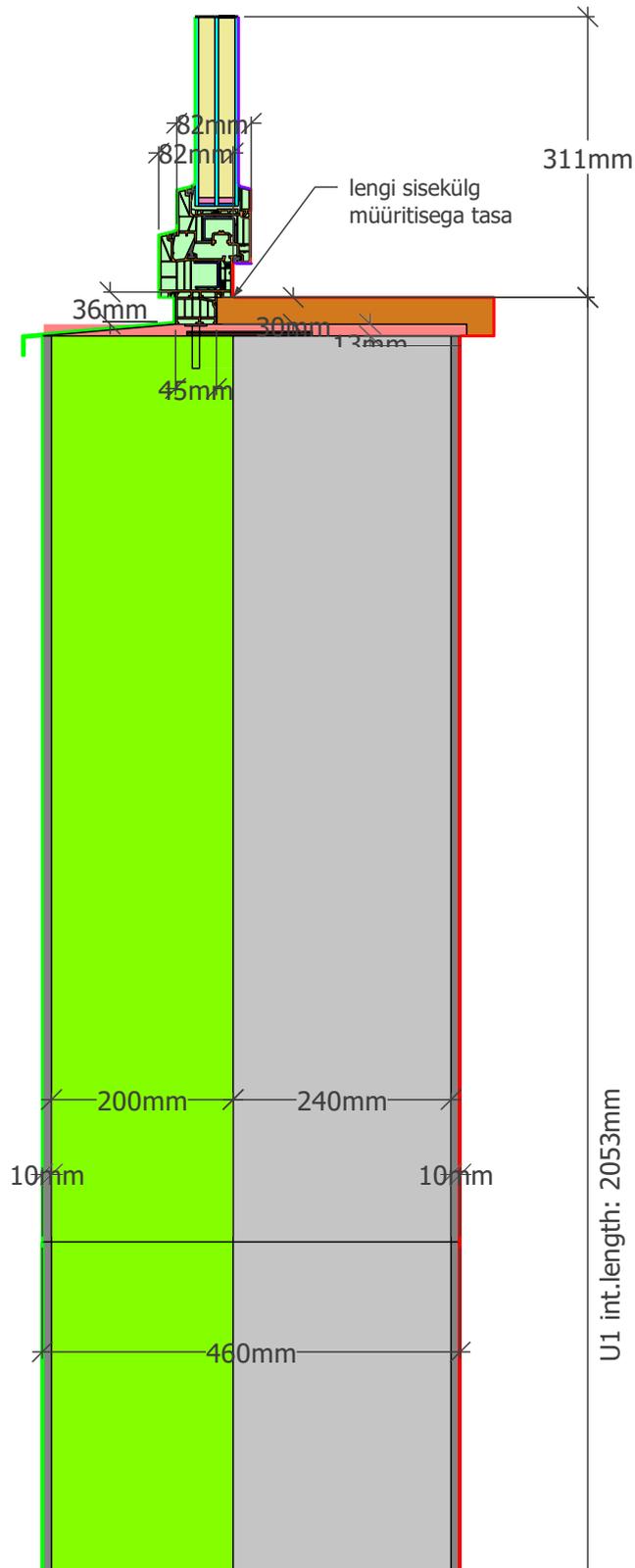
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

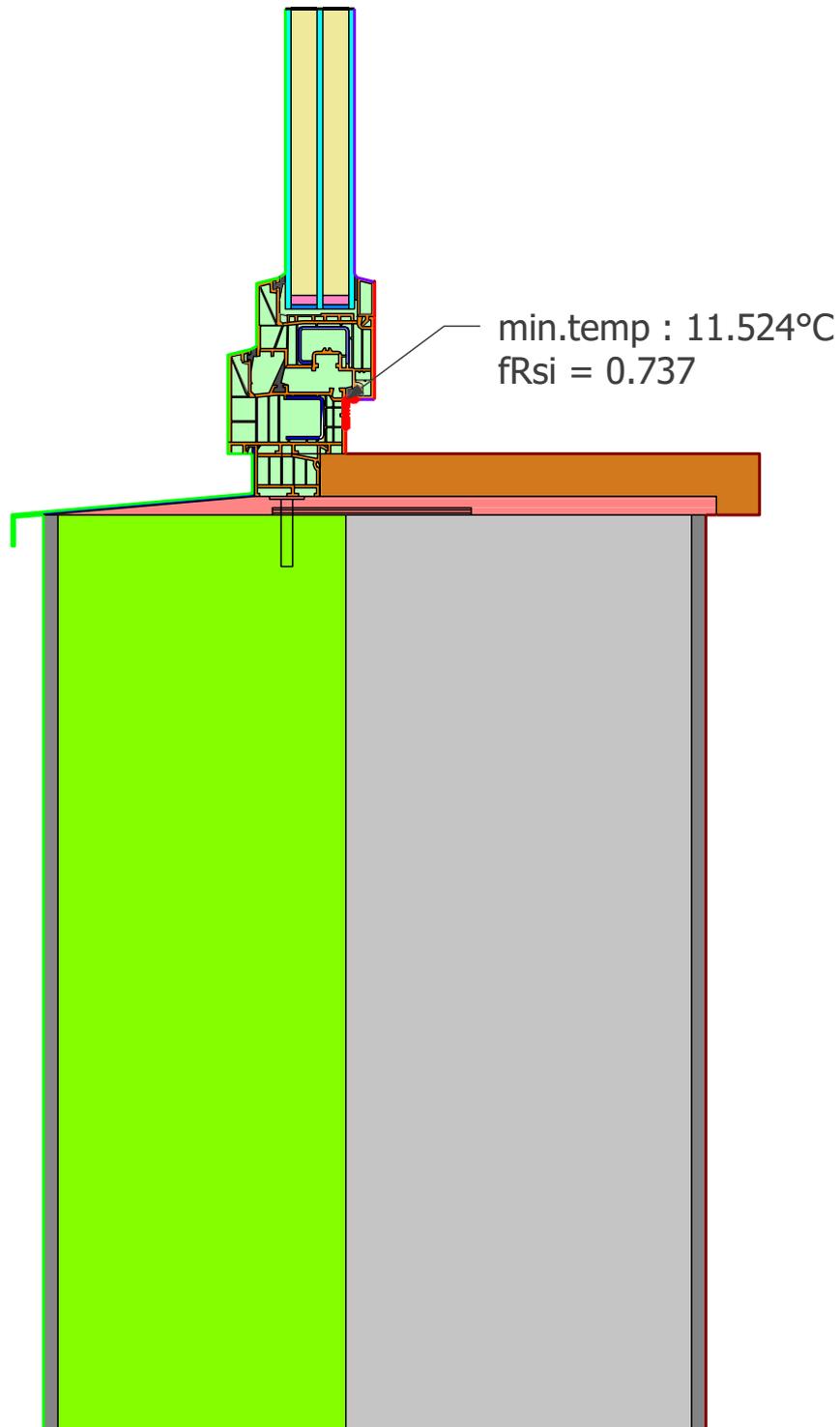
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	1.000	Krohvi
	0.022	soojustus 0022
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_7
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_8
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_9
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_10
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_11
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_12
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_13
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_14
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_18
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_21
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_24
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_25
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_26
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_28
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_32

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_34
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_35
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_36
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_37
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_38
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_40
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_41
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_44
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_45
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_48
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_49
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_51
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_54
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_55
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_63
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_67
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_73
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_74
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_75
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_76
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_77
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_79
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_84
	0.130	Puit
	0.045	Montaazivaht
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_89
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_101
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_103
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_106

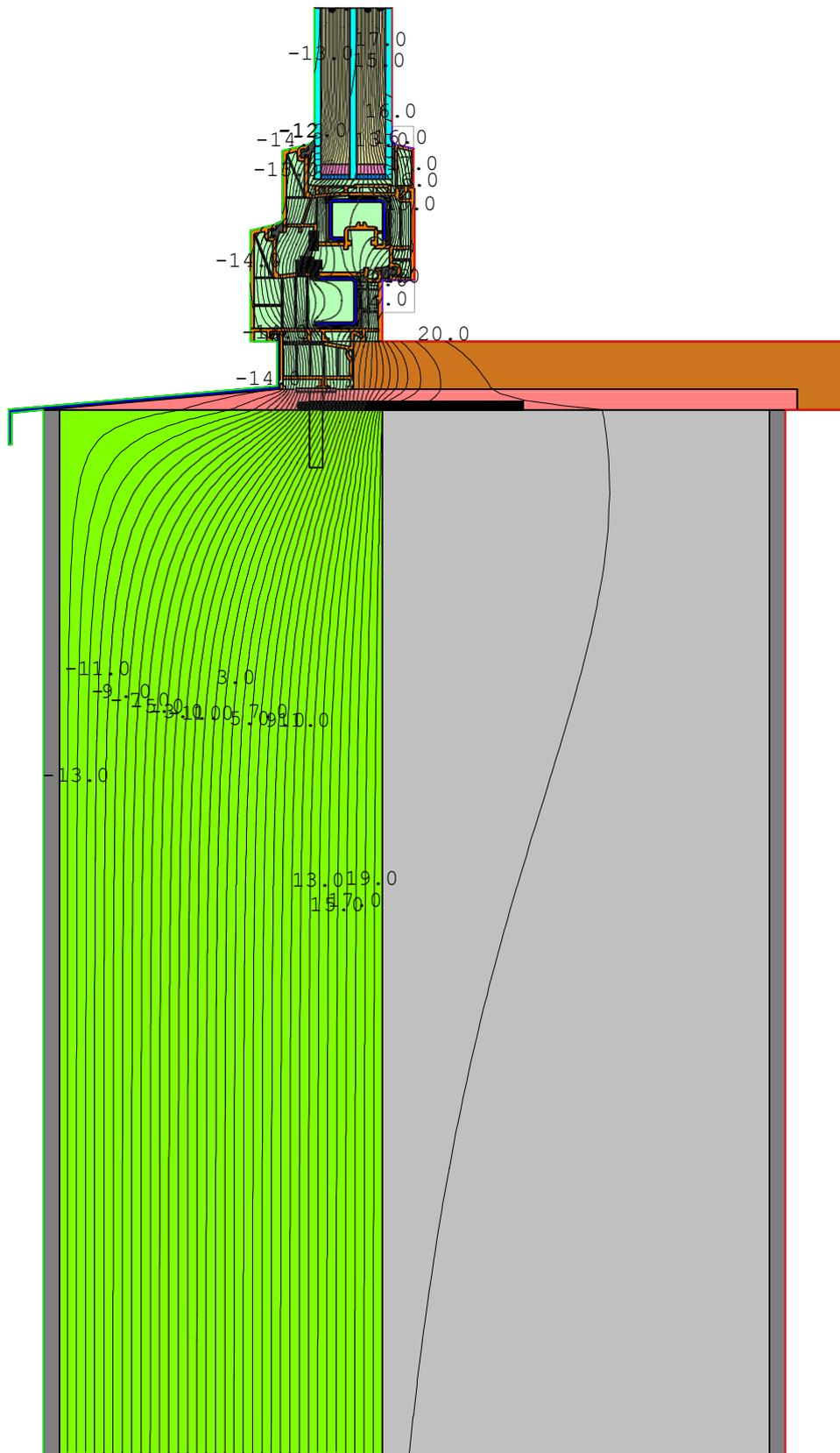
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_107
	0.087	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_111
	0.051	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_114
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_132
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_140
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_250



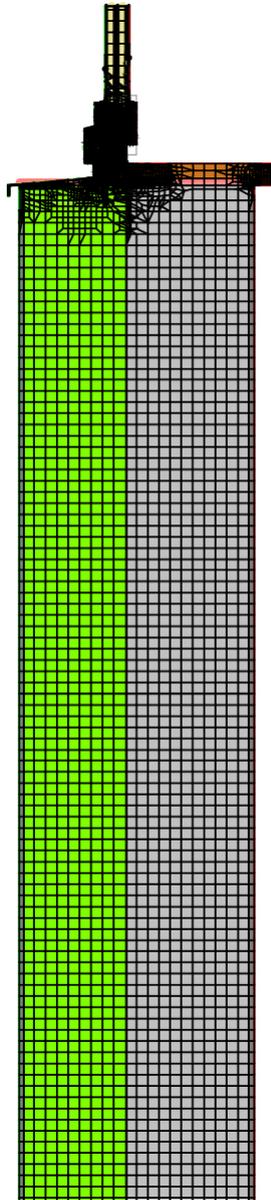
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmodeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

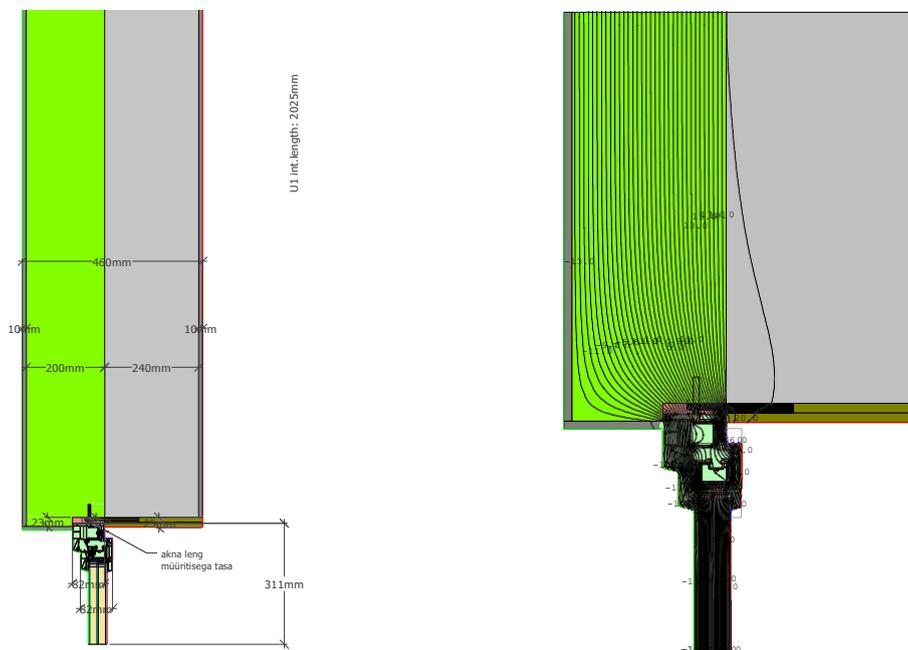
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofüliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10_1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v01yl-SFS-JBD50siin-15032020-02JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0120 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.760 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.372 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	7915 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000024 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017; EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.494	18.215	0.506
interior-BC	2.616	18.215	0.506

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.025	0.000	0.216	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

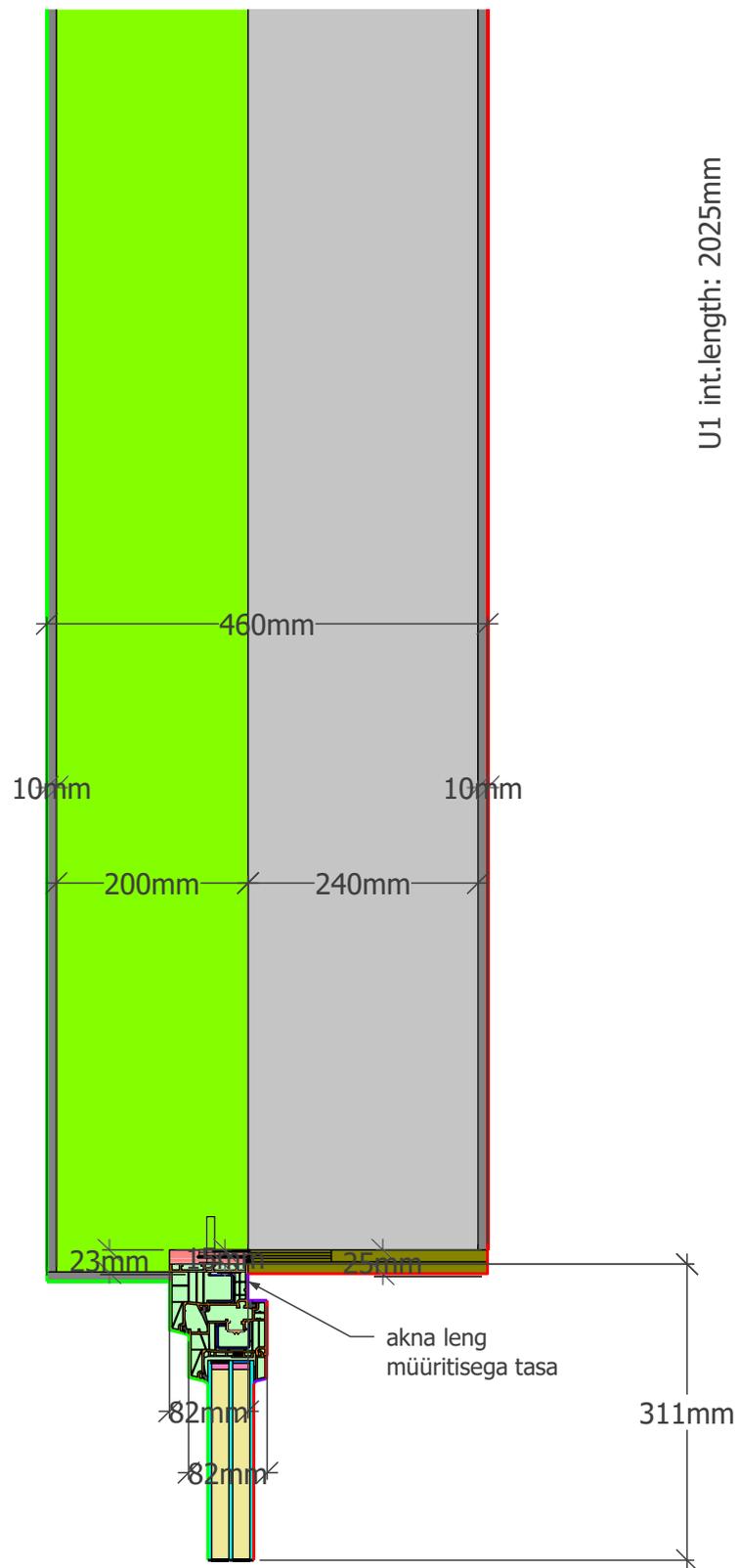
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

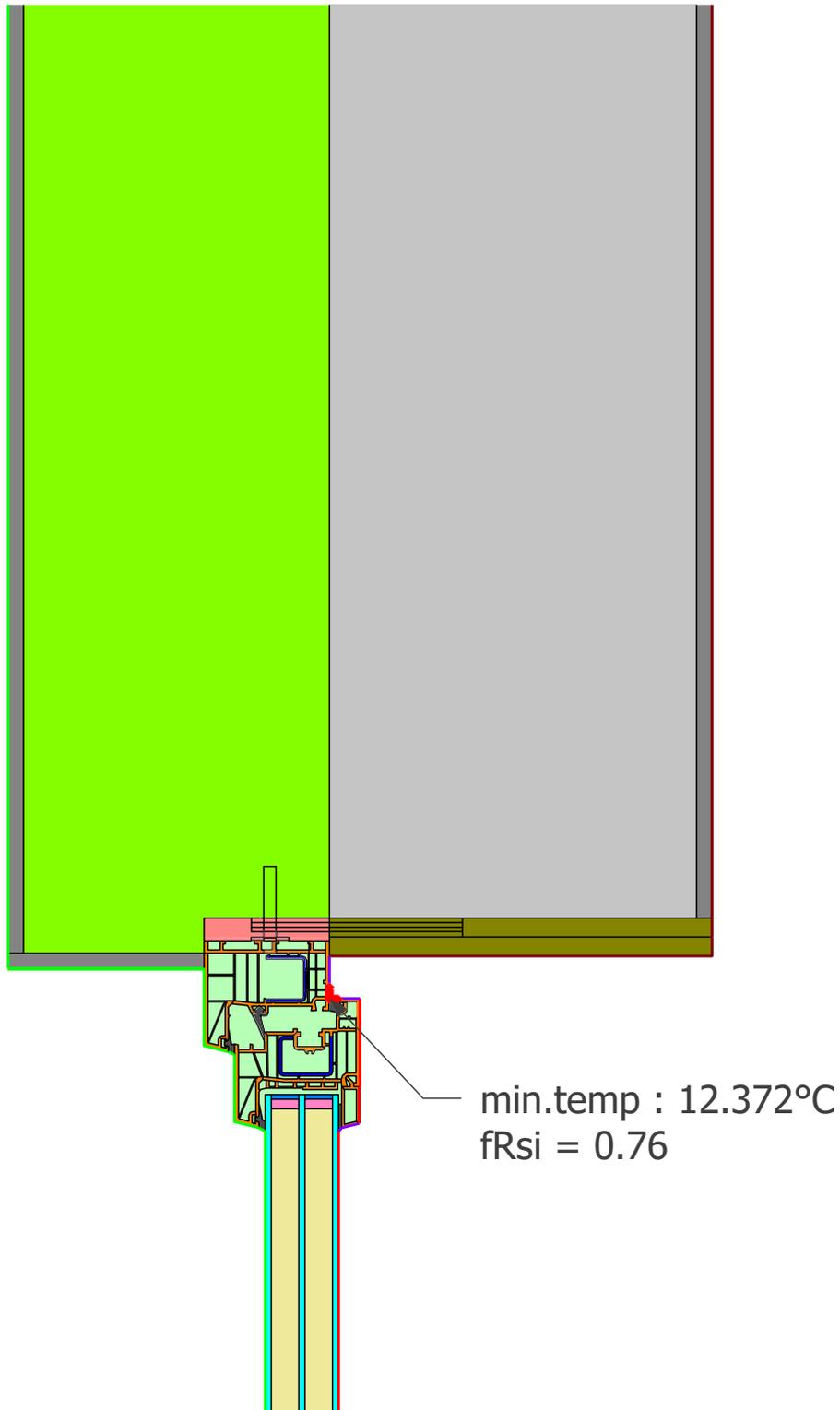
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.045	Montaazivaht
	0.022	soojustus 0022
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.250	Kipsplaat
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_21
	1.000	Krohv
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_37
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_39
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_41
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_42
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_45
	0.068	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_51
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_52
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_53
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_55
	0.40	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_58
	0.41	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_59
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_60
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_61
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_62

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_63
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_67
	0.46	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_69
	0.47	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_70
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_71
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_73
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_74
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_75
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_80
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_81
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_84
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_86
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_88
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_89
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_92
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_101
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_102
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_106
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_107
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_113
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_114
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125

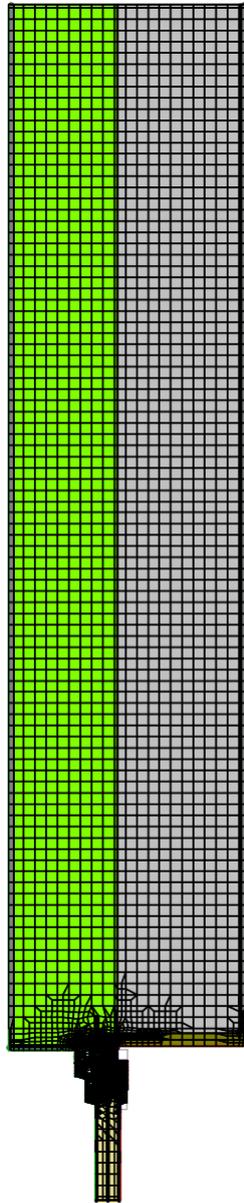
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_128
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_131
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_132
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_135
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.100	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152



Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

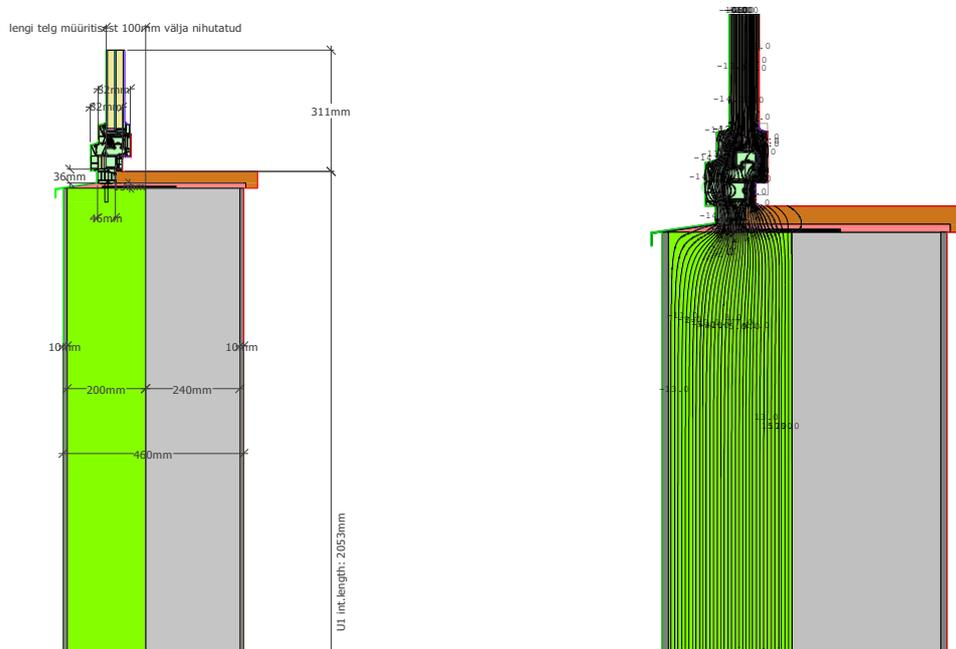
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10_1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v02al-PVCpp-SFS-JBD100siin-15032020-03JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0402 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.732 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.368 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	74968 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000025 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.561	19.364	0.538
interior-BC	2.773	19.364	0.538

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.053	0.000	0.219	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

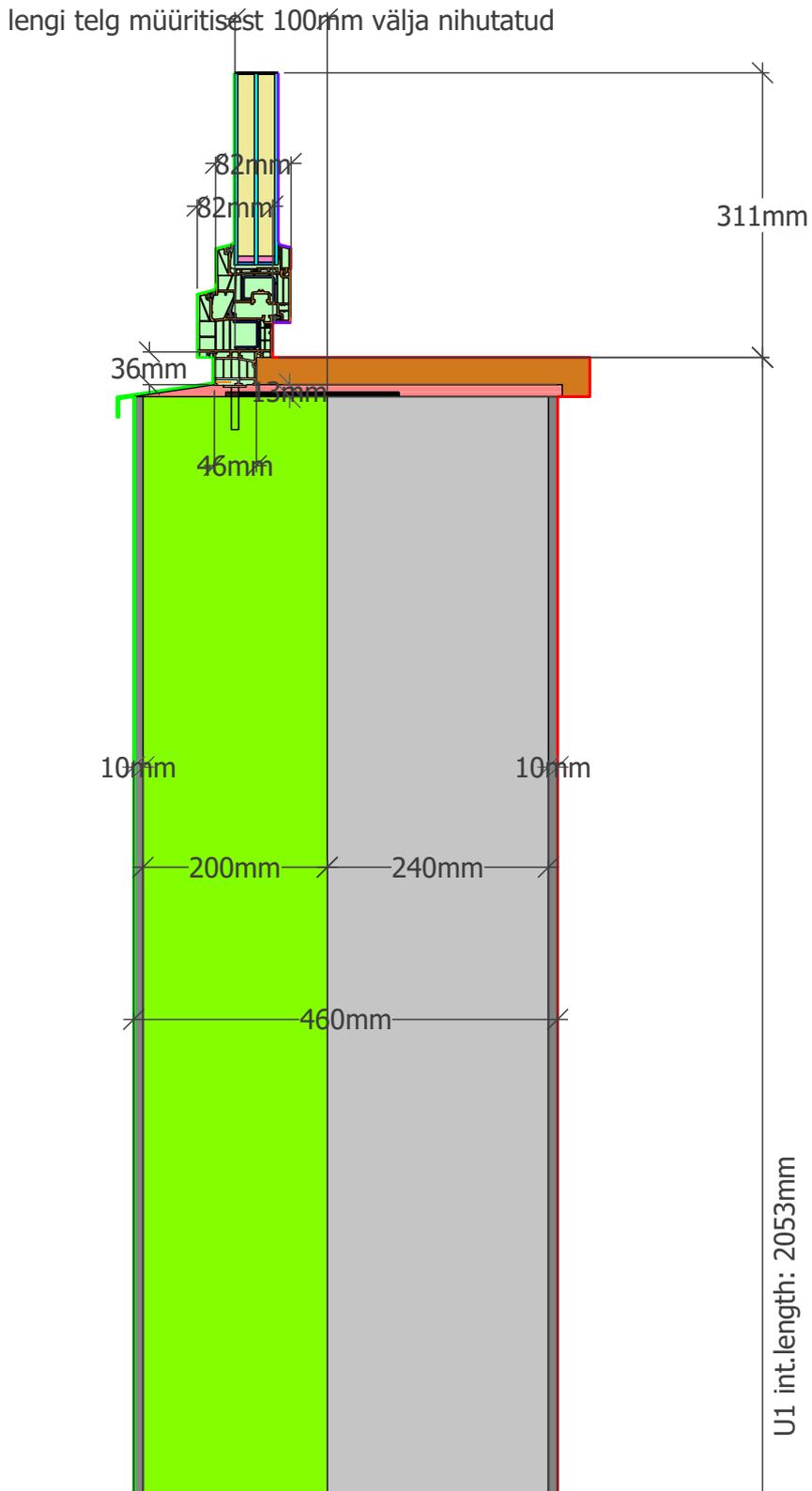
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

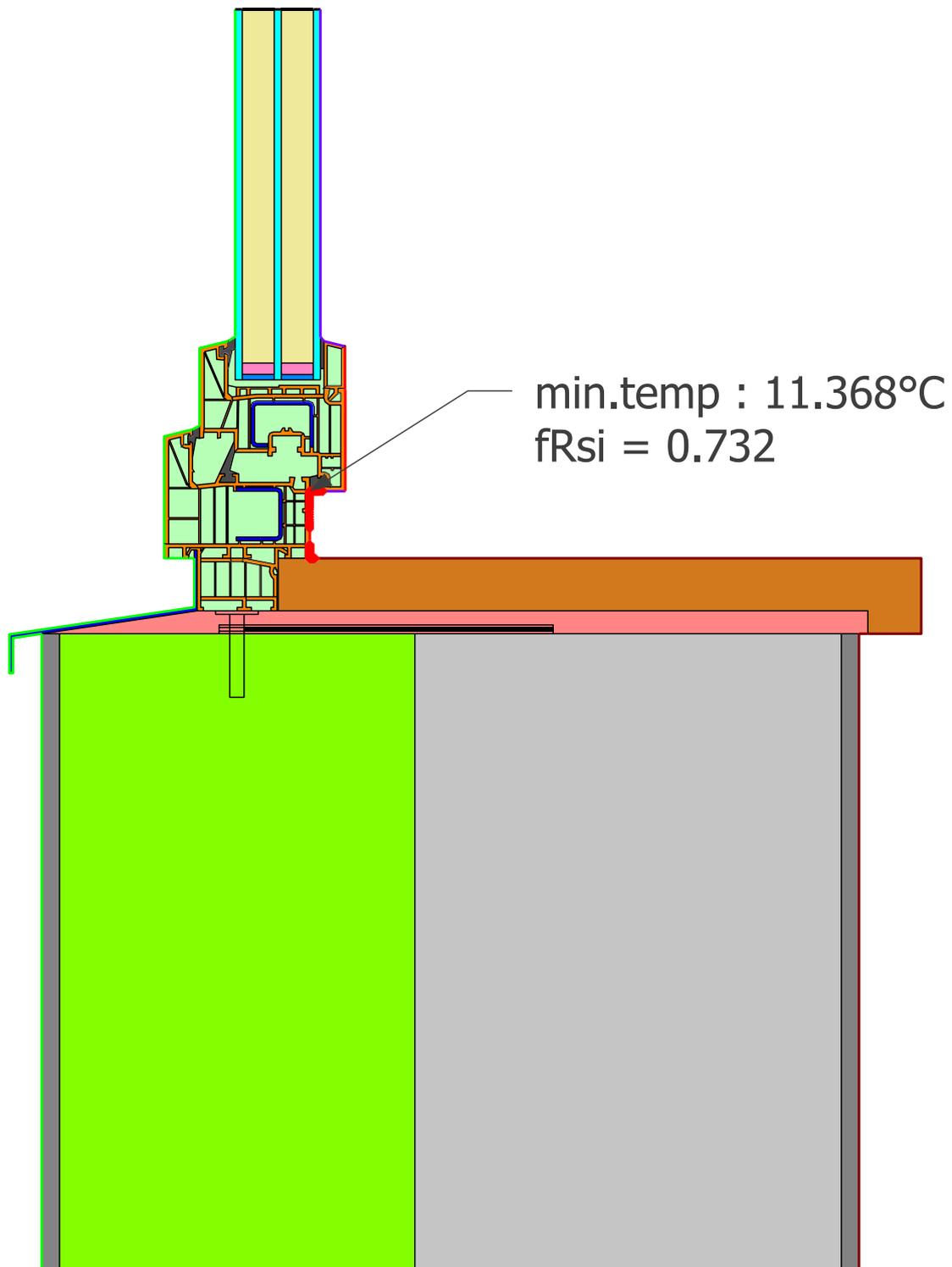
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.227
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.226
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.224
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.223
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.222
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.220
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.216
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.214
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.213
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.210
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.209
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.208
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.206
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.202
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.200
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.199
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.198
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.197
	0.140	Swisspacer Ultimate h2

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_195
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_194
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_144
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_140
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_139
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.051	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_119
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_104
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_103
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_100
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_71
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_70
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_65
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_62
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_59
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_57

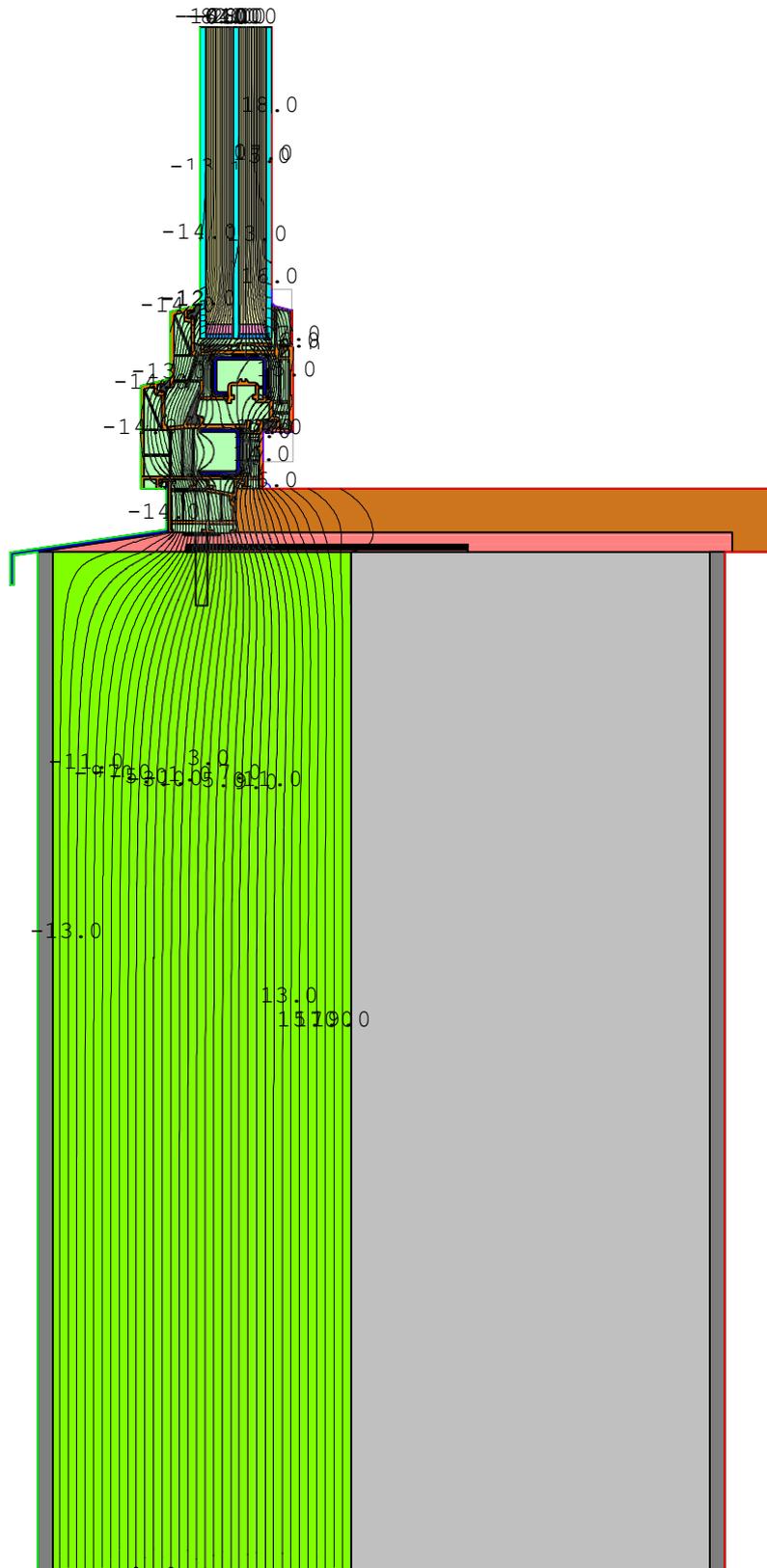
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.045	Montaazivaht
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_24
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_25
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_28
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_38
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_39
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_40
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_41
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_68
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_69
	0.074	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_73
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_74
	0.130	Puit
	1.000	Krohv
	0.022	soojustus 0022
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_101
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_232
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_228



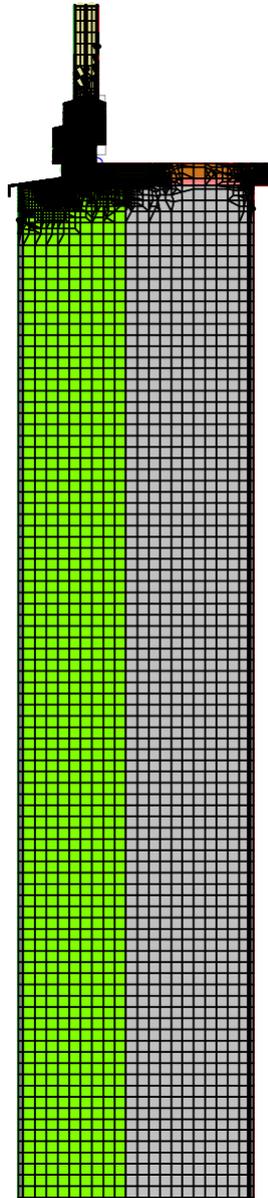
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10_1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v02yl-SFS-JBD100siin-15032020-04JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0079 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.752 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.067 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	8075 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000014 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.435	18.067	0.502
interior-BC	2.675	18.067	0.502

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.025	0.000	0.216	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

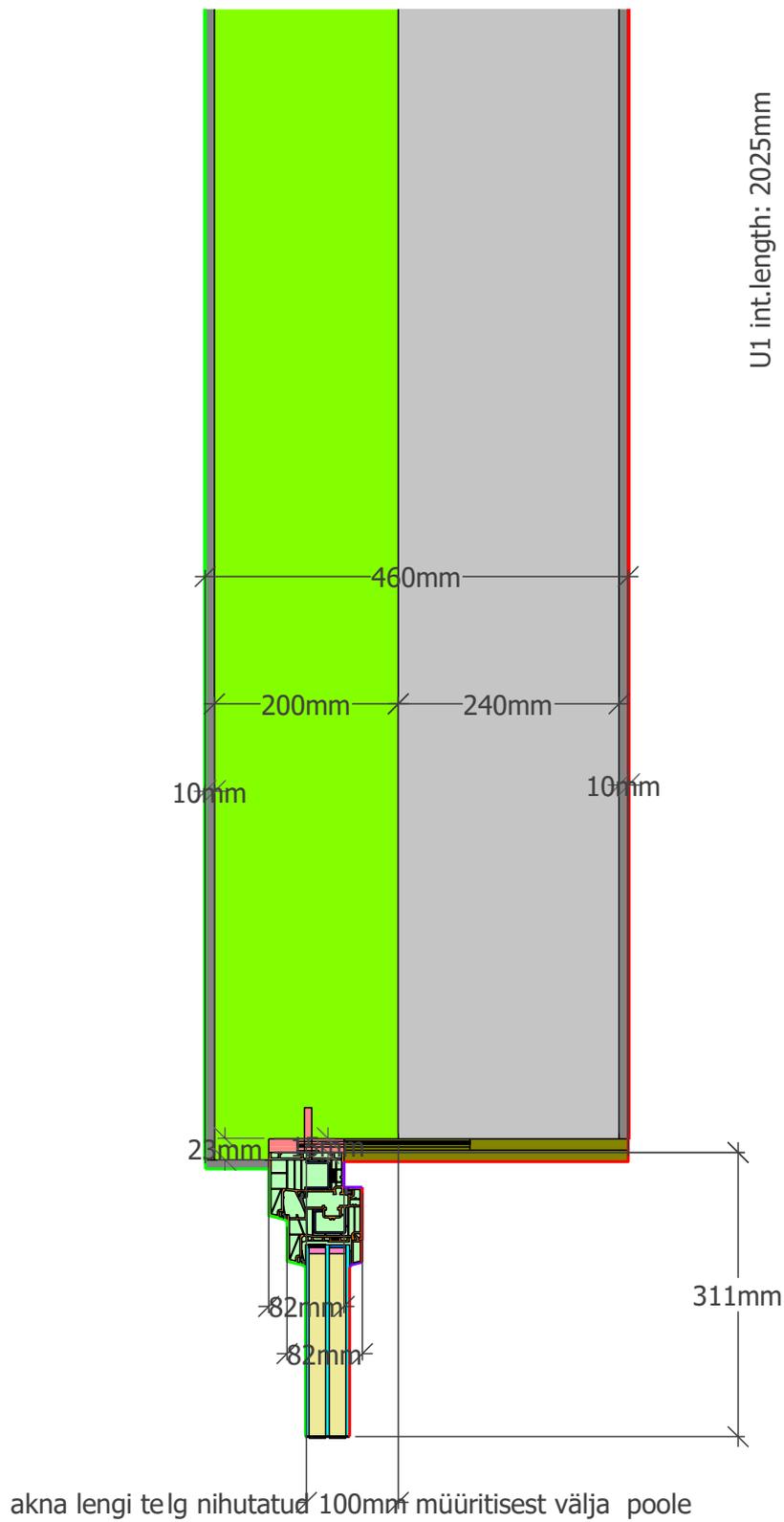
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

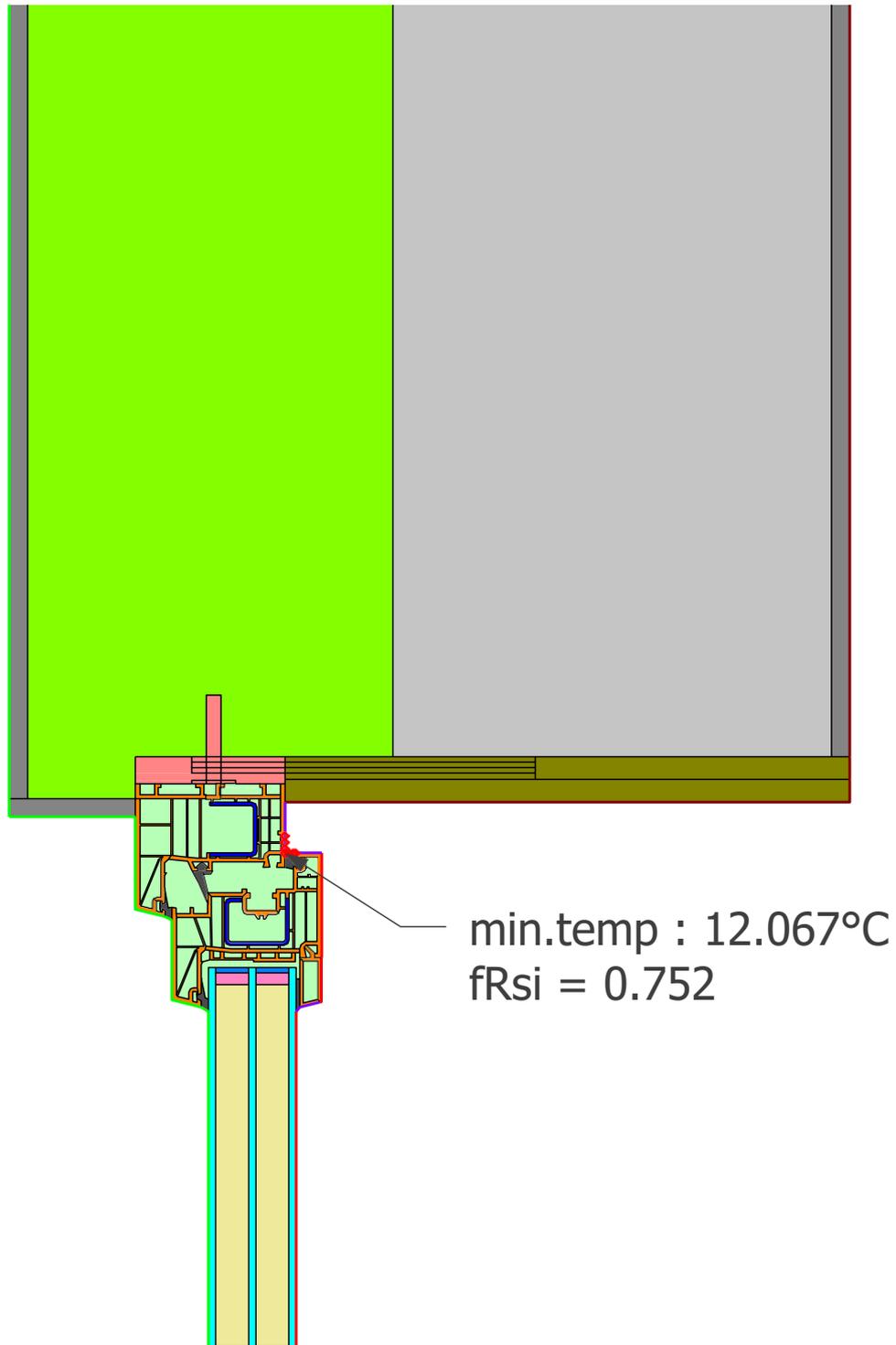
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.082	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_206
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_203
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_201
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_200
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_199
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_196
	0.068	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_190
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_189
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_188
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_187
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_185
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_184
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_183
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_182
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_181
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_180
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_179
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_176

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_174
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_173
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_172
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_138
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_131
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_113
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_111
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_104
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_103
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_100
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_86
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_83
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_61
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_59
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_58
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_57
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_56
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_55
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_53
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_52

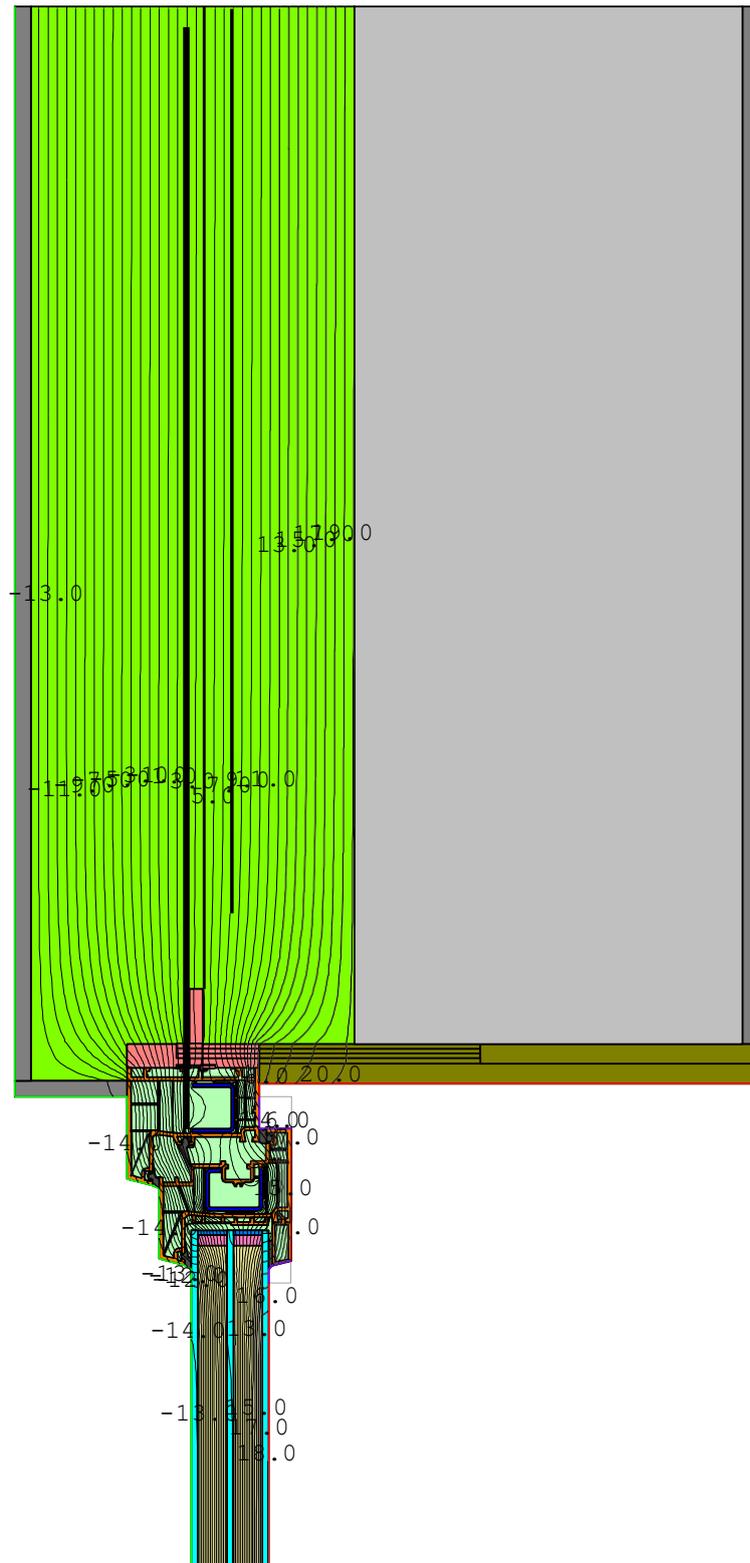
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_50
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_49
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_48
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_47
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_44
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_43
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_42
	0.022	soojustus 0022
	1.000	Krohv
	0.250	Kipsplaat
	0.045	Montaazivaht
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_154



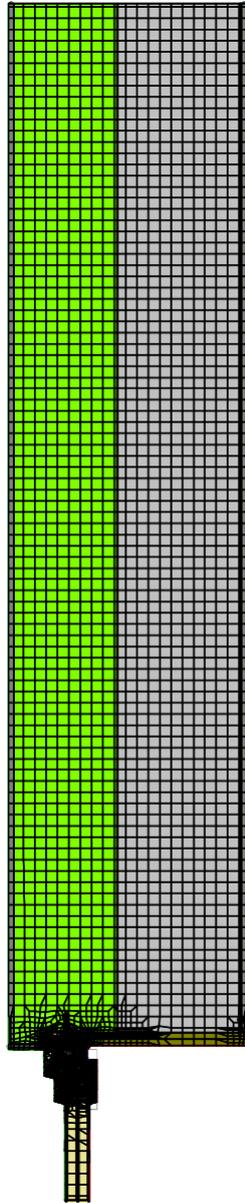
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

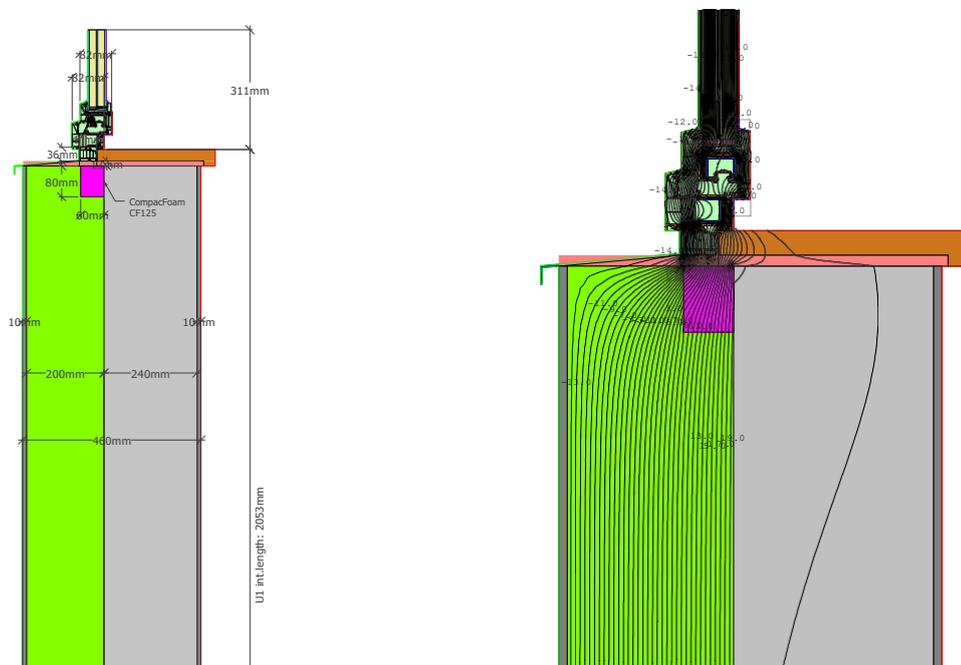
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v03al-PVCpp-CF60x80mm-15032020-05JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0574 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.737 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.544 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	8822 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000024 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.627	19.985	0.555
interior-BC	2.718	19.985	0.555

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.053	0.000	0.219	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

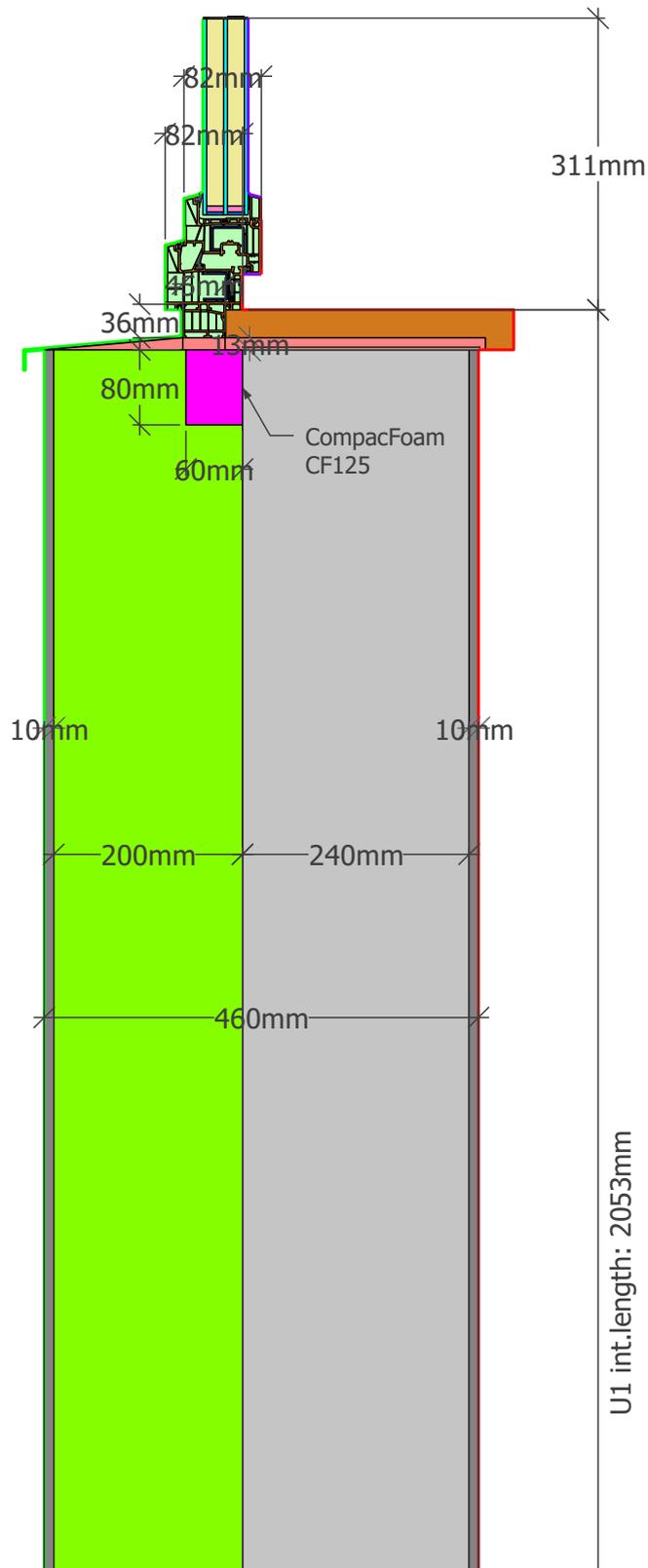
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

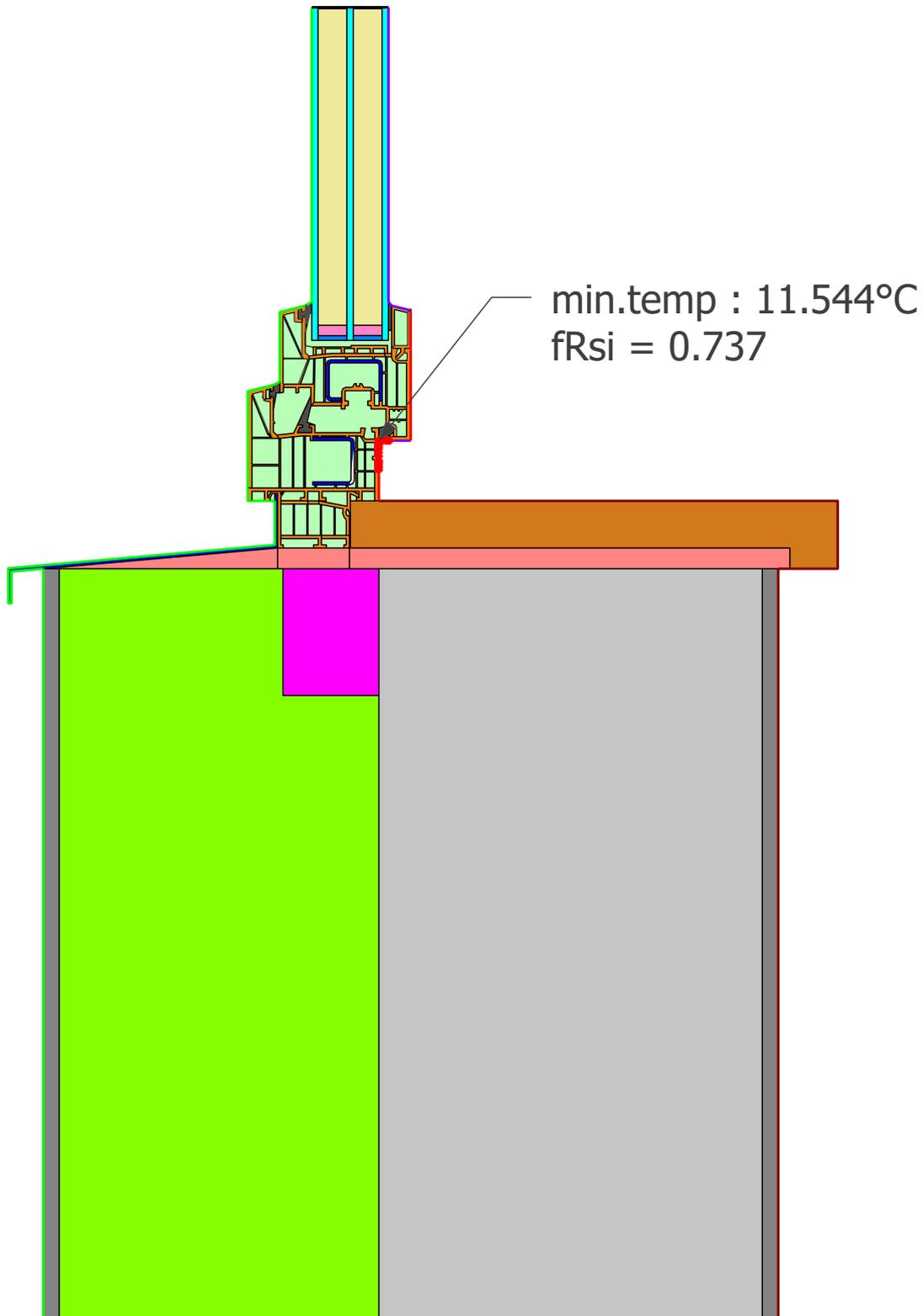
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_212
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_211
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_209
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_208
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_207
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_205
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_201
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_199
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_198
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_195
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_194
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_193
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_191
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_187
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_185
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_184
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_183
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_182
	0.140	Swisspacer Ultimate h2

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_180
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_179
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_176
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_172
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_171
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_170
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_167
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_166
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_160
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_157
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_150
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_146
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_128
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_119
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_102
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_8

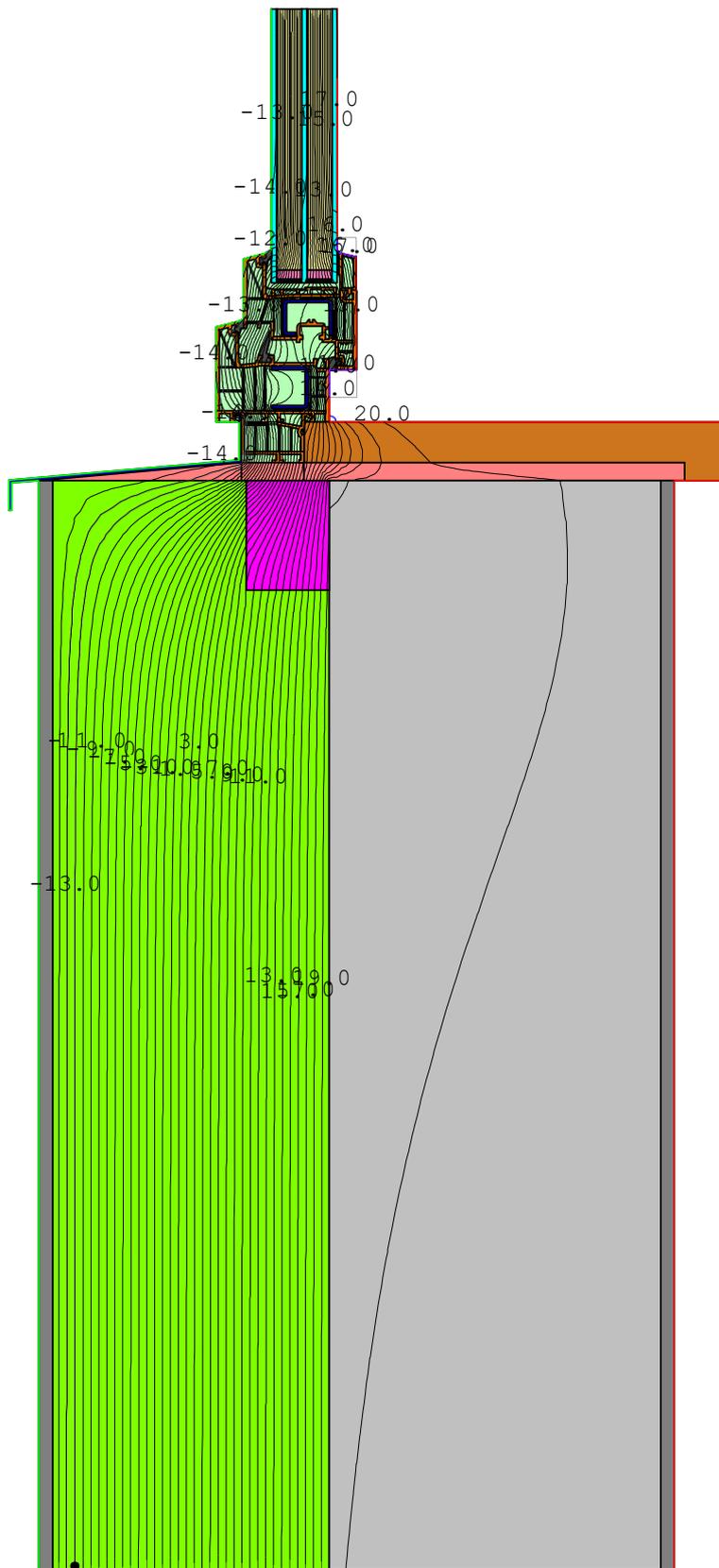
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.50	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_15
	0.51	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_16
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_18
	0.088	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_21
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_22
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_44
	0.130	Puit
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_68
	0.045	Montaazivaht
	0.022	soojustus 0022
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_106
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_113
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.041	CompacFoam akna paigaldusprofiil
	1.000	Krohv
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_220
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_221
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_222
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_19
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_206
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_258
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_223



Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)

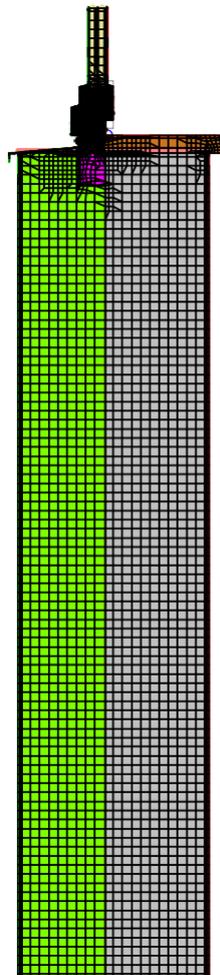


Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel

VBHEstonia-KF200-v03a1-PVCpp-CF60x80mm-15032020-05JH.Tbifm Version 7.6.1.0 (1 of 1)



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

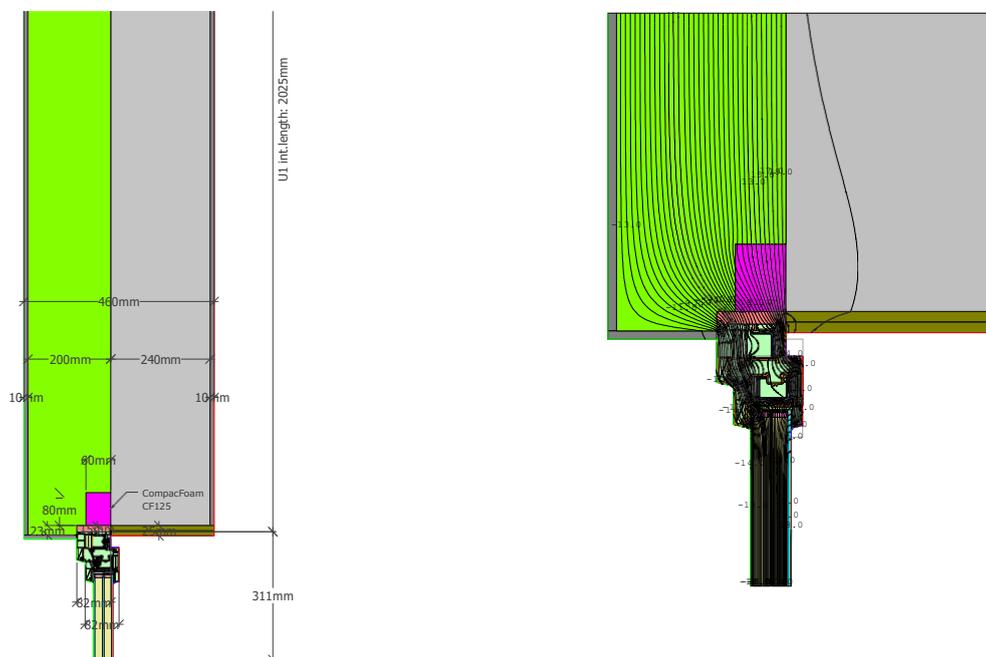
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmodeli nimi	VBHEstonia-KF200-v03yl-CF60x80mm-15032020-06JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus int , sisemõõdudega	0.0163 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.763 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.468 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	62163 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000015 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.494	18.369	0.510
interior-BC	2.616	18.369	0.510

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.025	0.000	0.216	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

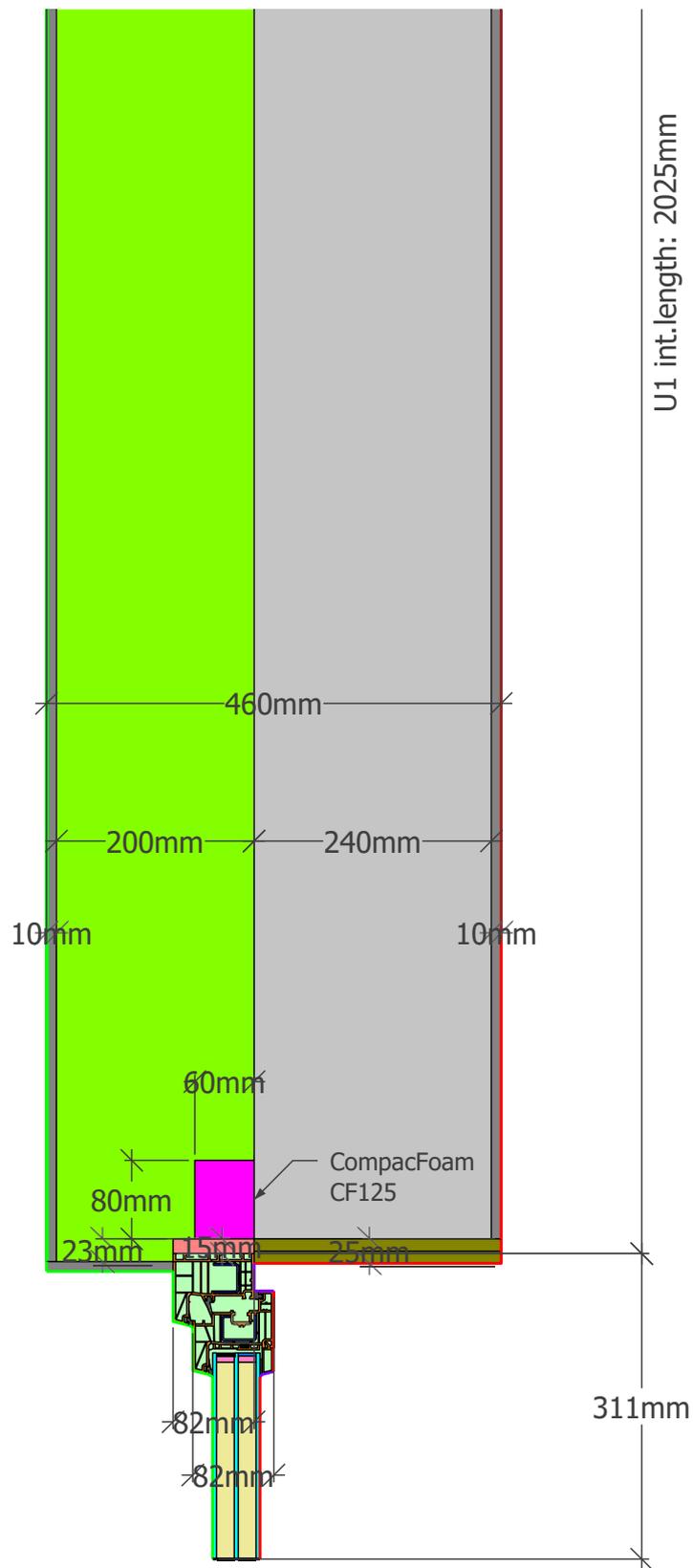
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

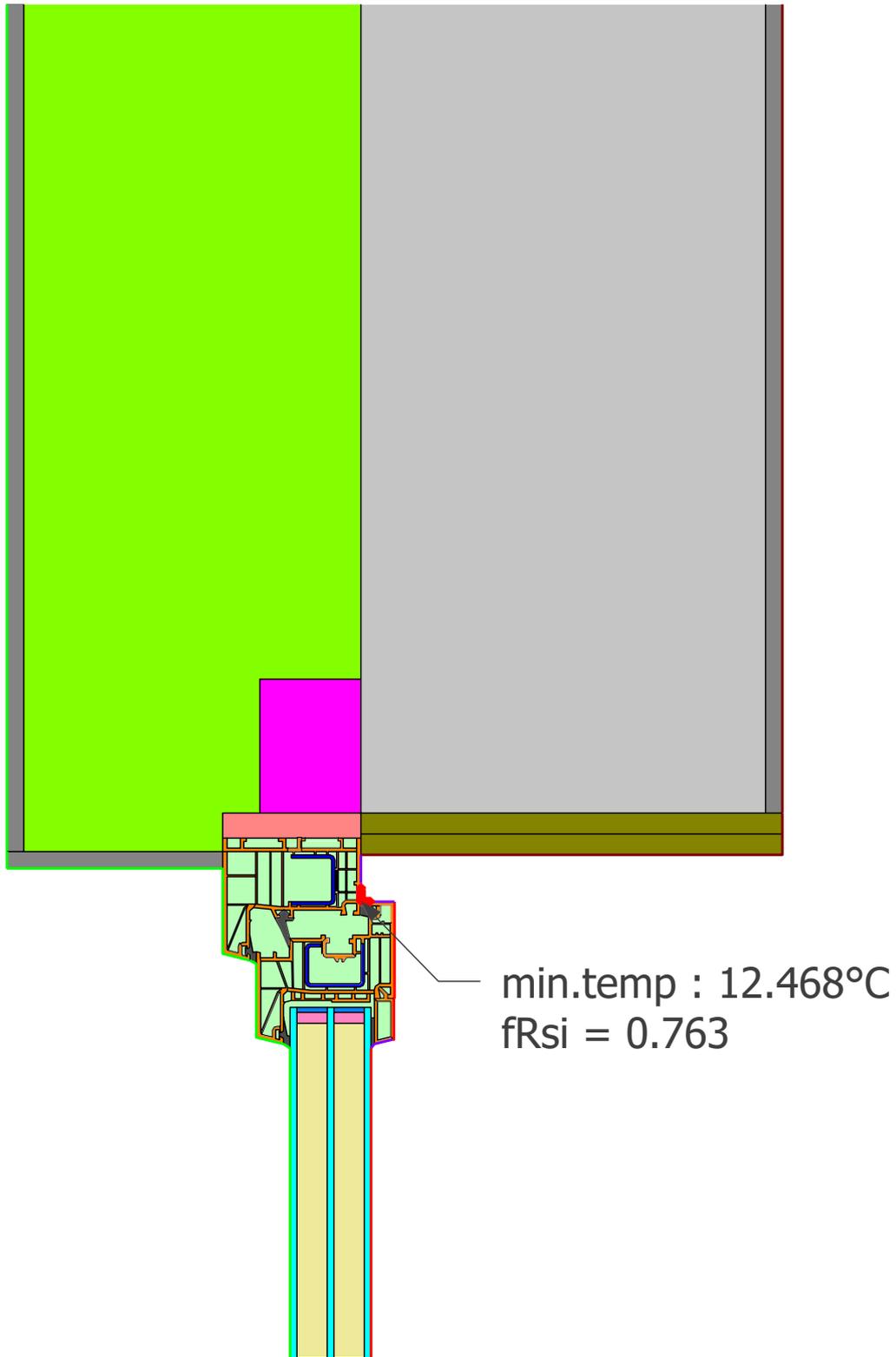
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_181
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_178
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_176
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_175
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_174
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_171
	0.068	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_165
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_164
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_163
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_162
	0.40	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_160
	0.41	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_159
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_158
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_157
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_156
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_155
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_154
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_151

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.46	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.47	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_144
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_138
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_132
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_119
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_103
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_102
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_101
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_98
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_92
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_89
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_88
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_86
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_84

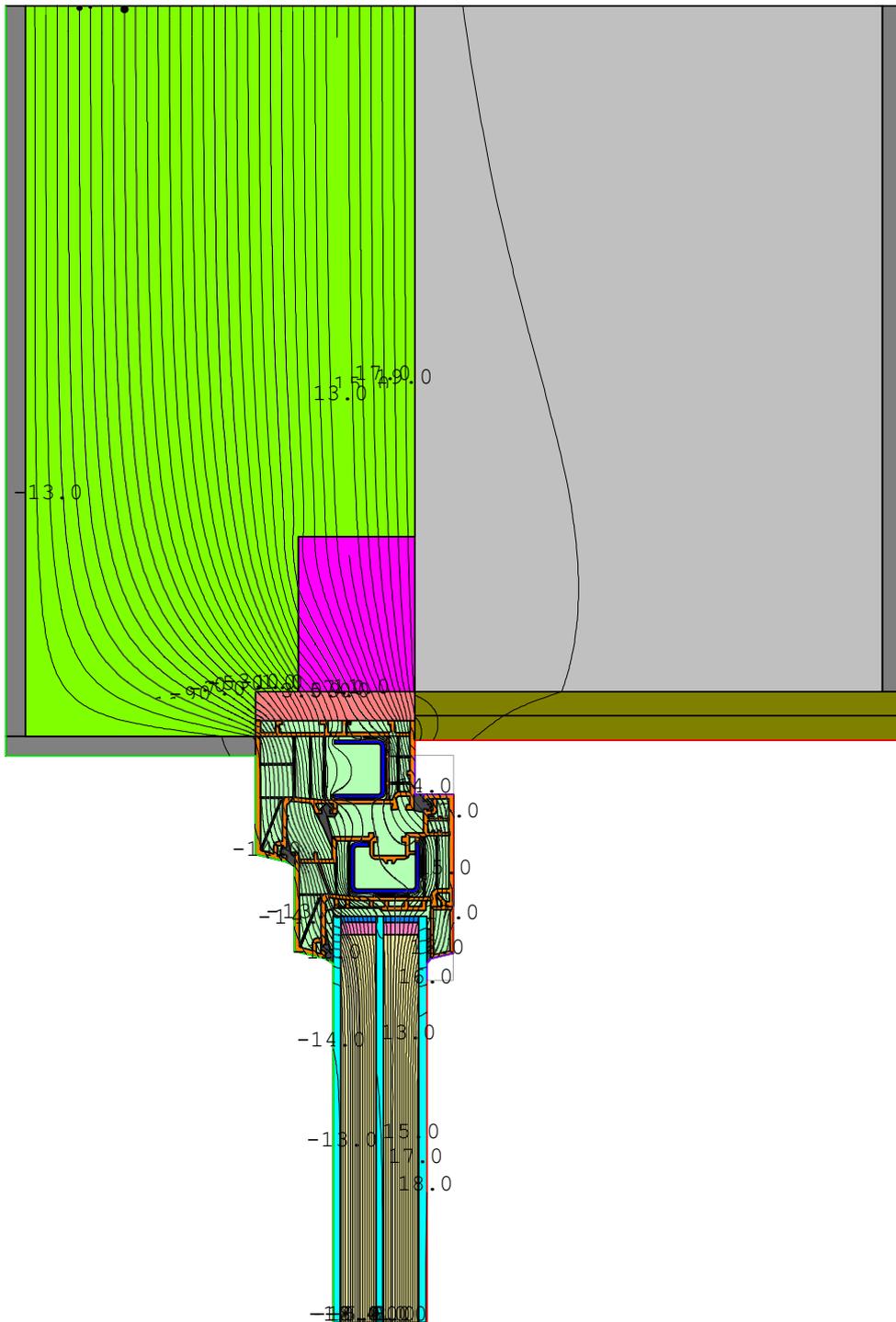
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.83
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.81
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.80
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.79
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.78
	0.100	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.75
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.74
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.73
	1.000	Krohv
	0.045	Montaazivaht
	0.250	Kipsplaat
	0.041	CompacFoam akna paigaldusprofiil
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.022	soojustus 0022



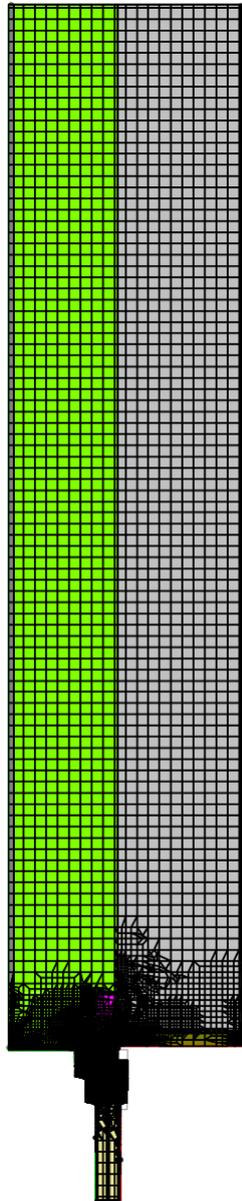
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

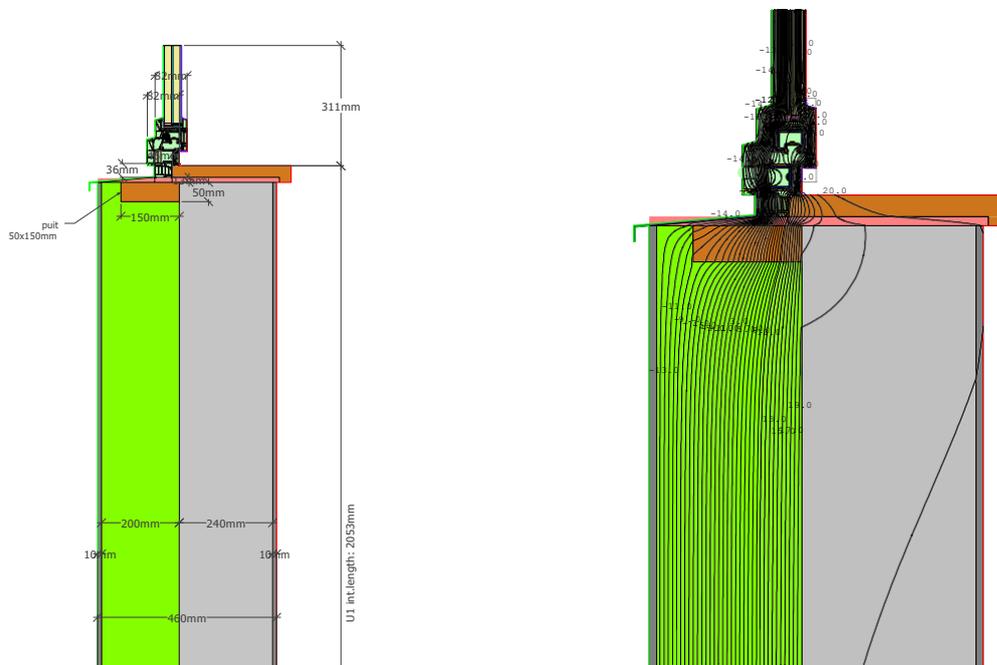
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v04al-PVCpp-puit50x150mm-15032020-07JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int, sisemõõdudega</i>	0.0909 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.738 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.583 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	20219 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000042 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.627	21.192	0.589
interior-BC	2.718	21.192	0.589

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.053	0.000	0.219	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

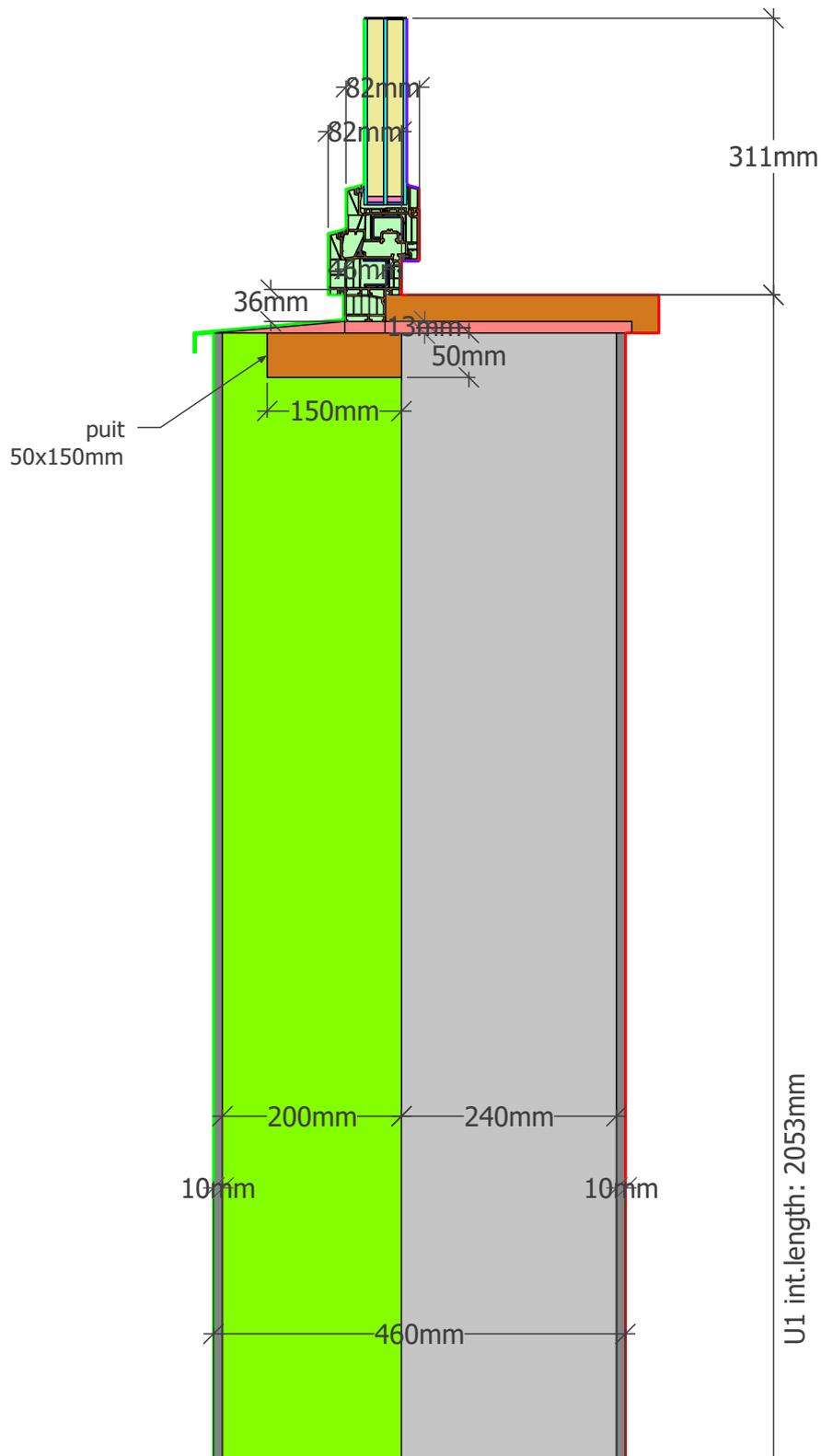
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

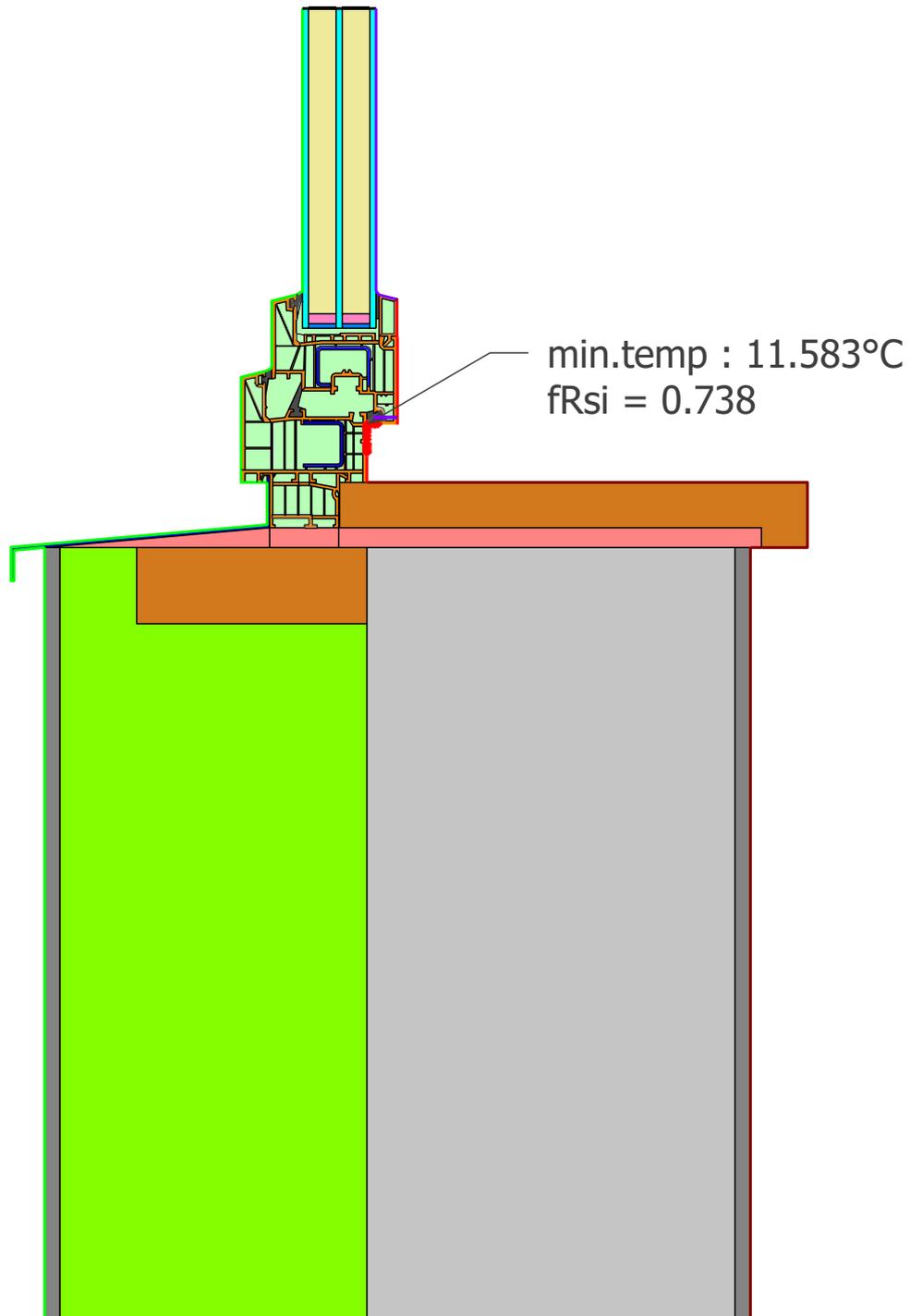
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_219
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_218
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_217
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_216
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_215
	0.043	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_214
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_213
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_209
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_207
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_206
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_203
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_202
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_201
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_199
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_195
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_193
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_192
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_191
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_190

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_188
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_187
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_184
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_183
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_180
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_179
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_178
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_175
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_174
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_168
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_160
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_159
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_158
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_157
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_155
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_154
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_150
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_146
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_135
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_131
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_128
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117

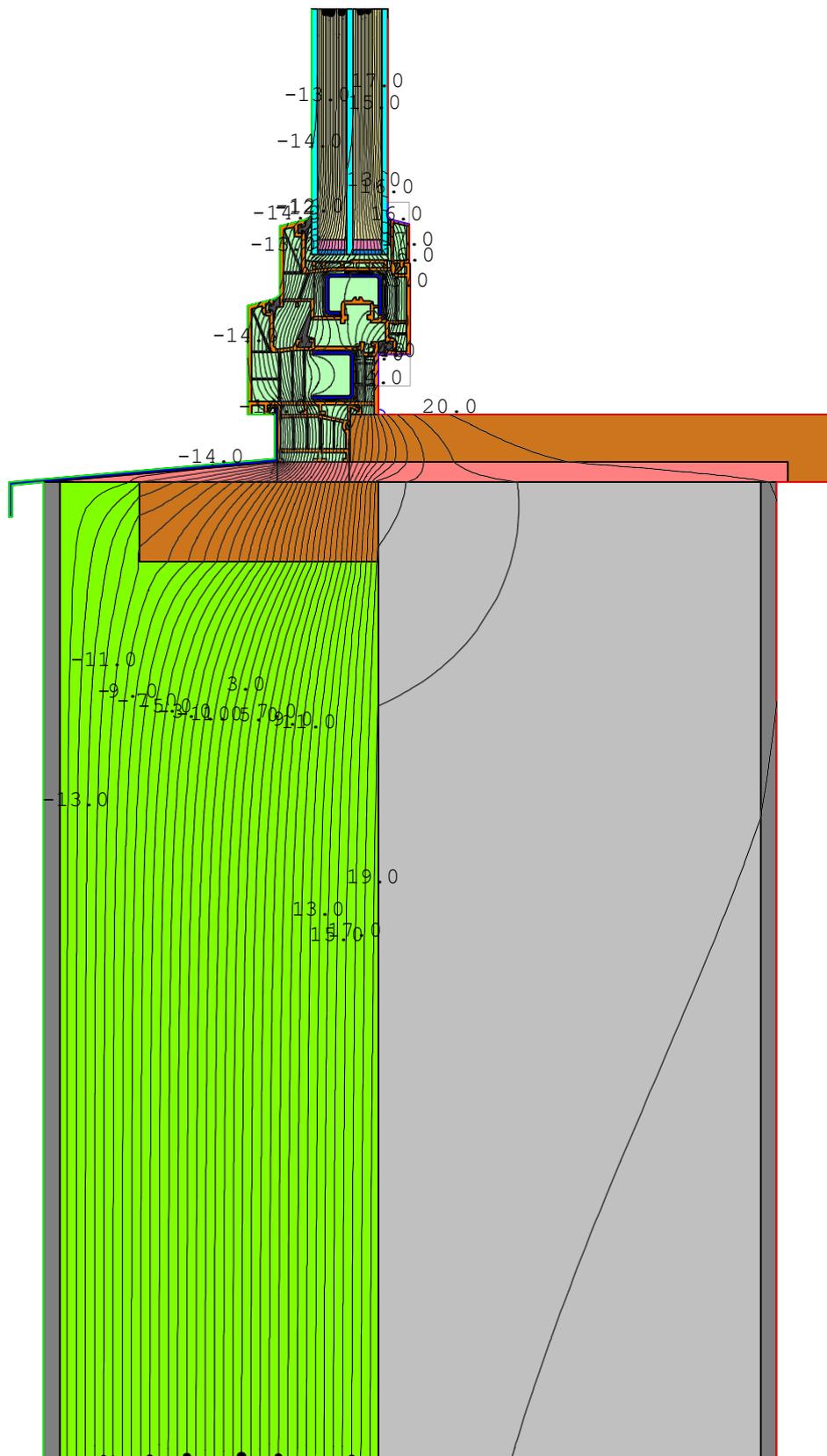
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_8
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.45	Montaazivaht
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_28
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_29
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_38
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_45
	0.50	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_52
	0.51	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_53
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_54
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_55
	0.088	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_57
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_58
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_59
	0.075	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_81
	0.130	Puit
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_102
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.022	soojustus 0022
	1.000	Krohv
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_51



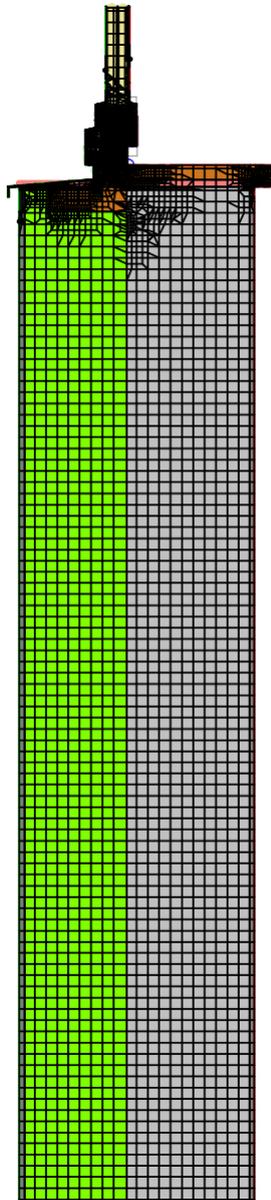
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fR_{si} arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fR_{si} indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal $fR_{si} < 0.8$ on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

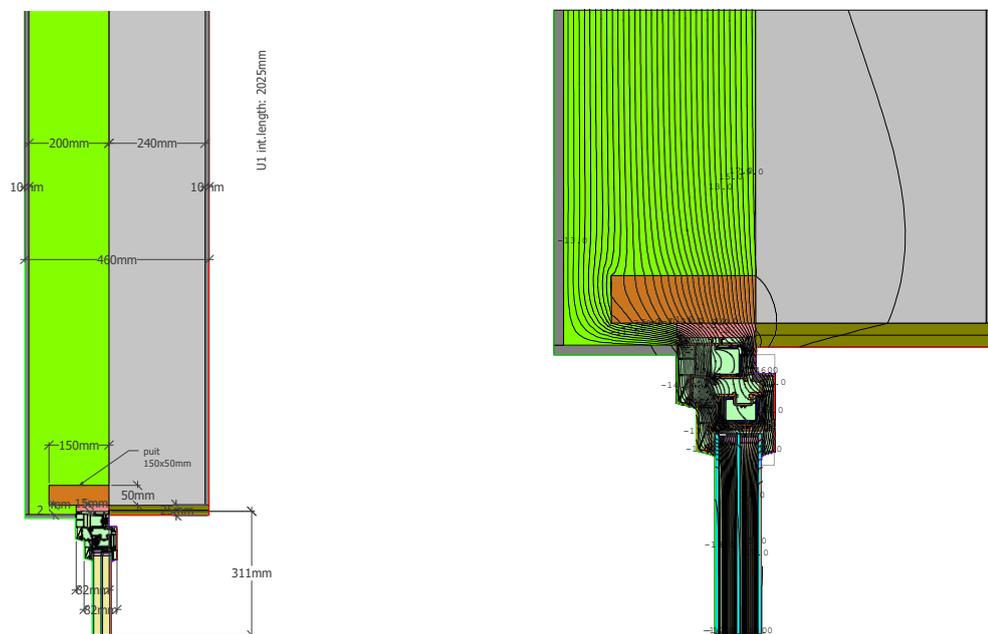
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v04yl-puit50x150mm-15032020-08JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõdulega	0.0393 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.766 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.576 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	7782 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000004 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.494	19.195	0.533
interior-BC	2.616	19.195	0.533

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.025	0.000	0.216	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

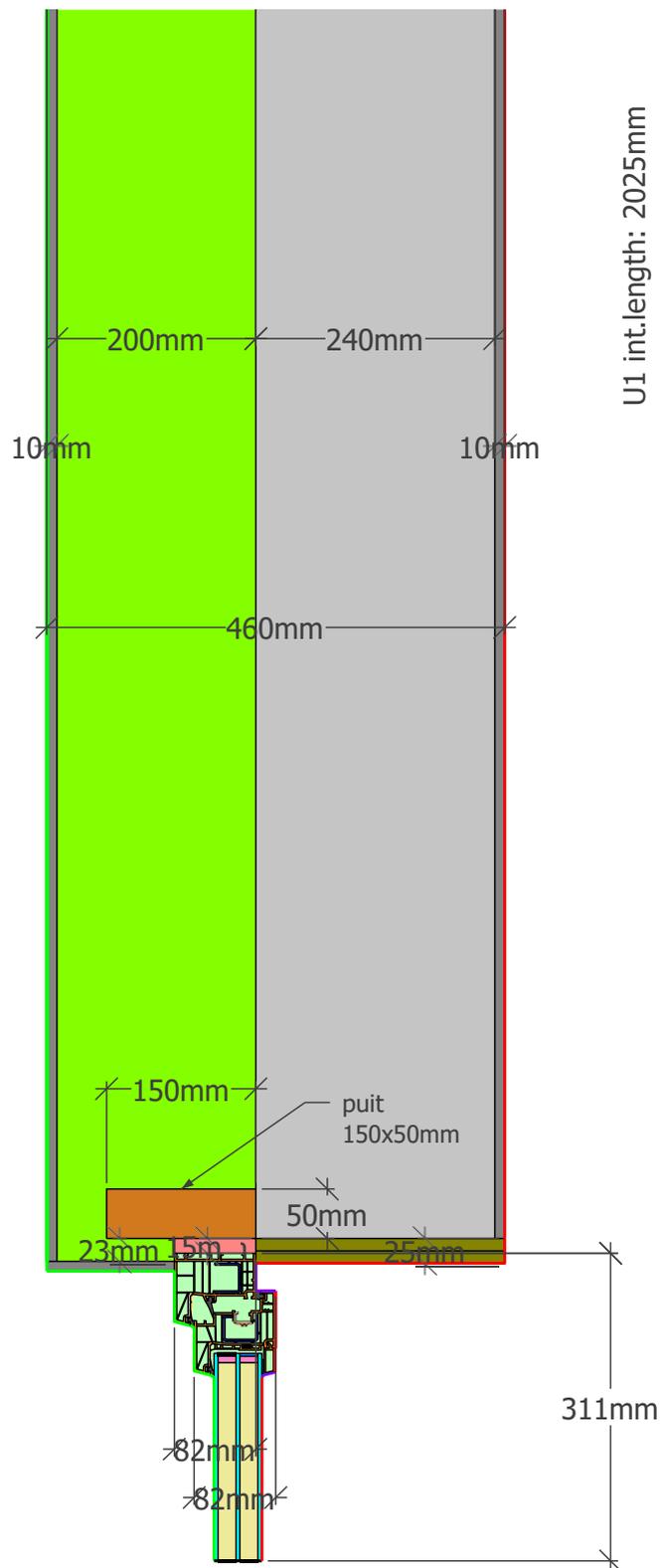
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

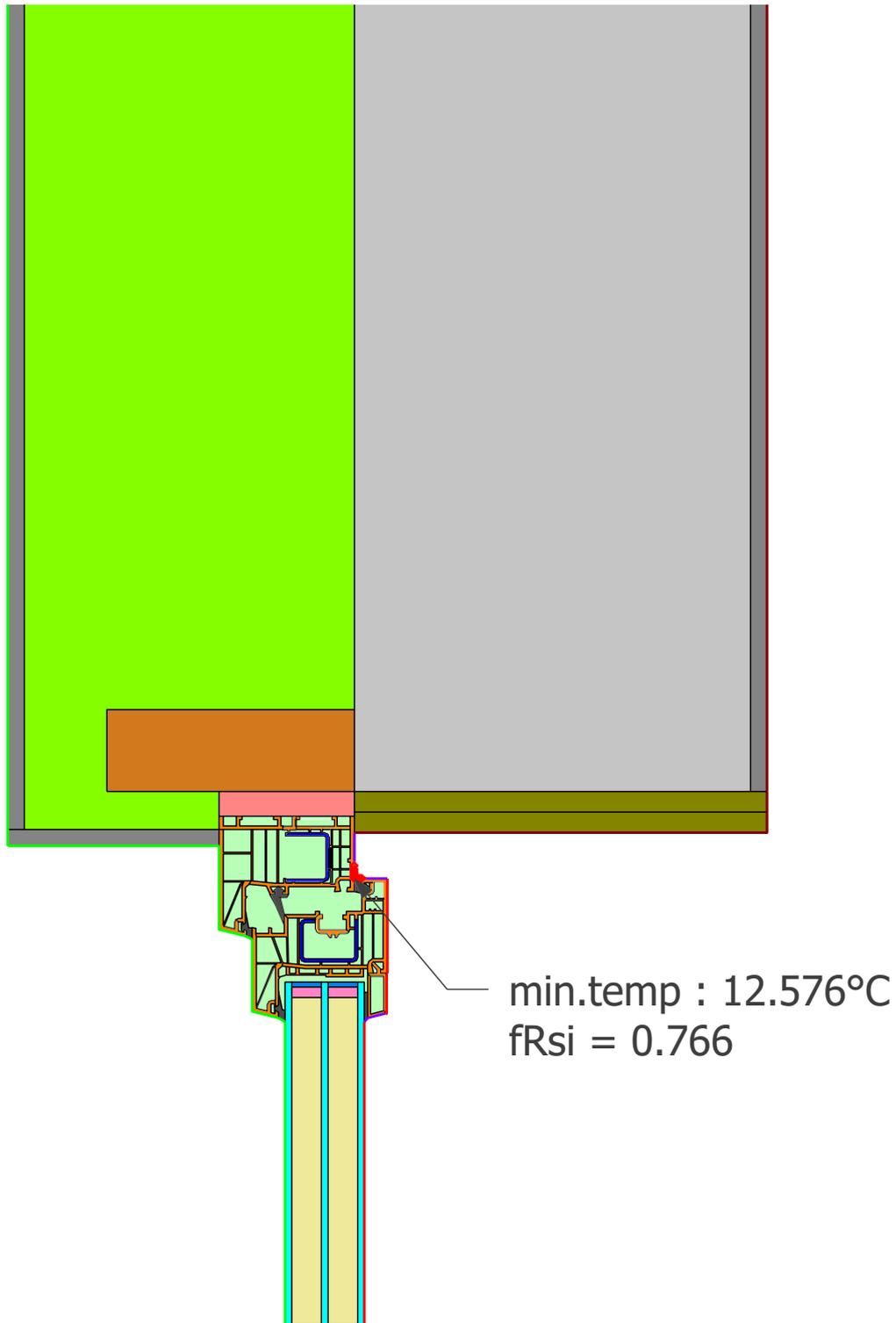
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_188
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_185
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_183
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_182
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_181
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_178
	0.068	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_172
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_171
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_170
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_169
	0.40	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_167
	0.41	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_166
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_165
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_164
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_163
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_162
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_161
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_158

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.46	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.47	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_155
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_154
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_150
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_113
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_106
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_104
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_103
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_100
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_98
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_92
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_88
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_84
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_83
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_82
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_79
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_77
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_76
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_75
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_72
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_63
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_62
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_61
	0.094	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_60
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_58

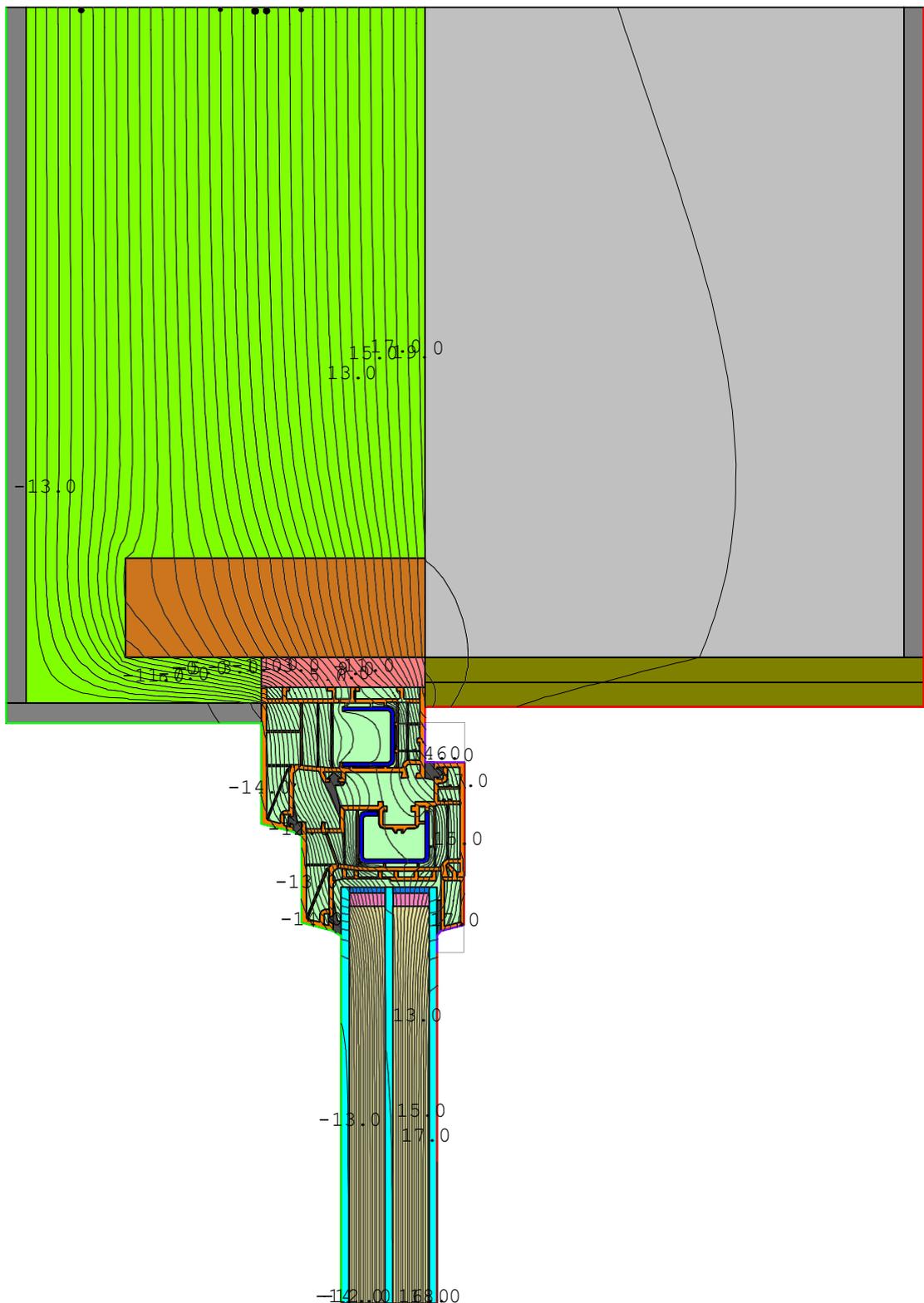
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_57
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_54
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_53
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_52
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_51
	0.100	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_48
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_47
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_46
	0.045	Montaazivaht
	1.000	Krohv
	0.250	Kipsplaat
	0.022	soojustus 0022
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	0.130	Puit



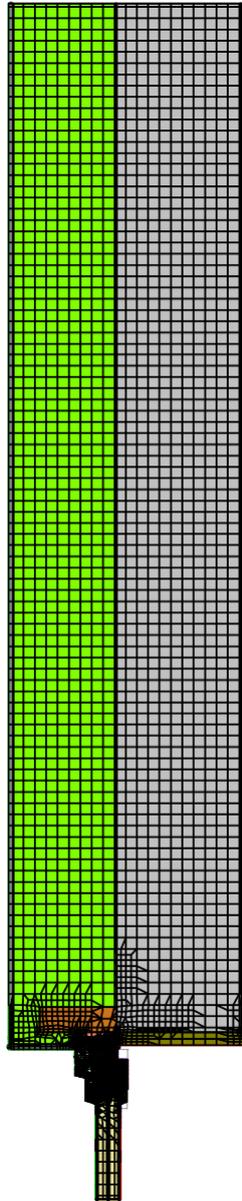
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmodeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi <0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

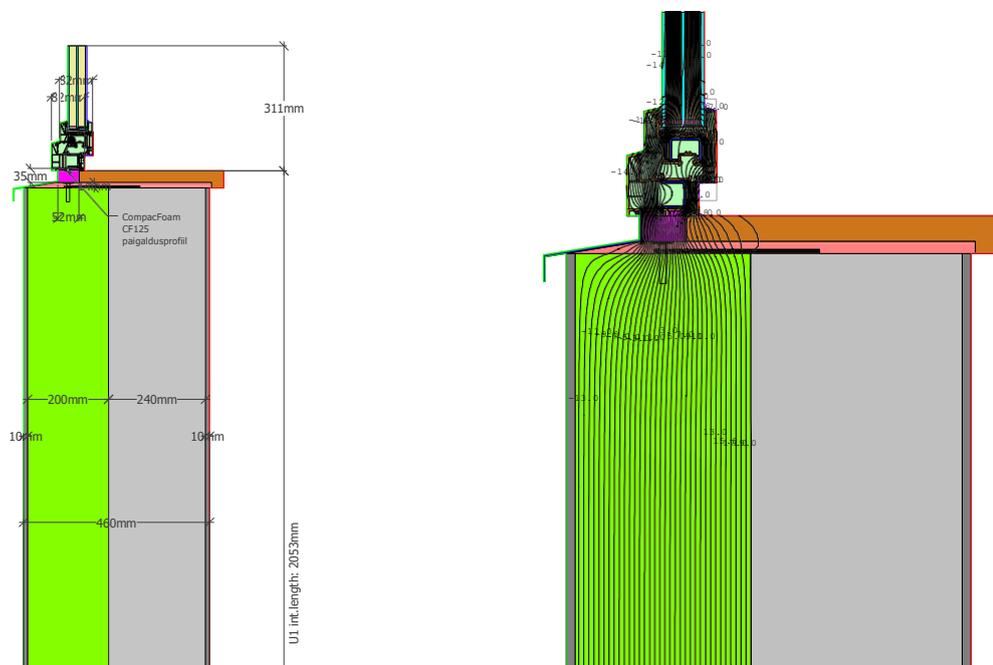
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Pakkumus Talltech.docx, JB-D50 - 40-AM8-T 1172634.dxf, JB-D100-40-AM8-10.1172637.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-KF200-v05al-CFpp-SFS-JBD100siin-15032020-09JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0261 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.740 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.654 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	8451 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000019 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.586	18.858	0.524
interior-BC	2.773	18.858	0.524

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.106	2.053	0.000	0.219	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

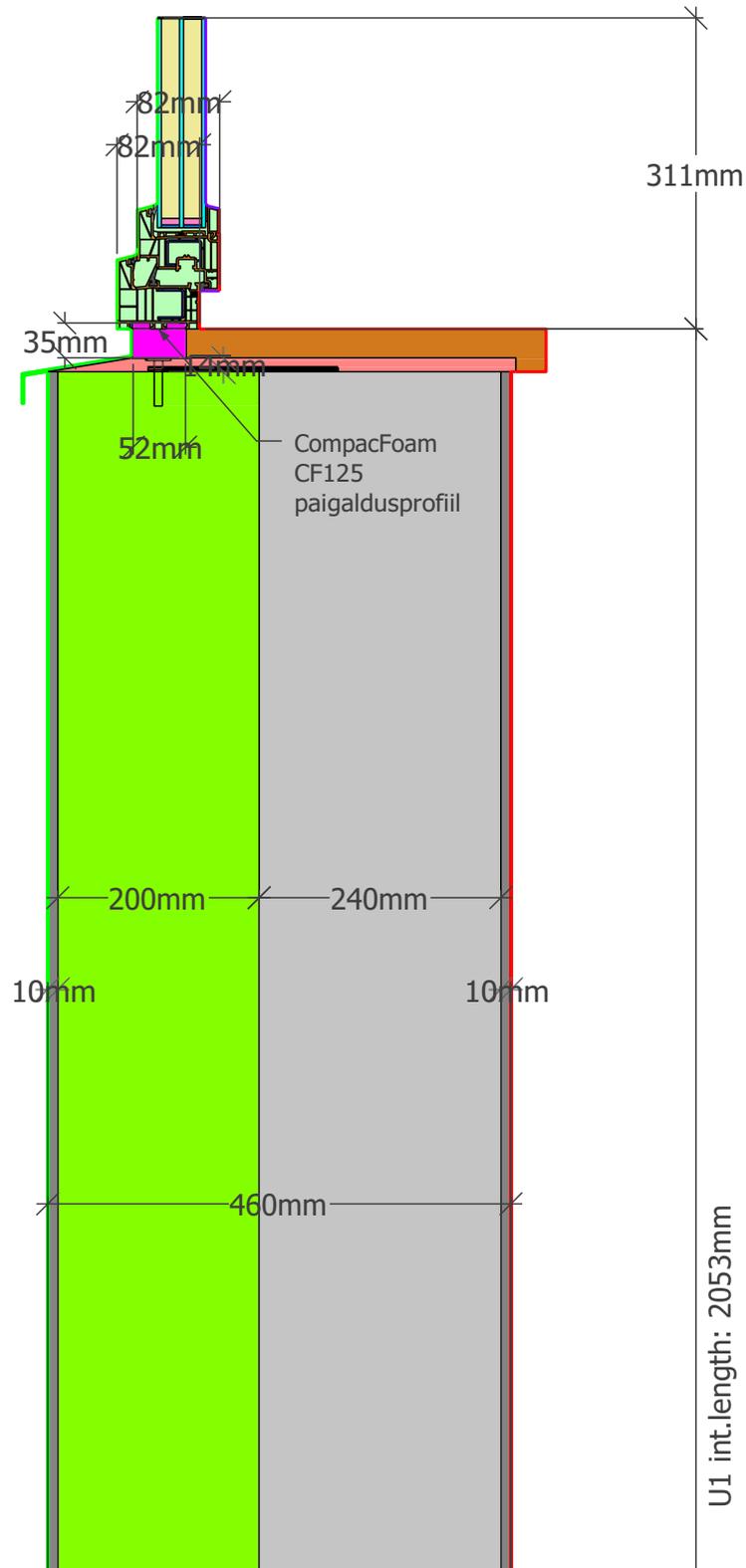
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

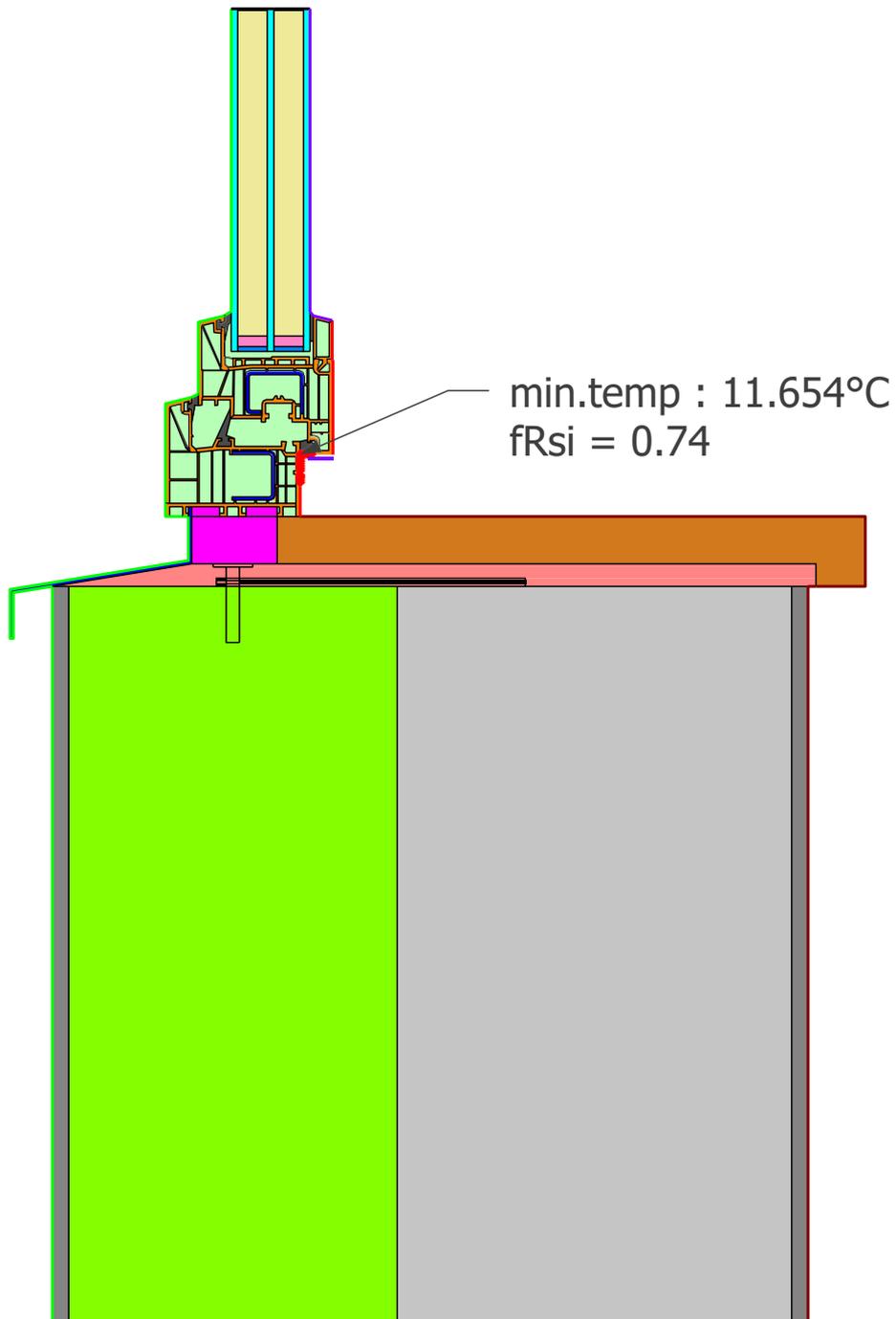
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_206
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_205
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_204
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_203
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_202
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_201
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_200
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_196
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_194
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_193
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_190
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_189
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_188
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_186
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_182
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_180
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_179
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_178
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_177

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_175
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_174
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_171
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_170
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_167
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_166
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_162
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_161
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_155
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_146
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_144
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_140
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_135
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_114
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_111
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_107
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_106
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_69
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66

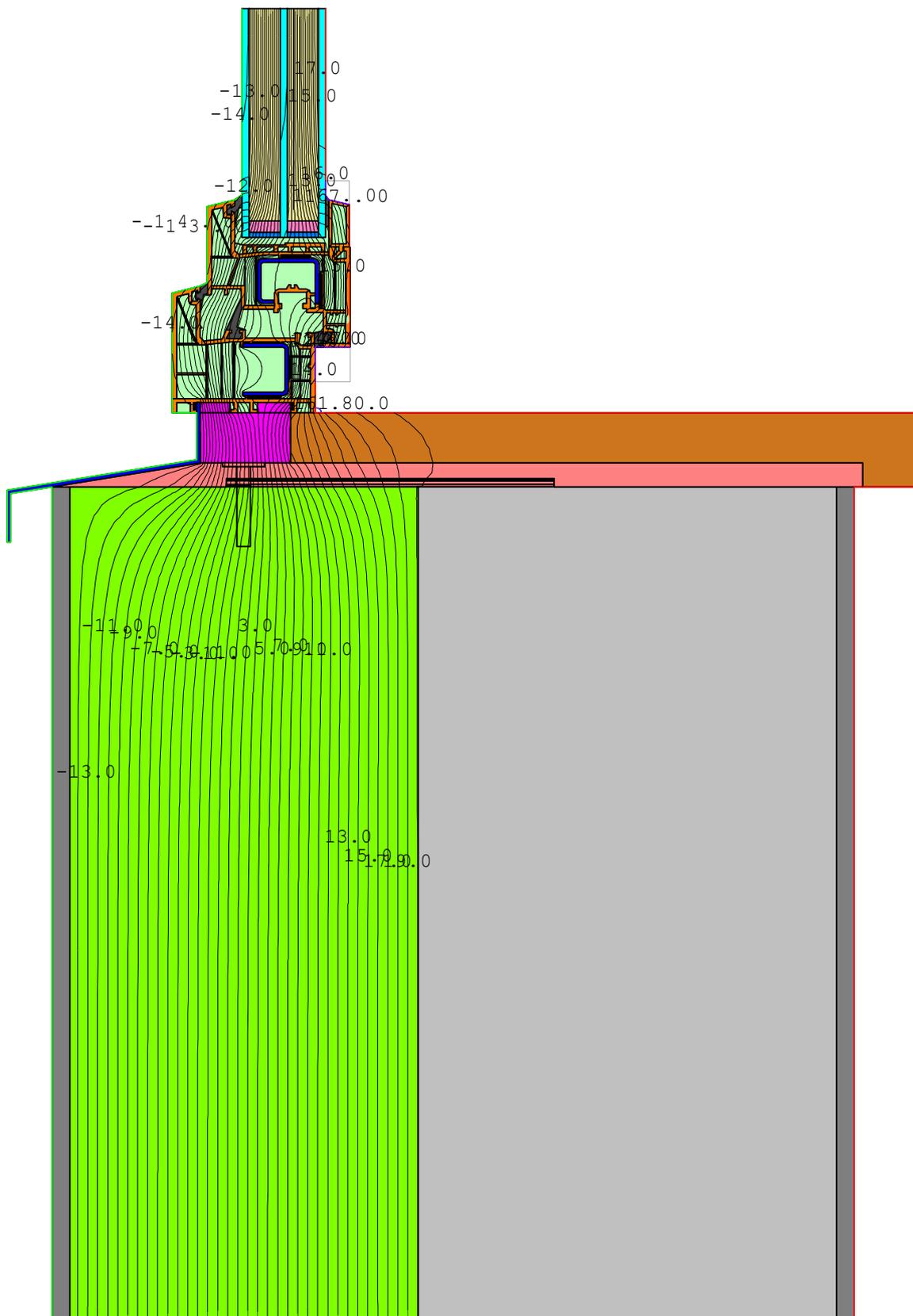
Värv	A(W/mK)	Materiali nimetus
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_64
	0.045	Montaazivaht
	0.022	soojustus 0022
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_43
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_51
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_95
	2.100	Columbia kivi (betoneeritud)
	1.000	Krohv
	0.040	CompacFoam akna paigaldusprofiil
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_121
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_122
	0.130	Puit



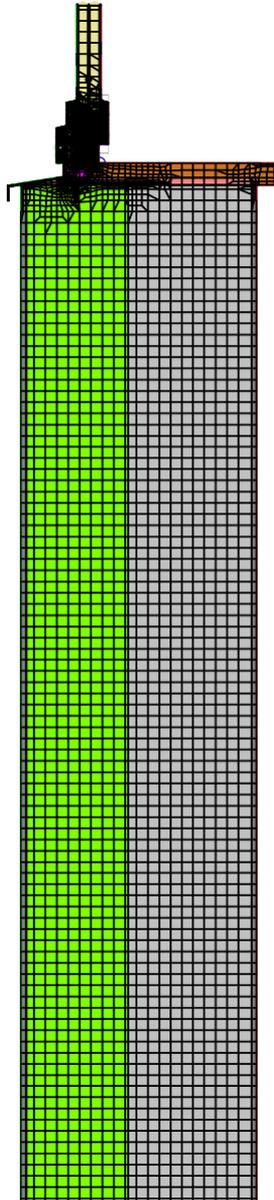
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

Lisa 2. RB-paneelist välisseina ja PVC akna liitumise külmasillaanalüüsi aruanded

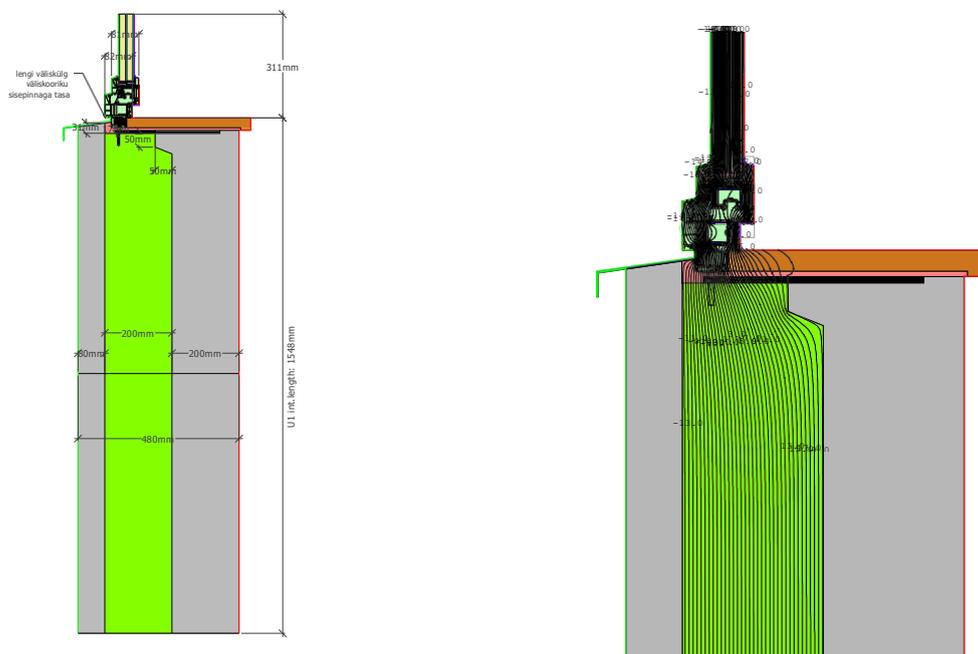
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v01al-PVCpp-SFS-JBD200siin-15032020-10JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõdudega	0.0411 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.732 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.365 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	9990 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000027 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.142	17.469	0.485
interior-BC	2.277	17.469	0.485

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.548	0.000	0.165	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

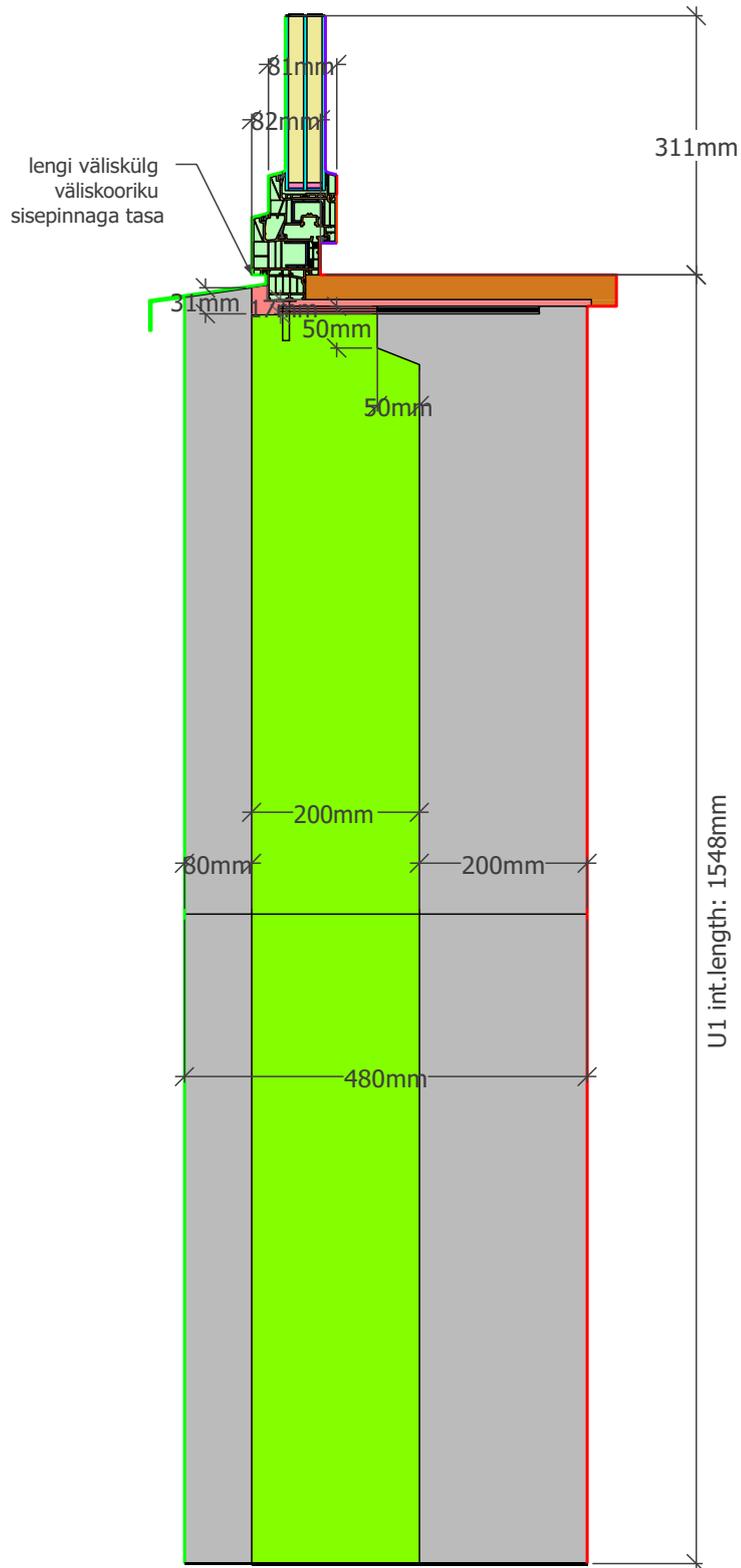
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

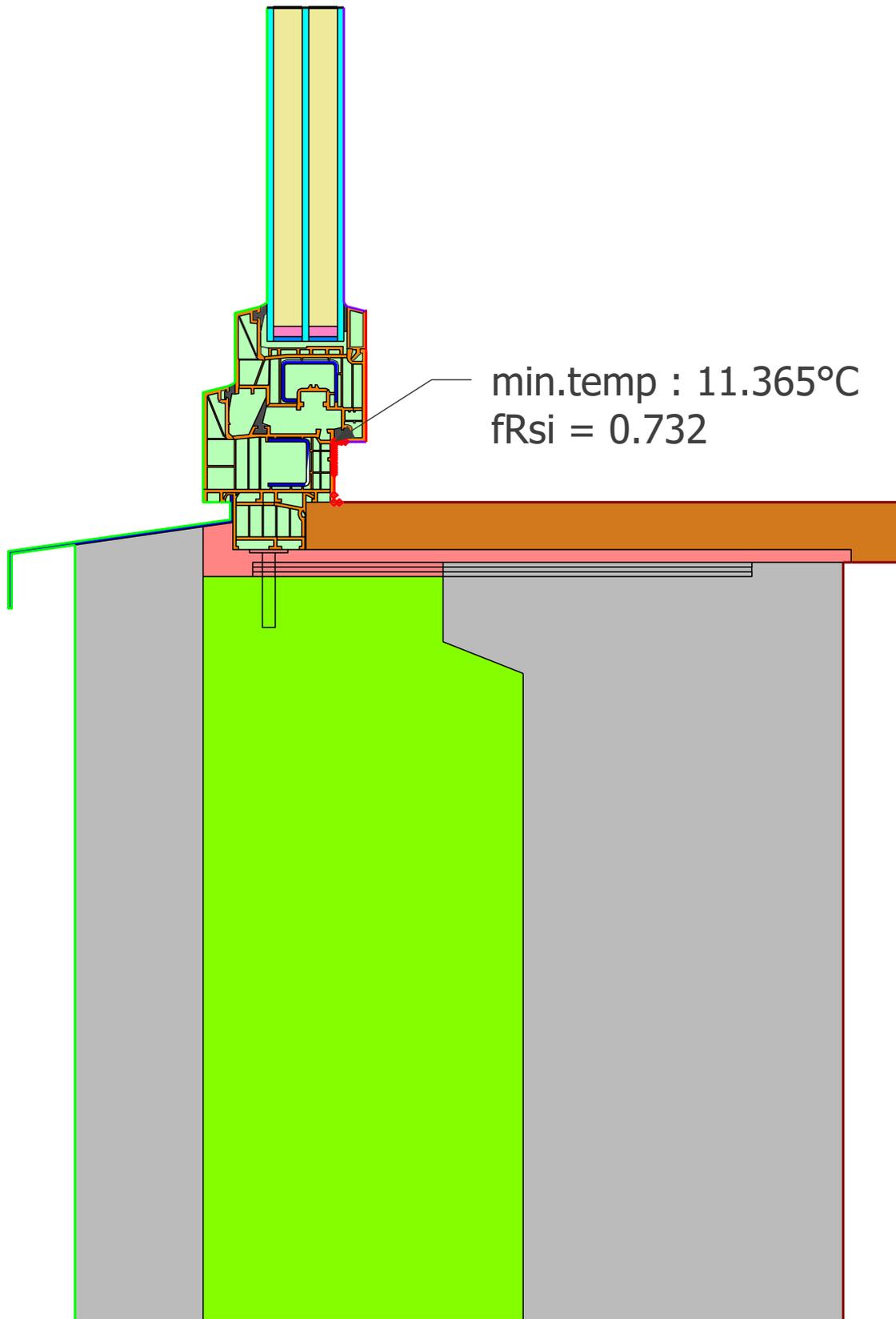
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.234
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.233
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.232
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.231
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.230
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.229
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.228
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.224
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.222
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.221
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.218
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.217
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.216
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.214
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.210
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.208
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.207
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.206
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.205

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_203
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_202
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_199
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_198
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_195
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_194
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_193
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_190
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_189
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_183
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_180
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_175
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_174
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_173
	0.051	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_172
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_171
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_170
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_169
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_168
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_163
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_161
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_157
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_150
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_146
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126

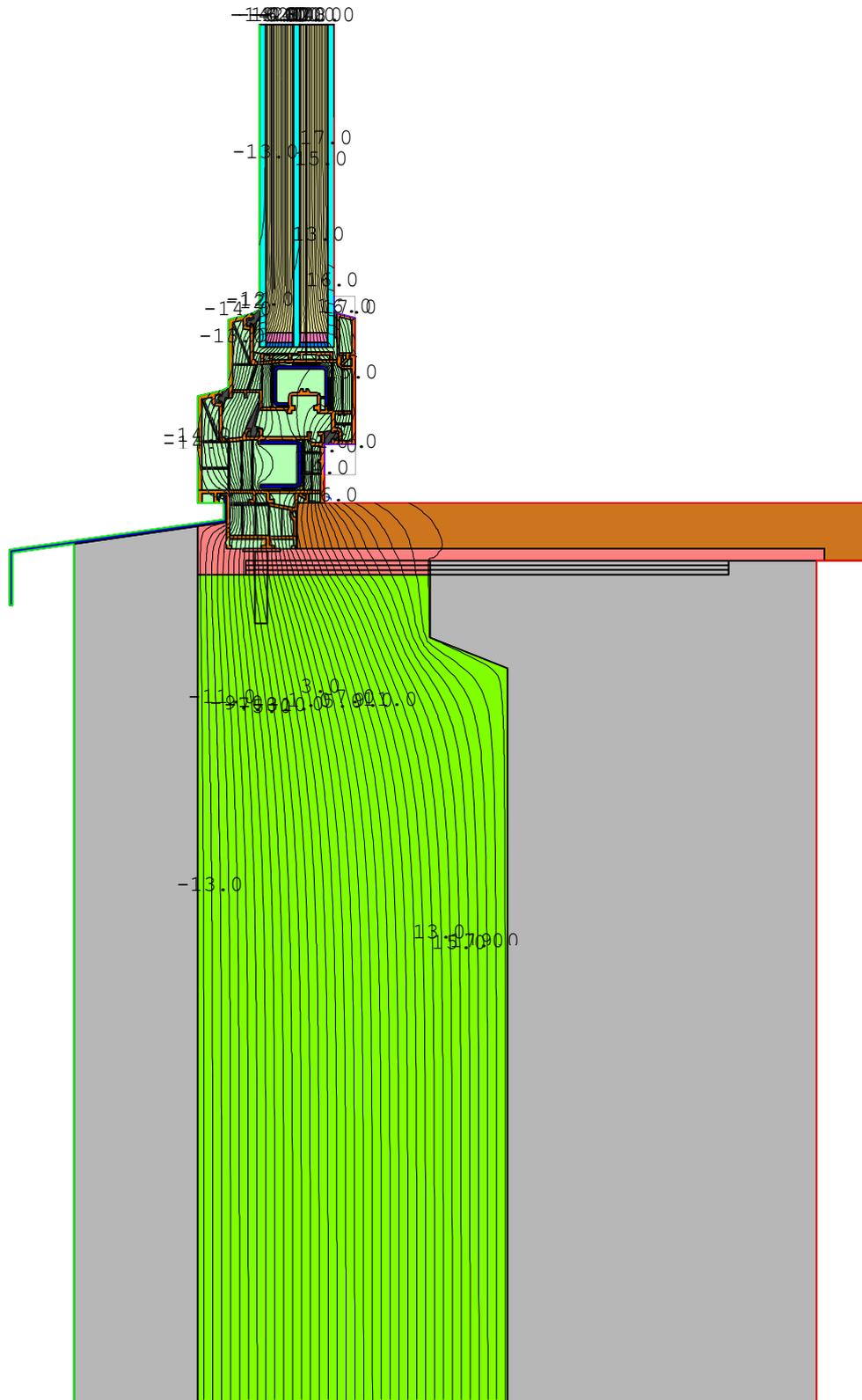
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_124
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.045	Montaazivaht
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_19
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_20
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_29
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_30
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_31
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_32
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_33
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_34
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_35
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_36
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_38
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_52
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_53
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_127
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_138
	0.074	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_139
	0.130	Puit
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_154



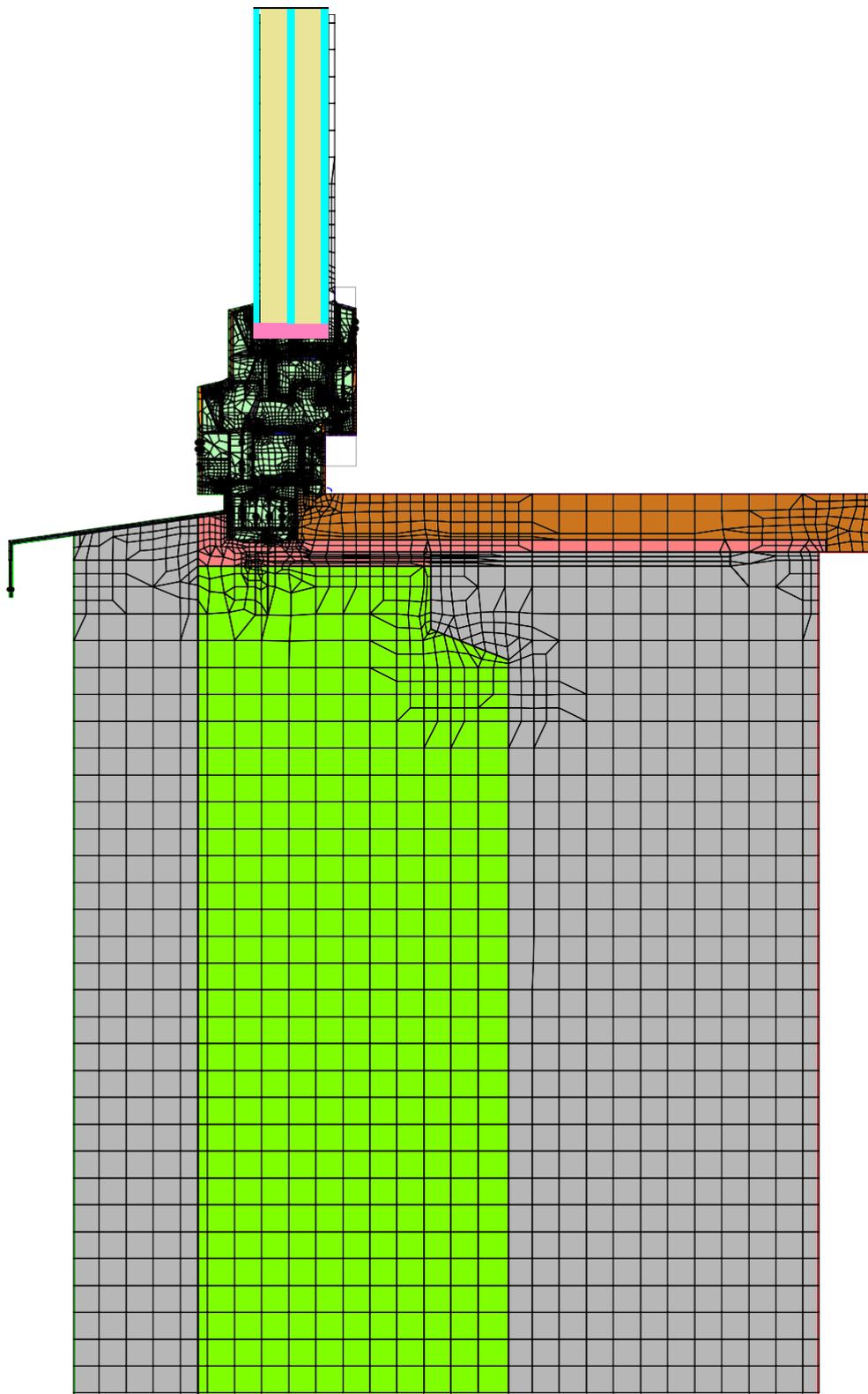
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

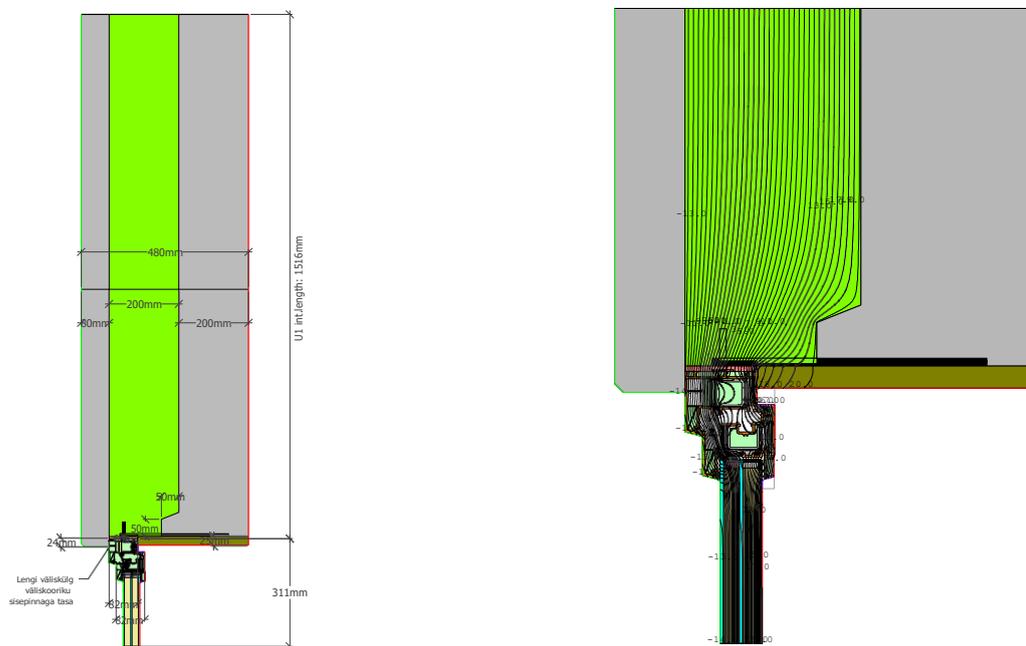
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v01yl-SFS-JBD200siin-15032020-11JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõdulega	0.0097 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.742 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.699 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	63421 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000057 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	1.931	16.188	0.450
interior-BC	2.175	16.188	0.450

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.516	0.000	0.162	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

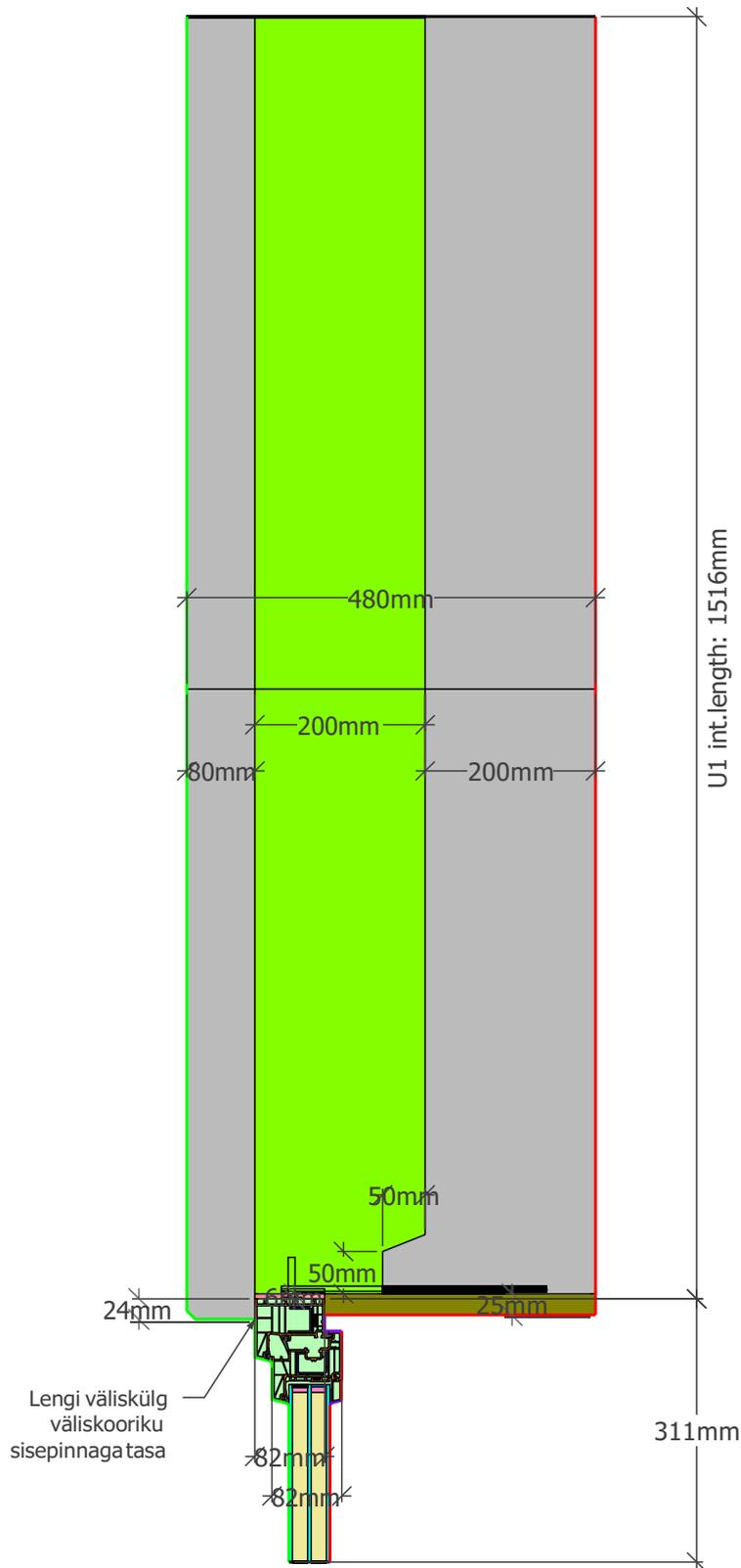
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

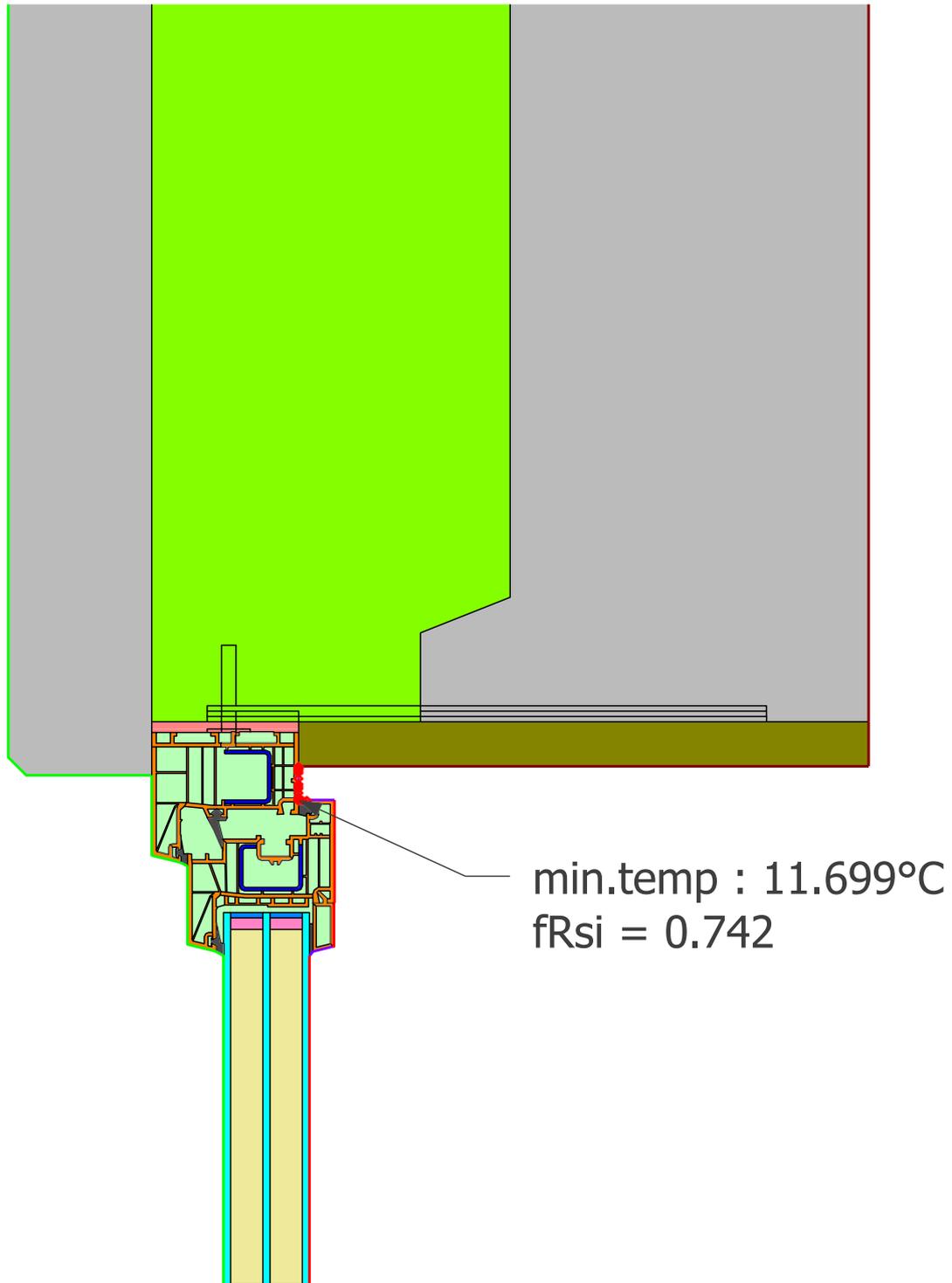
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.081	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_203
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_200
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_198
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_197
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_196
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_193
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_187
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_186
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_185
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_184
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_182
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_181
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_180
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_179
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_178
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_177
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_176
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_173

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_171
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_170
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_169
	0.066	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_167
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_166
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_160
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_159
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_154
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_146
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_126
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_114
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_111
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_104
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_102
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_101
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_100
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_98
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96

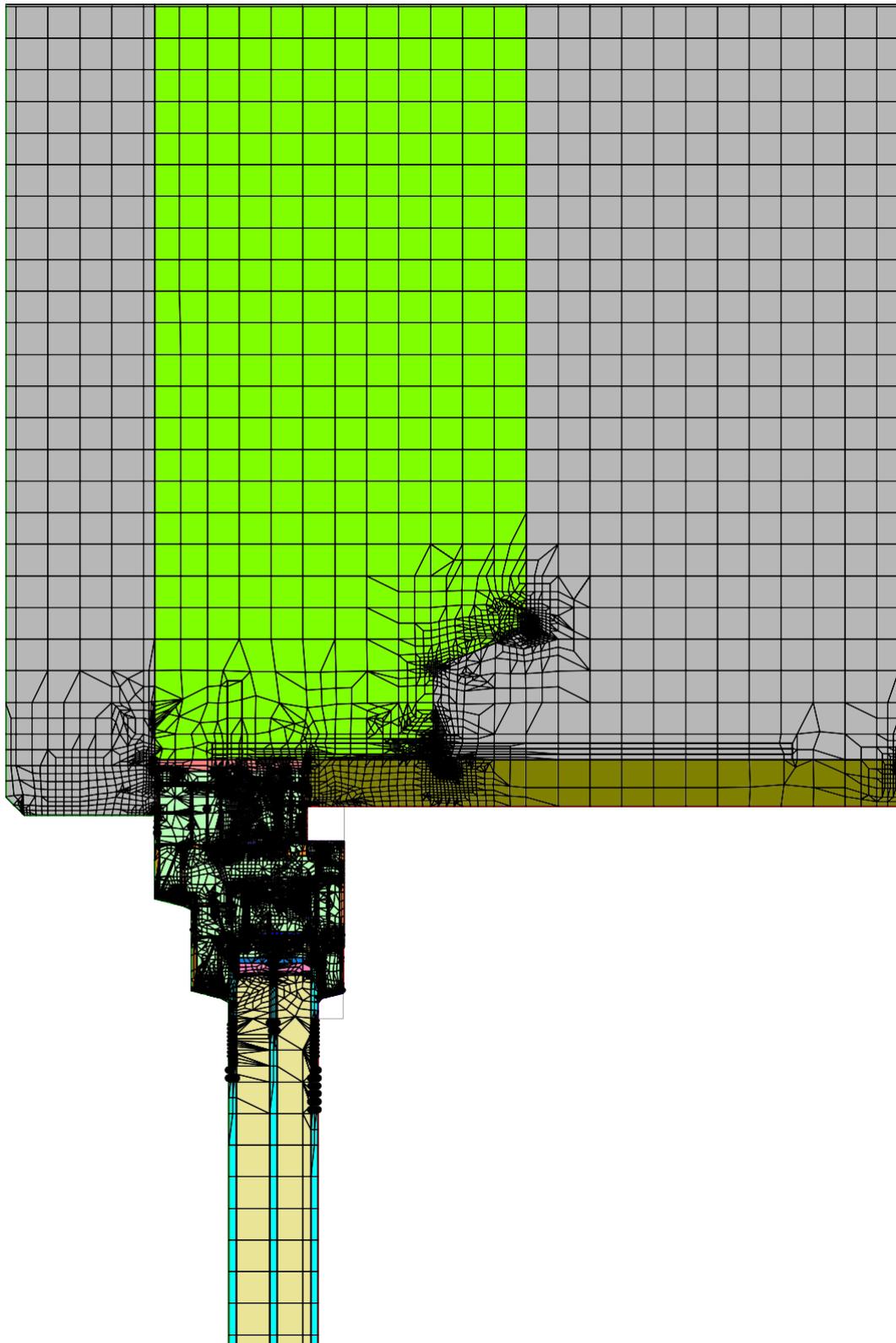
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_92
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_91
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_86
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_85
	0.022	soojustus 0022
	0.045	Montaazivaht
	2.300	Raudbetoon
	0.250	Kipsplaat



Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

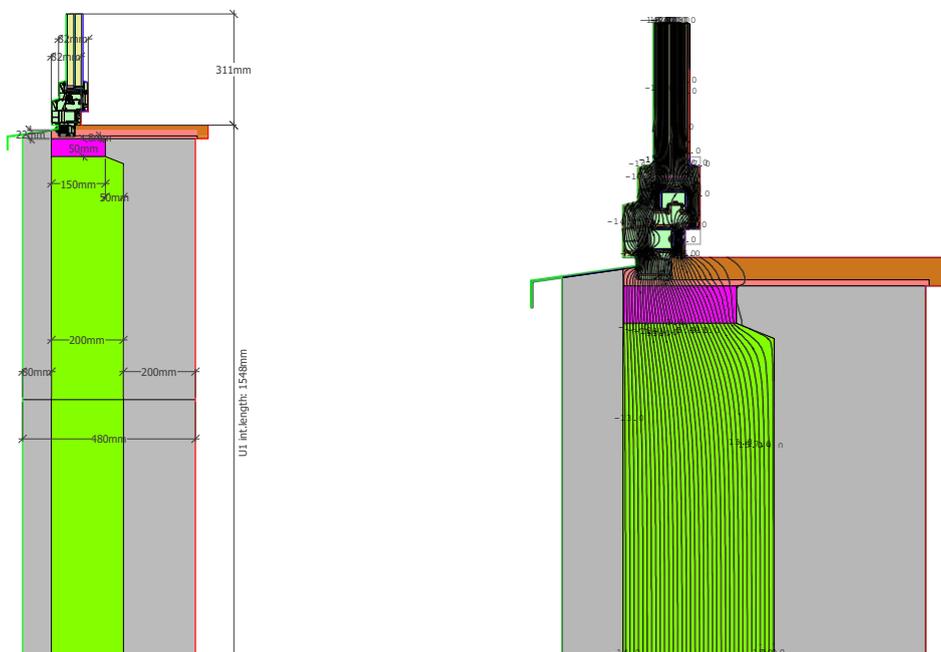
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v02al-PVCpp-CF50x150mm-15032020-12JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0456 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.732 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.357 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	9996 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000032 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.142	17.631	0.490
interior-BC	2.277	17.631	0.490

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.548	0.000	0.165	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

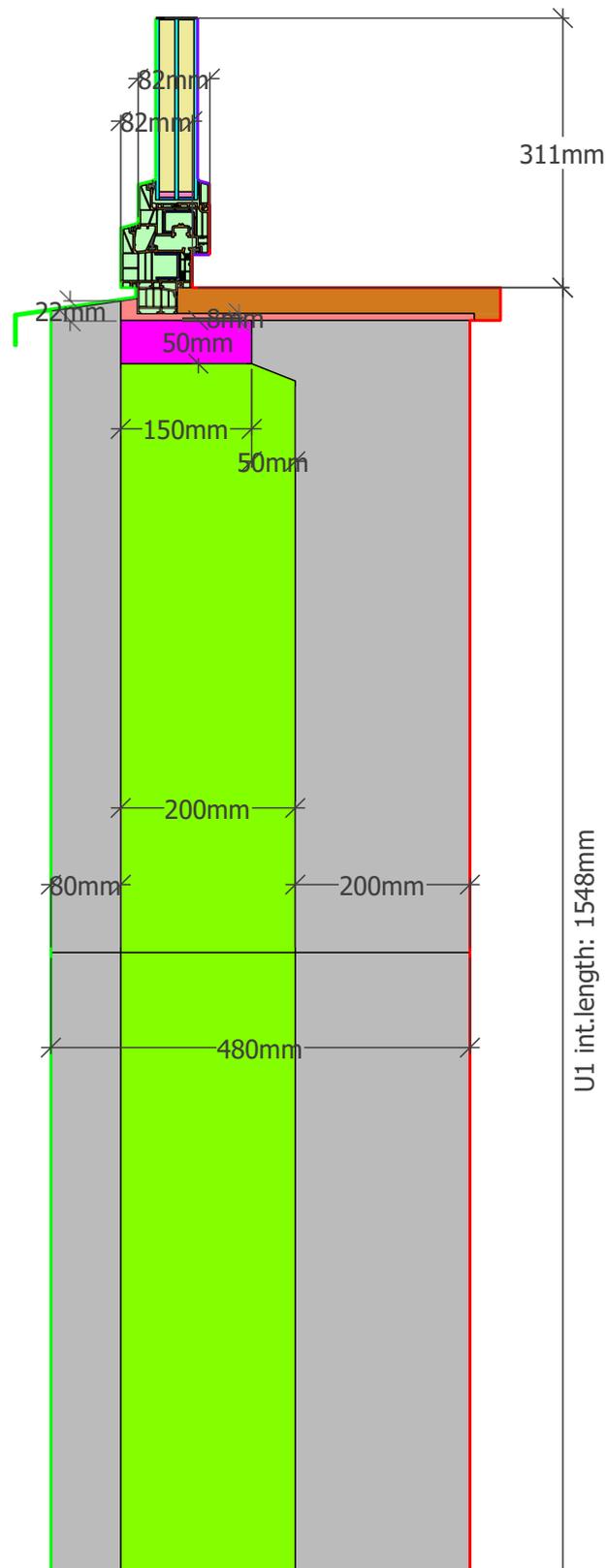
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

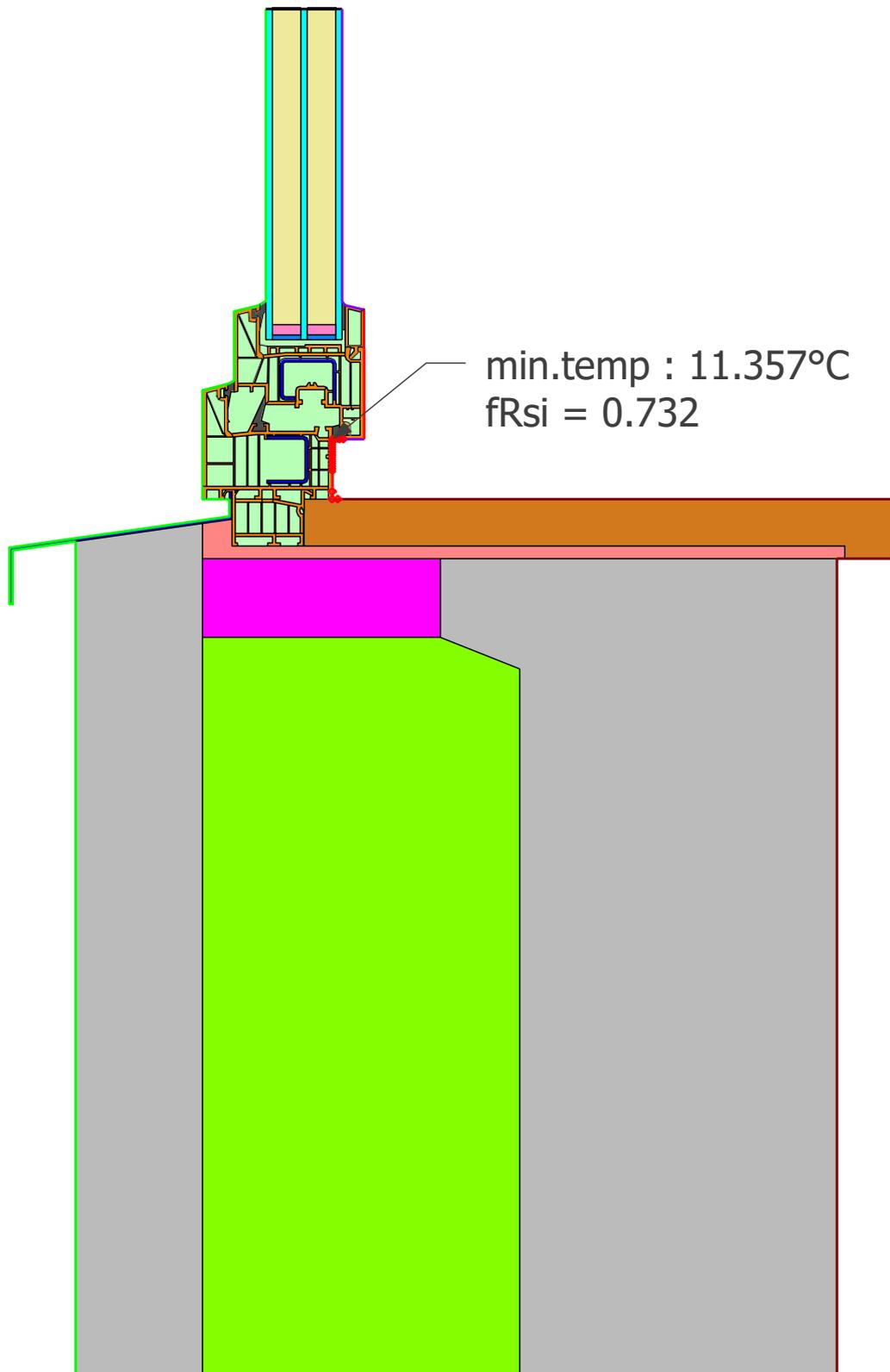
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_167
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_166
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_164
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_163
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_159
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_157
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_119
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_98
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.051	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_68
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_67
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_65
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_48
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_46
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_44
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_39
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_38
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_37
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_36
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_35
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_31
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_28
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_27
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_26
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_24
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_18
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_3

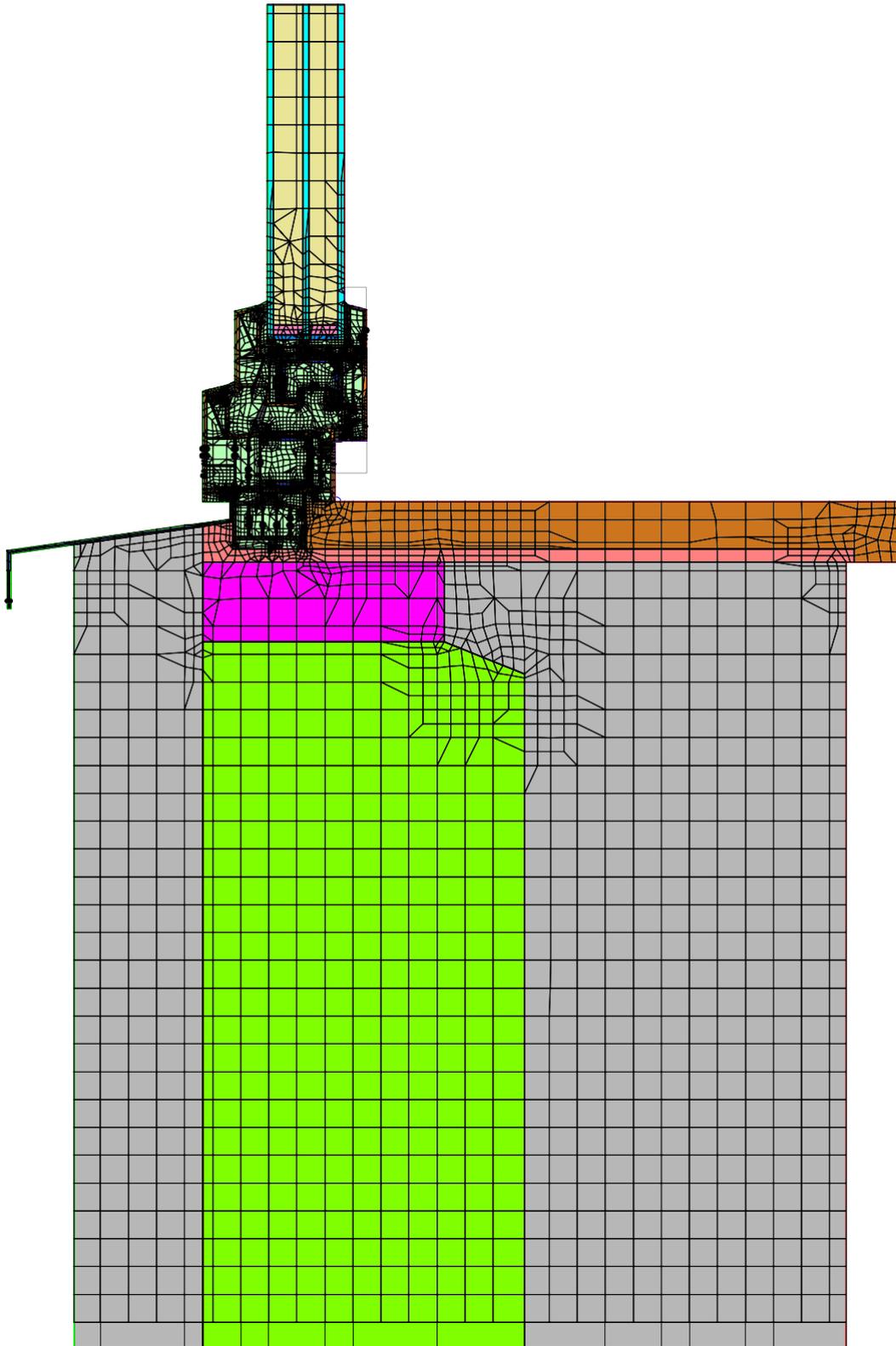
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.41
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.51
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.52
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.53
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.54
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.55
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.58
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.60
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.61
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.62
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.71
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.77
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.83
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.101
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.109
	0.130	Puit
	0.074	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.115
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.128
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.132
	0.045	Montaazivaht
	0.040	CompacFoam akna paigaldusprofiil



Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

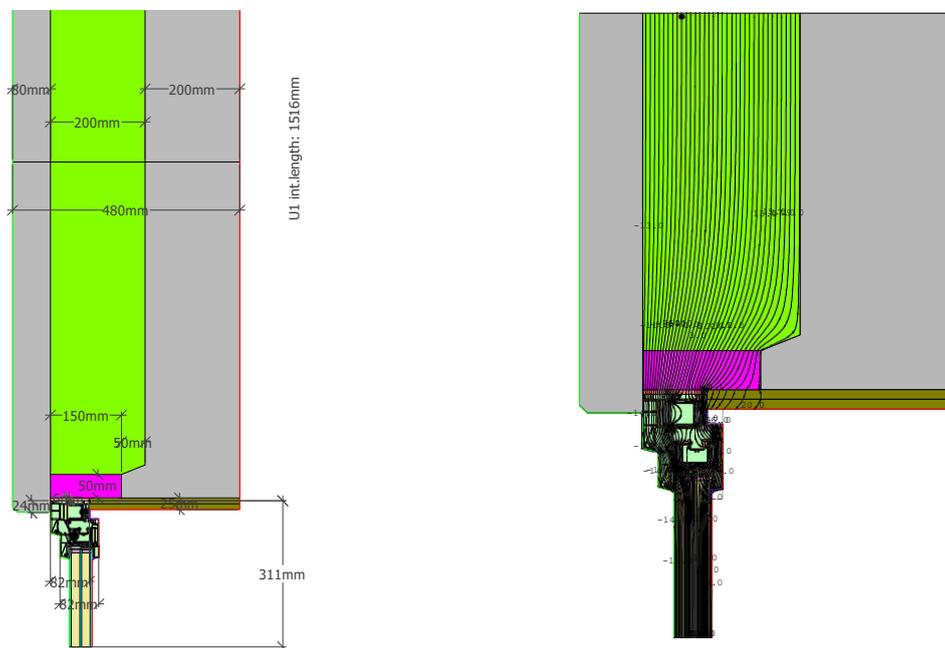
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Taltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v02yl-CF50x150mm-15032020-13JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus int , sisemõõtuudega	0.0166 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.739 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.608 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	62063 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000025 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	1.931	16.438	0.457
interior-BC	2.175	16.438	0.457

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.516	0.000	0.162	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

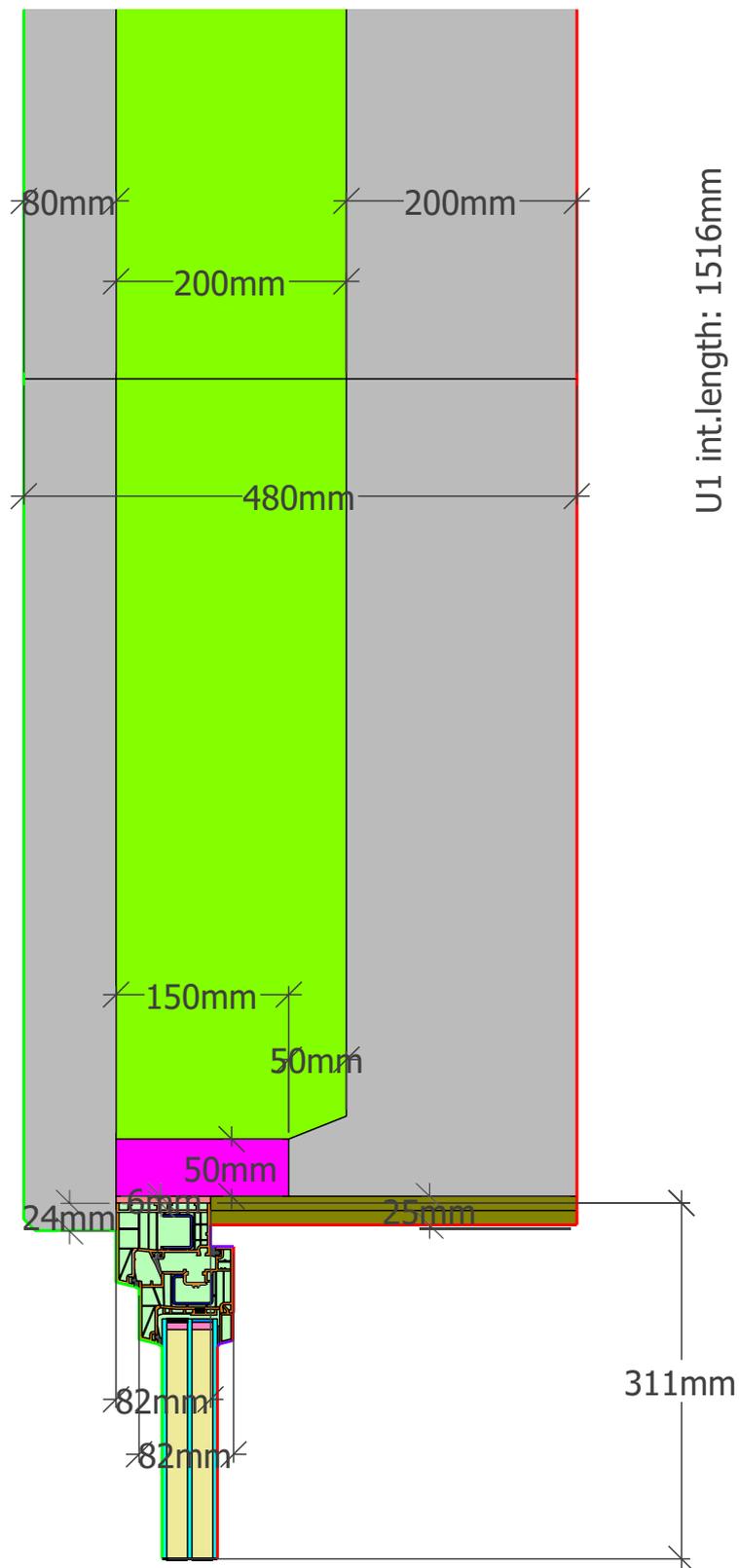
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

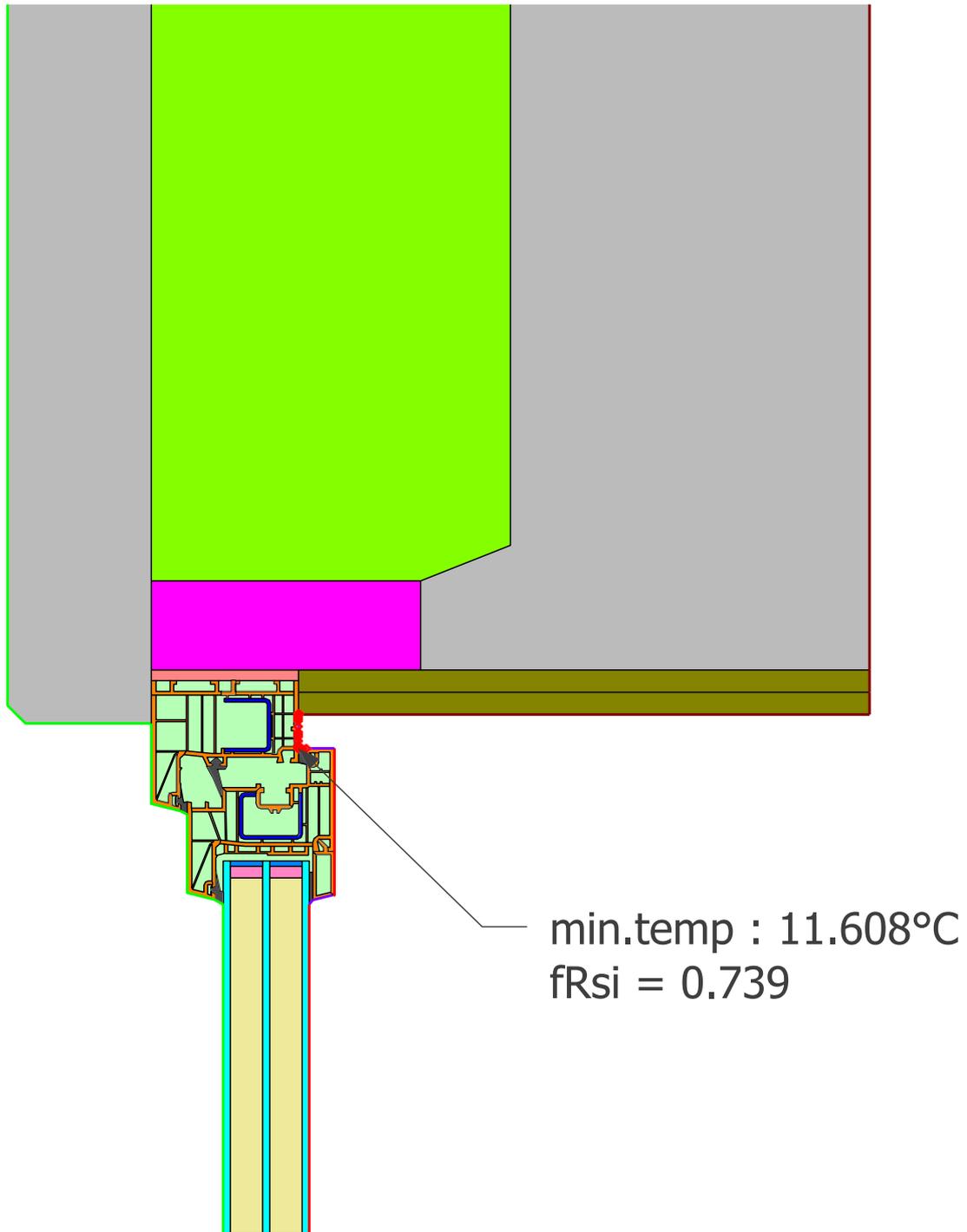
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.081	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_185
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_182
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_180
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_179
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_178
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_175
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_169
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_168
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_167
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_166
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_164
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_163
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_162
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_161
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_160
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_159
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_158
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_155

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.066	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_138
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_128
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.083	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_91

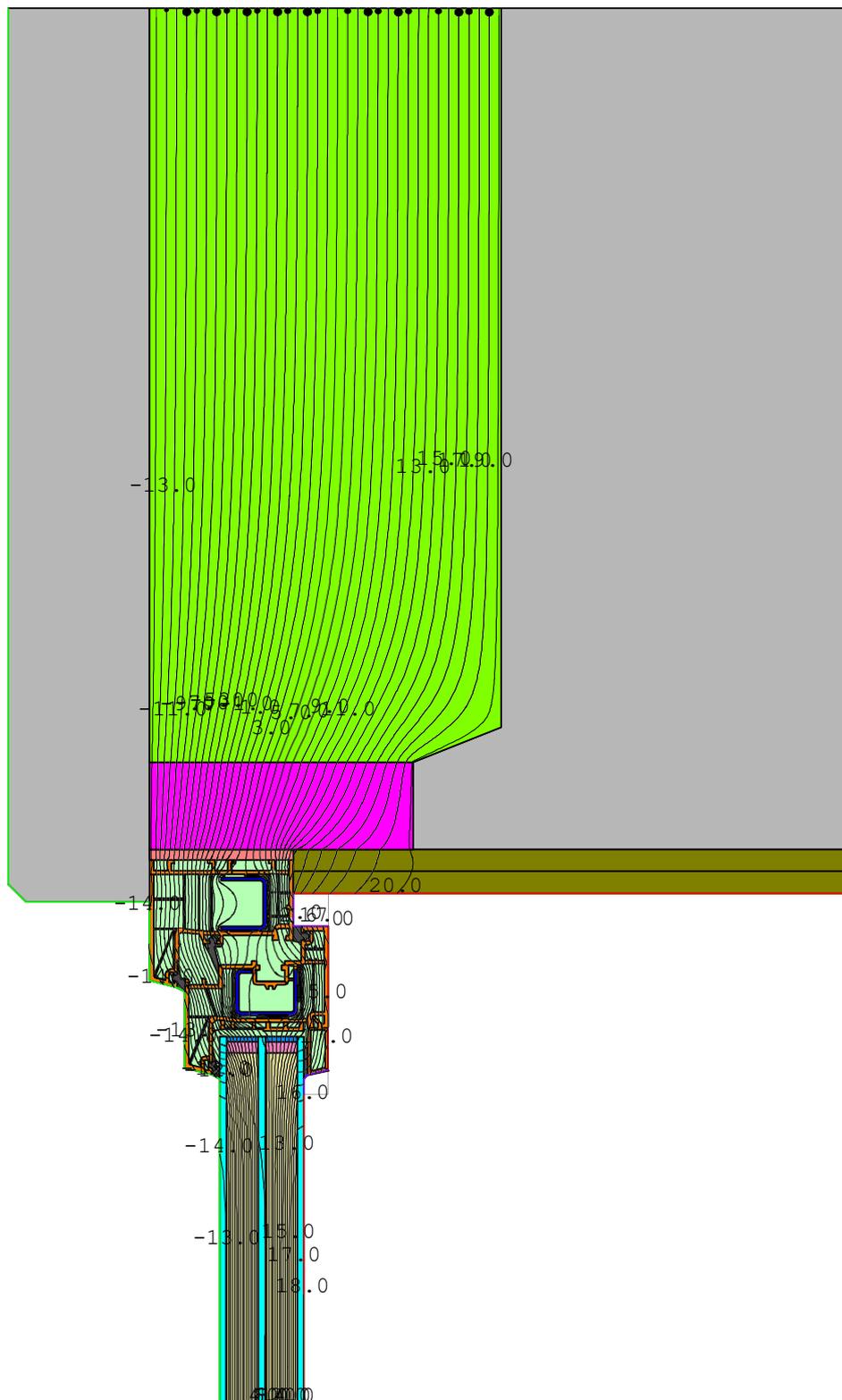
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_88
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_32
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_27
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_26
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_25
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.250	Kipsplaat
	0.045	Montaazivaht
	0.040	CompacFoam akna paigaldusprofiil



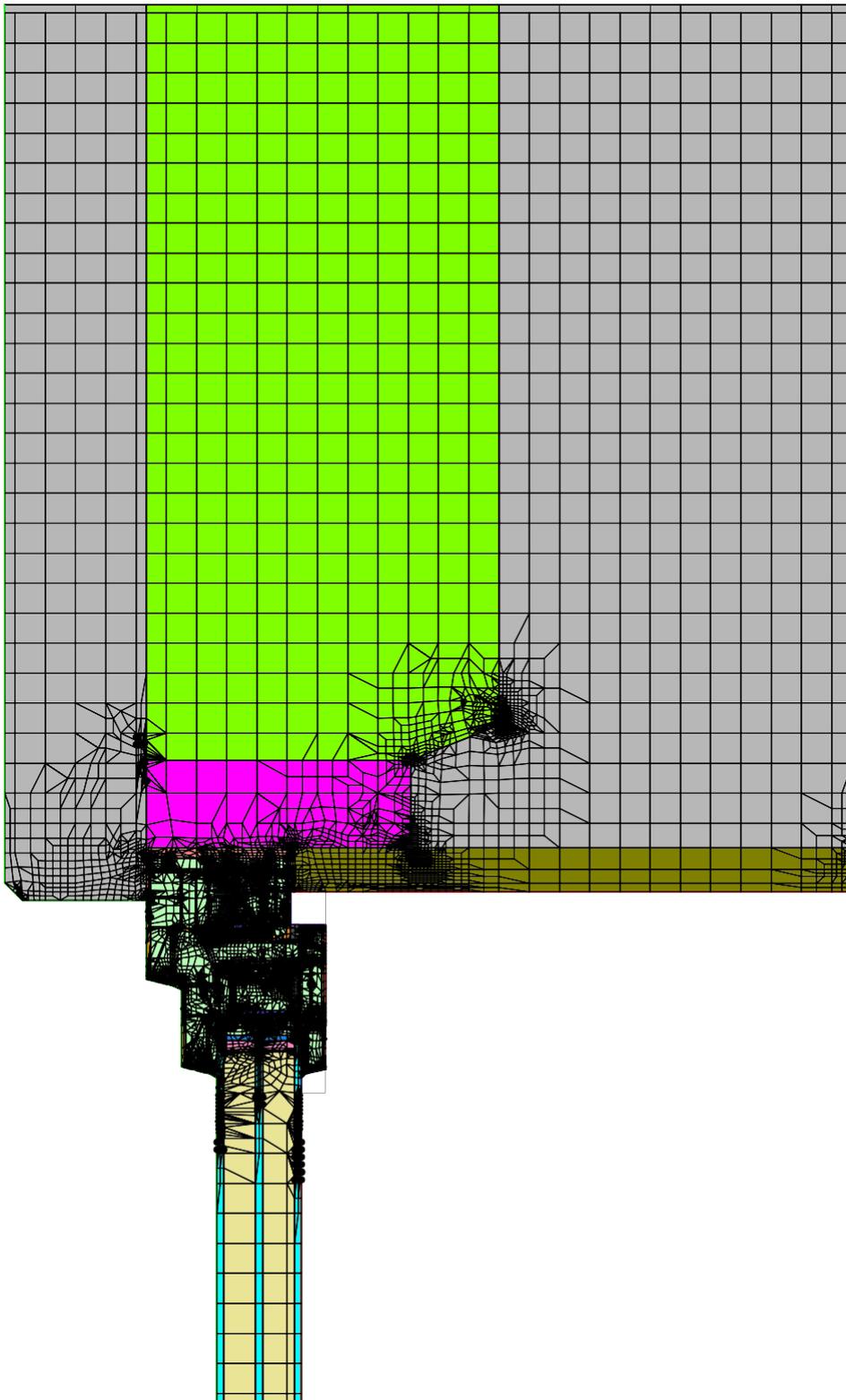
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

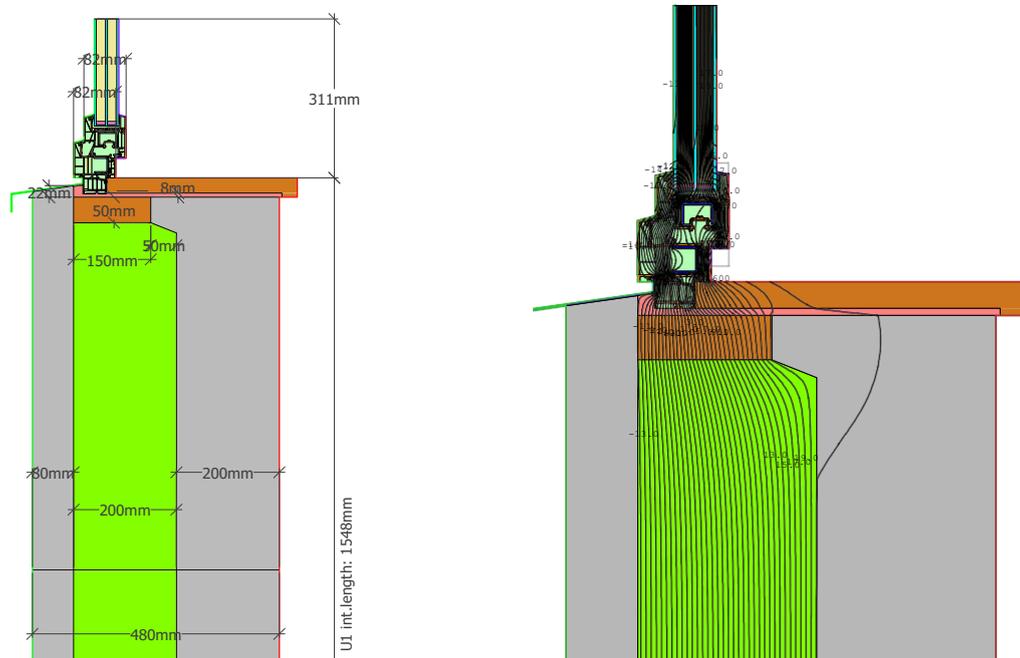
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v03al-PVCpp-puit50x150mm-15032020-14JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõtu dega	0.0737 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.730 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.297 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	10029 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000022 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.142	18.642	0.518
interior-BC	2.277	18.642	0.518

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.548	0.000	0.165	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

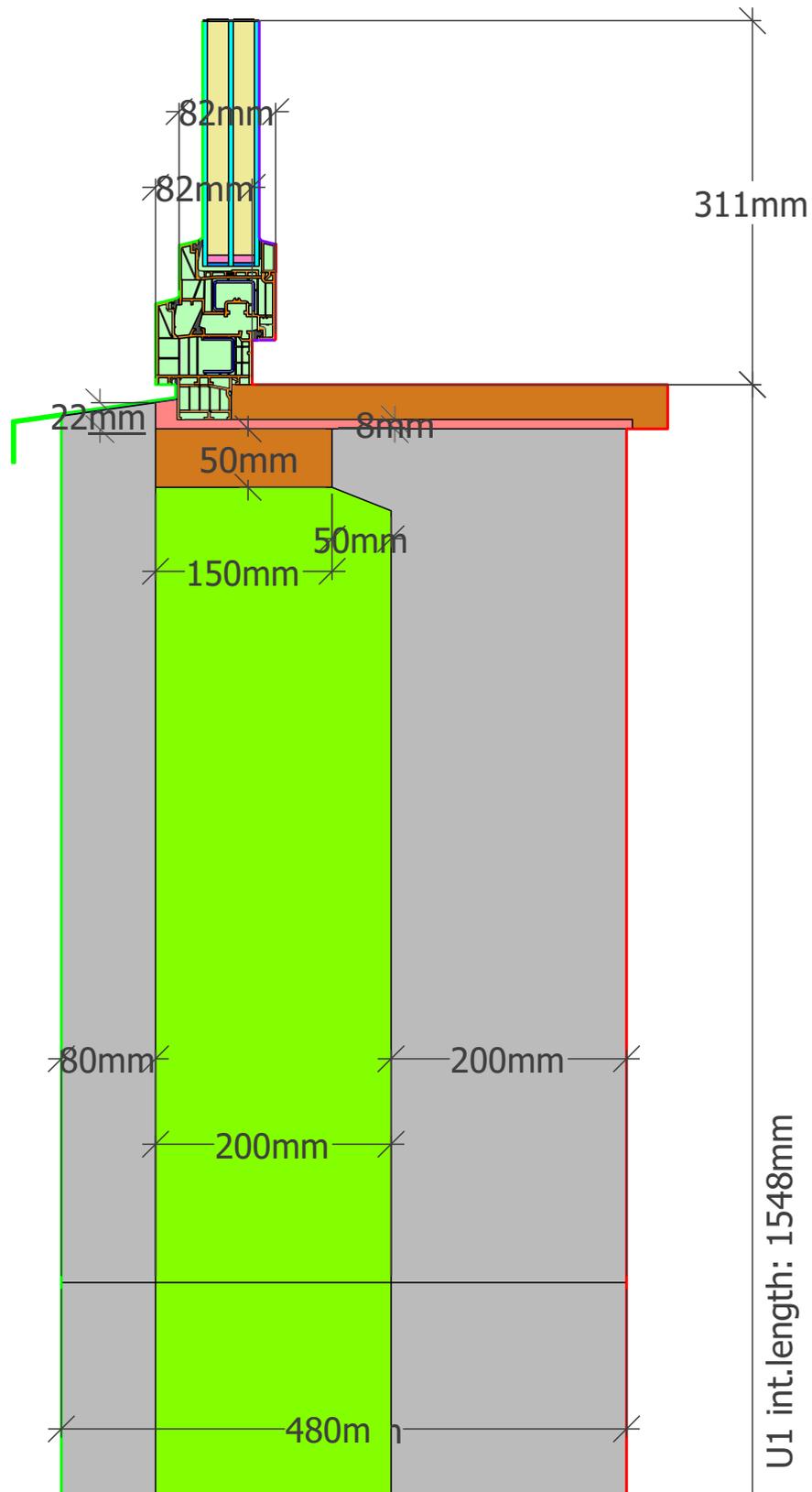
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

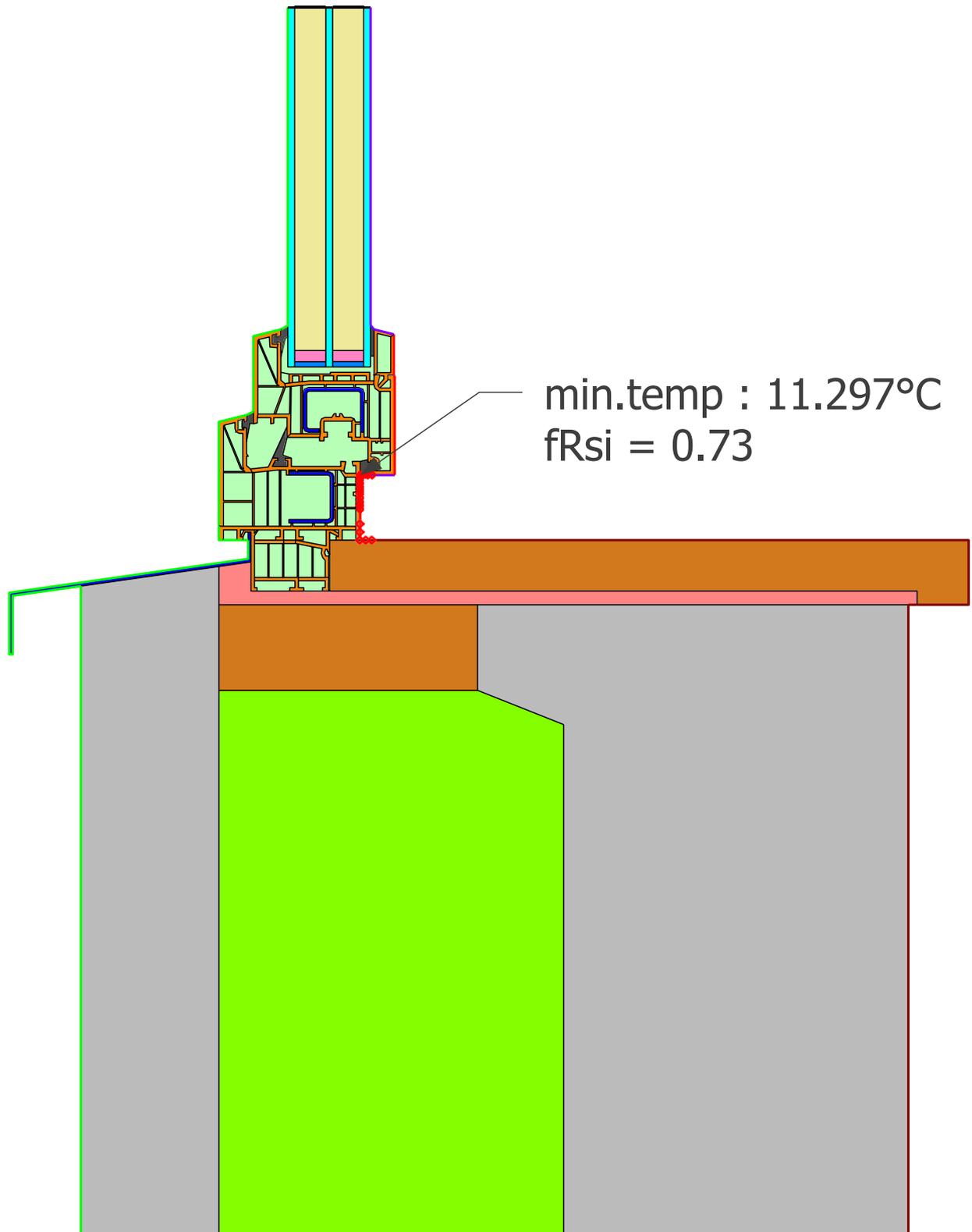
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_167
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_166
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_165
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_164
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_163
	1.000	glass
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_159
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_157
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_156
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_145
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_143
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_137
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.44	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.45	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_124
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_122
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_119
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.084	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_98
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.051	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_68
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_67
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_65
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_48
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_46
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_44
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_39
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_38
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_37
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_36
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_35
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_31
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_28
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_27
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_26
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_24
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_20
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_18
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_3

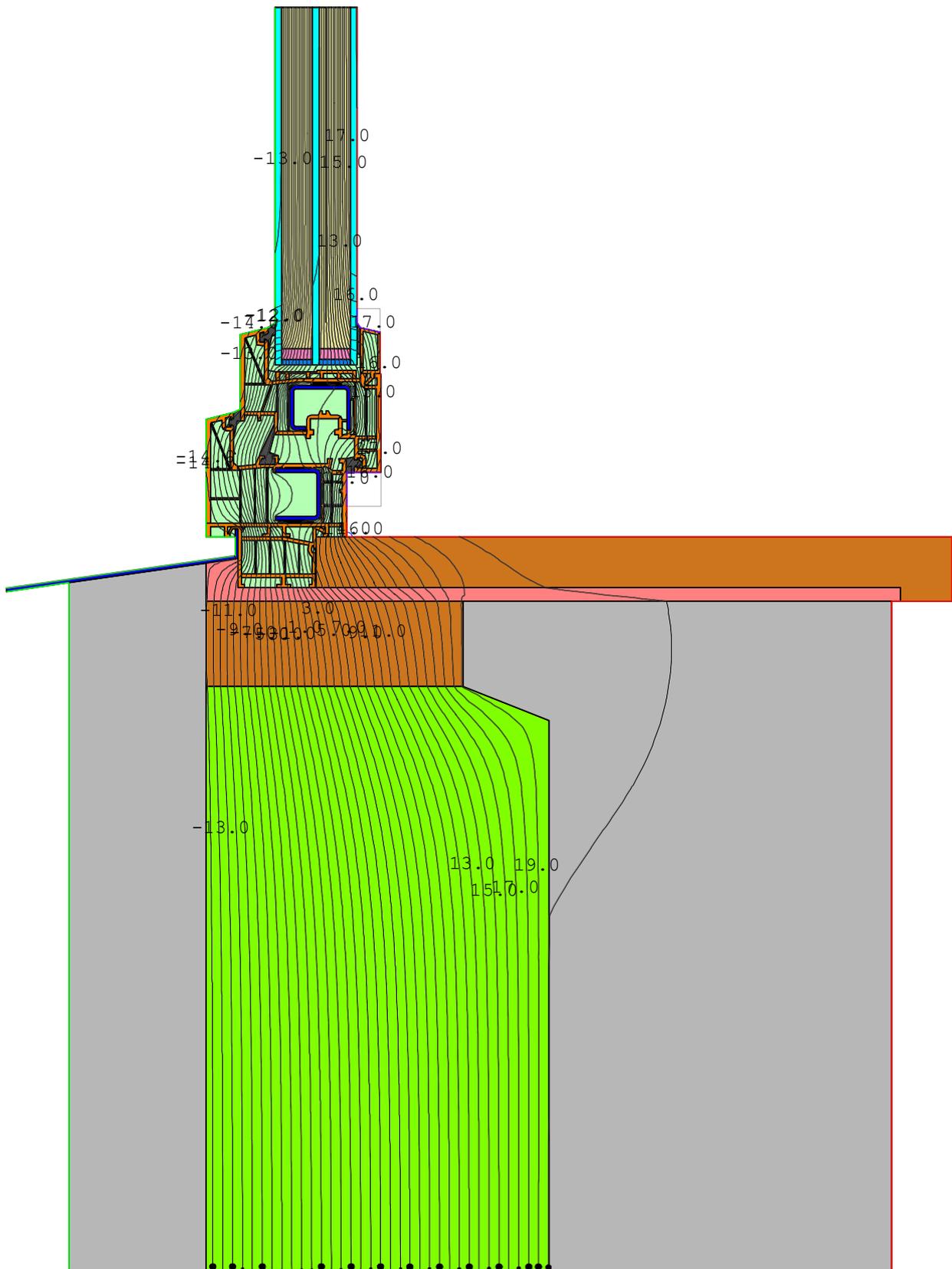
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.41
	0.082	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.51
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.52
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.53
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.54
	0.031	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.55
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.58
	0.050	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.60
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.61
	0.061	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.62
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.71
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.77
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.83
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.101
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.109
	0.130	Puit
	0.073	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.115
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.128
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity.132
	0.045	Montaazivaht



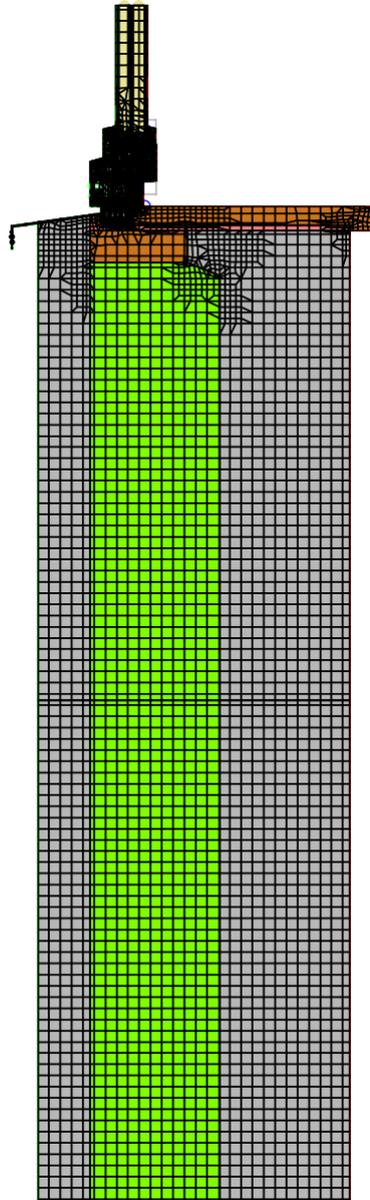
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

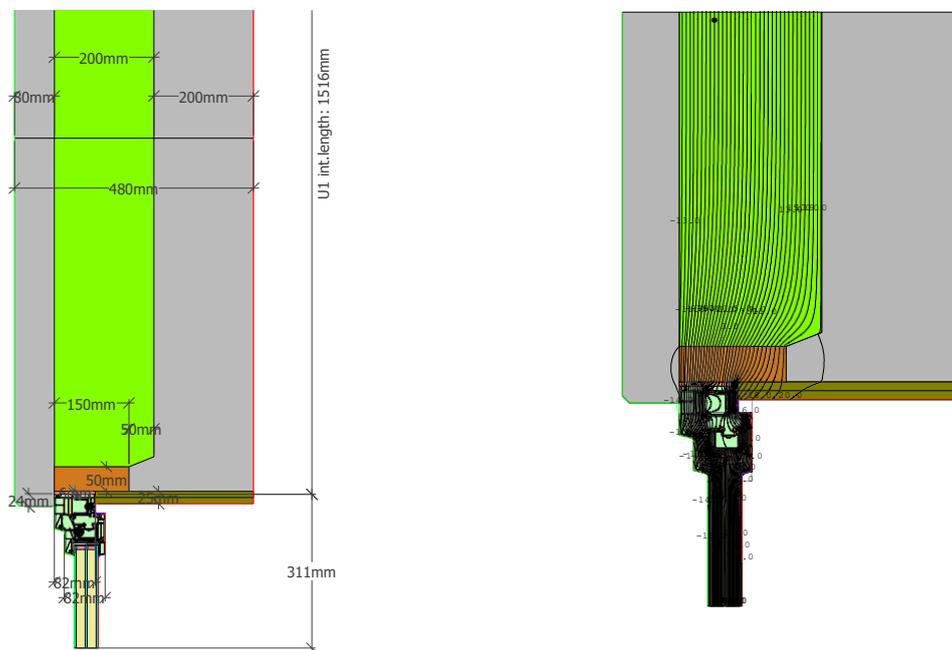
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v03yl-puit50x150mm-15032020-15JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõdudega	0.0477 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.732 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	11.335 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	62094 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000002 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	1.931	17.555	0.488
interior-BC	2.175	17.555	0.488

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.516	0.000	0.162	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.278	0.278
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

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

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

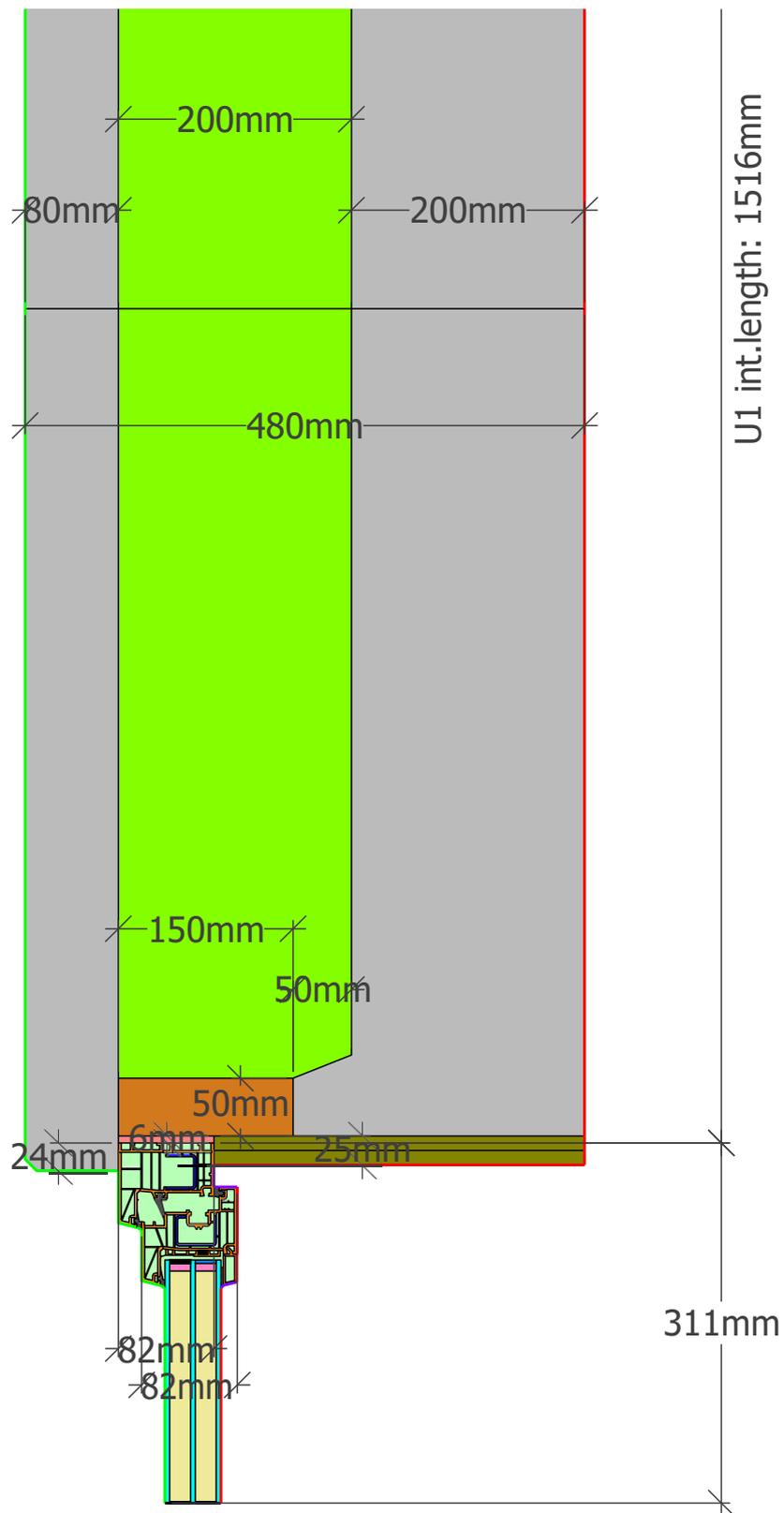
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

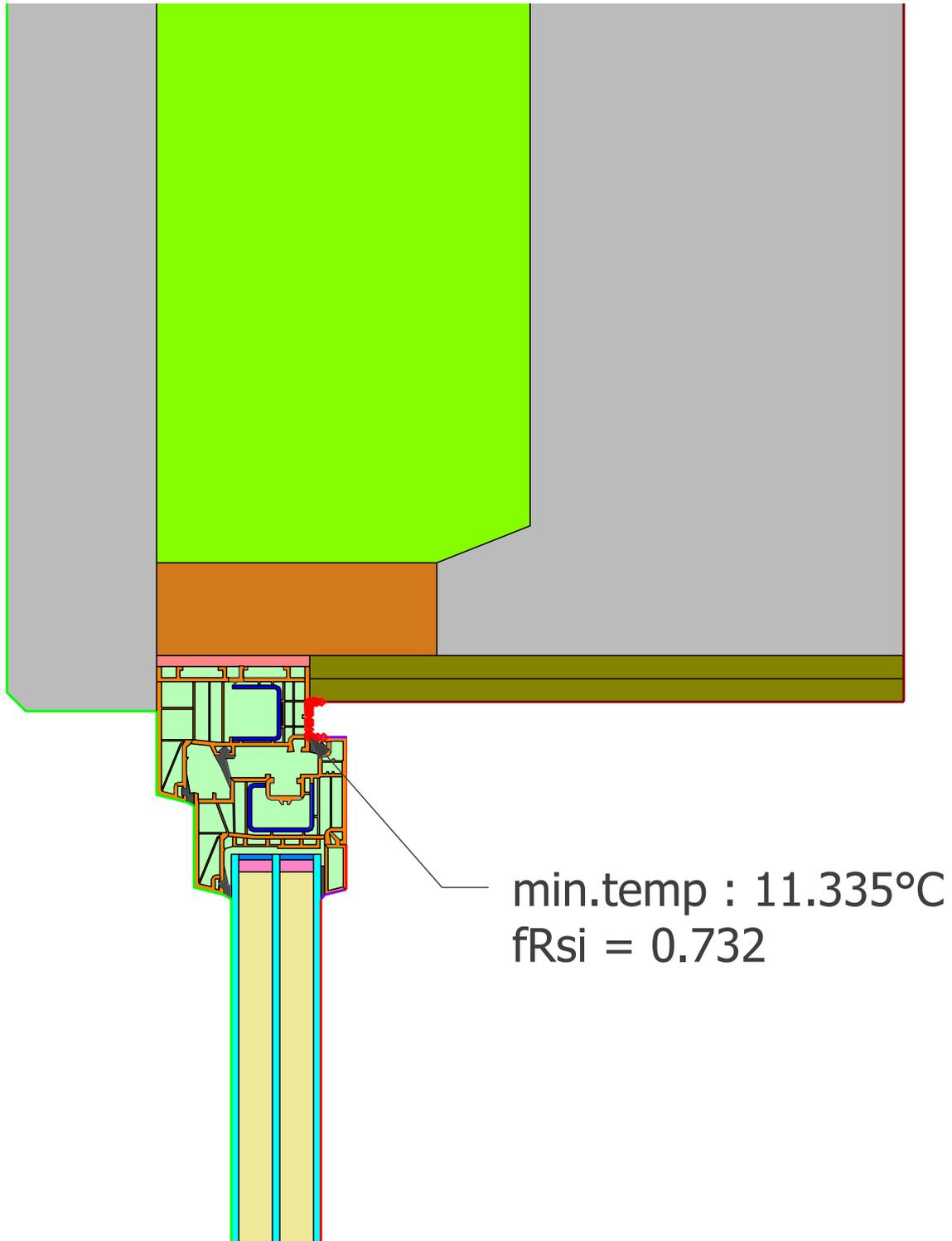
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.080	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_185
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_182
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_180
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_179
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_178
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_175
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_169
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_168
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_167
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_166
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_164
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_163
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_162
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_161
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_160
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_159
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_158
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	50.000	teras
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified. Cavity_155

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_153
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_152
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_151
	0.066	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_149
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_148
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_147
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.153	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_142
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_141
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_138
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_136
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_134
	0.37	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_133
	0.38	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_130
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_129
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_128
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_127
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_125
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_123
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_121
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_117
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_116
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_115
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_105
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_97
	0.082	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_91

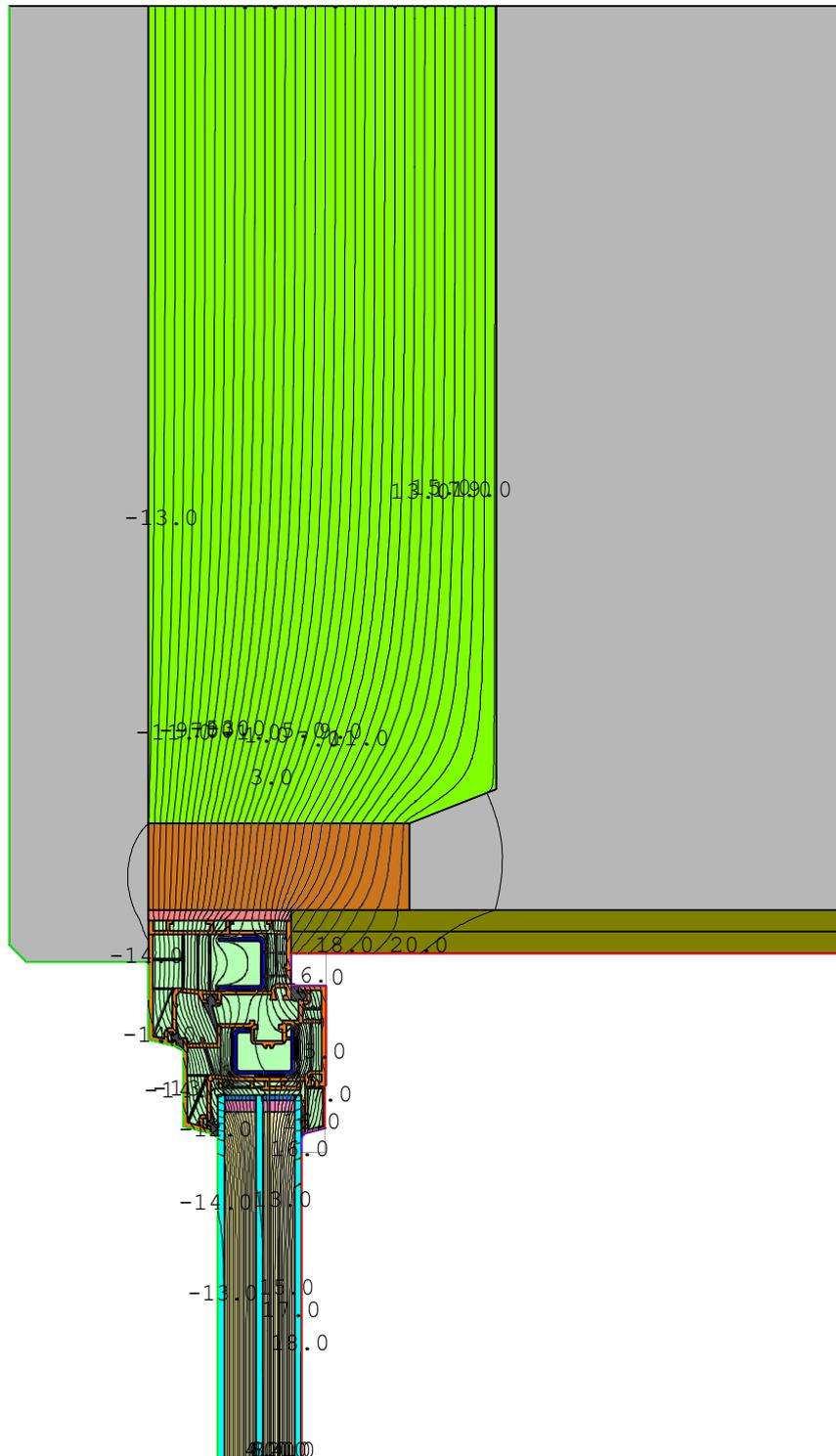
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_88
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_32
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_30
	0.098	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_27
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_26
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_25
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.250	Kipsplaat
	0.045	Montaazivaht
	0.130	Puit



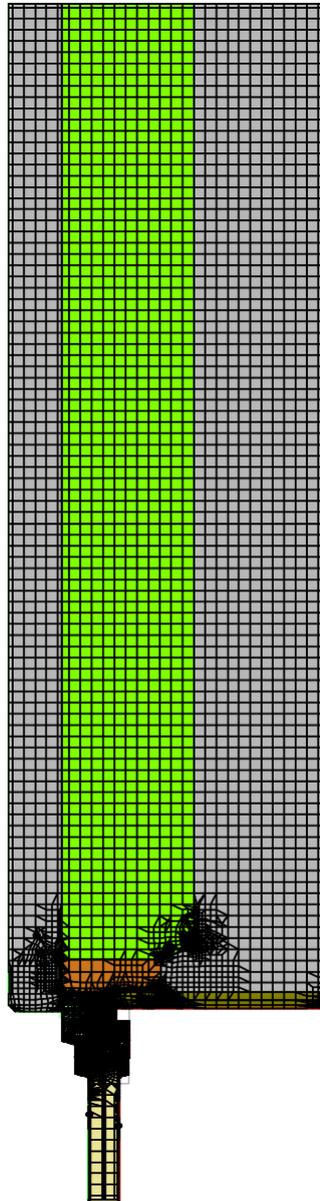
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmodeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi <0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-v04al-CFpp-CF50x150mm-15032020-16JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int</i> , sisemõõdudega	0.0319 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.756 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.219 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	9039 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000002 (-)

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



Joonis 1: Arvutusmudel (vasakul), isotermid (paremal)

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

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

Ääritingimuse tähis	arvutusulatus (m)	soojusvool, Phi (W)	L2D (W/mK)
interior-BC	2.277	17.138	0.476
exterior-BC	2.136	17.138	0.476

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.548	0.000	0.165	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.279	0.279
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääretingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääretingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

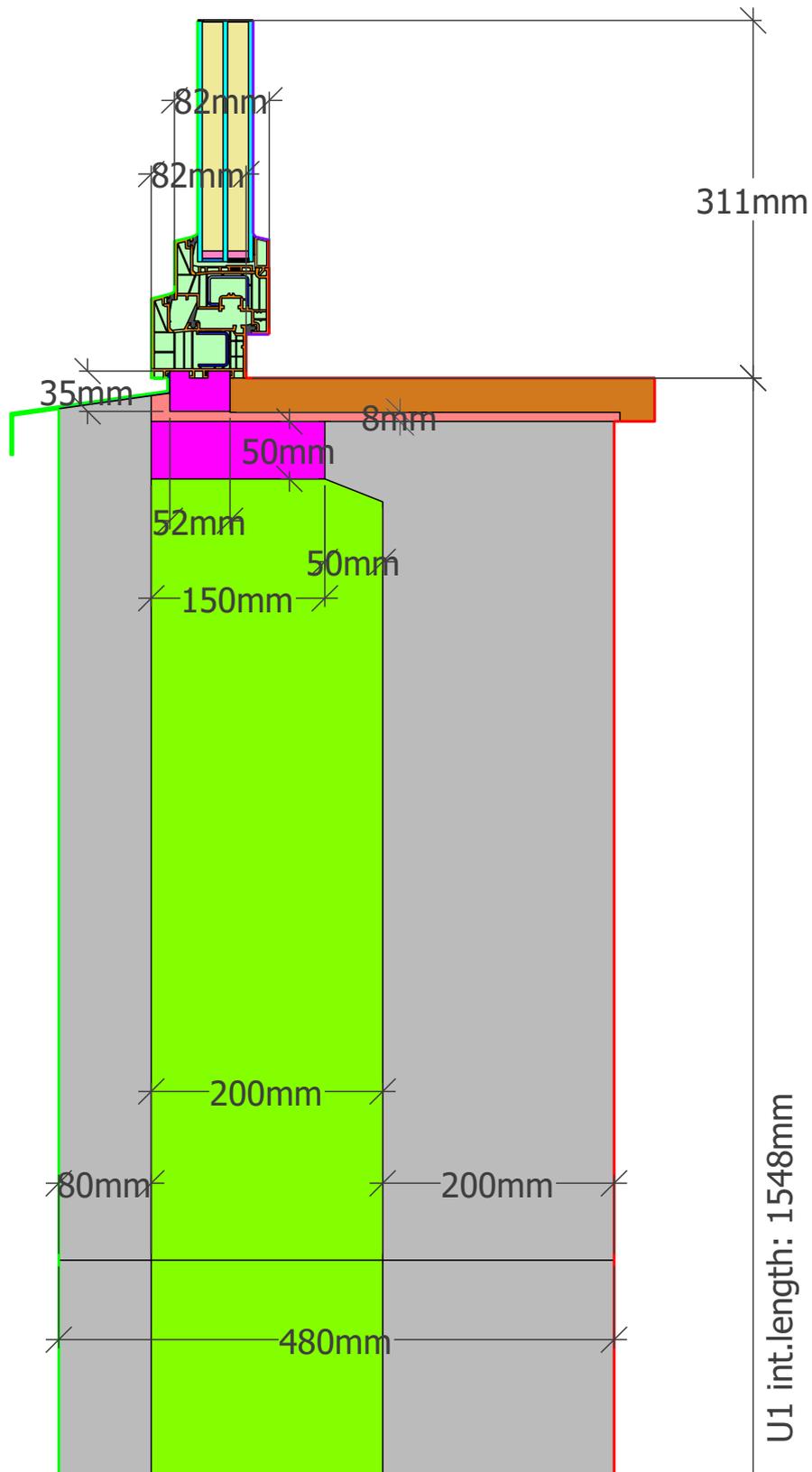
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

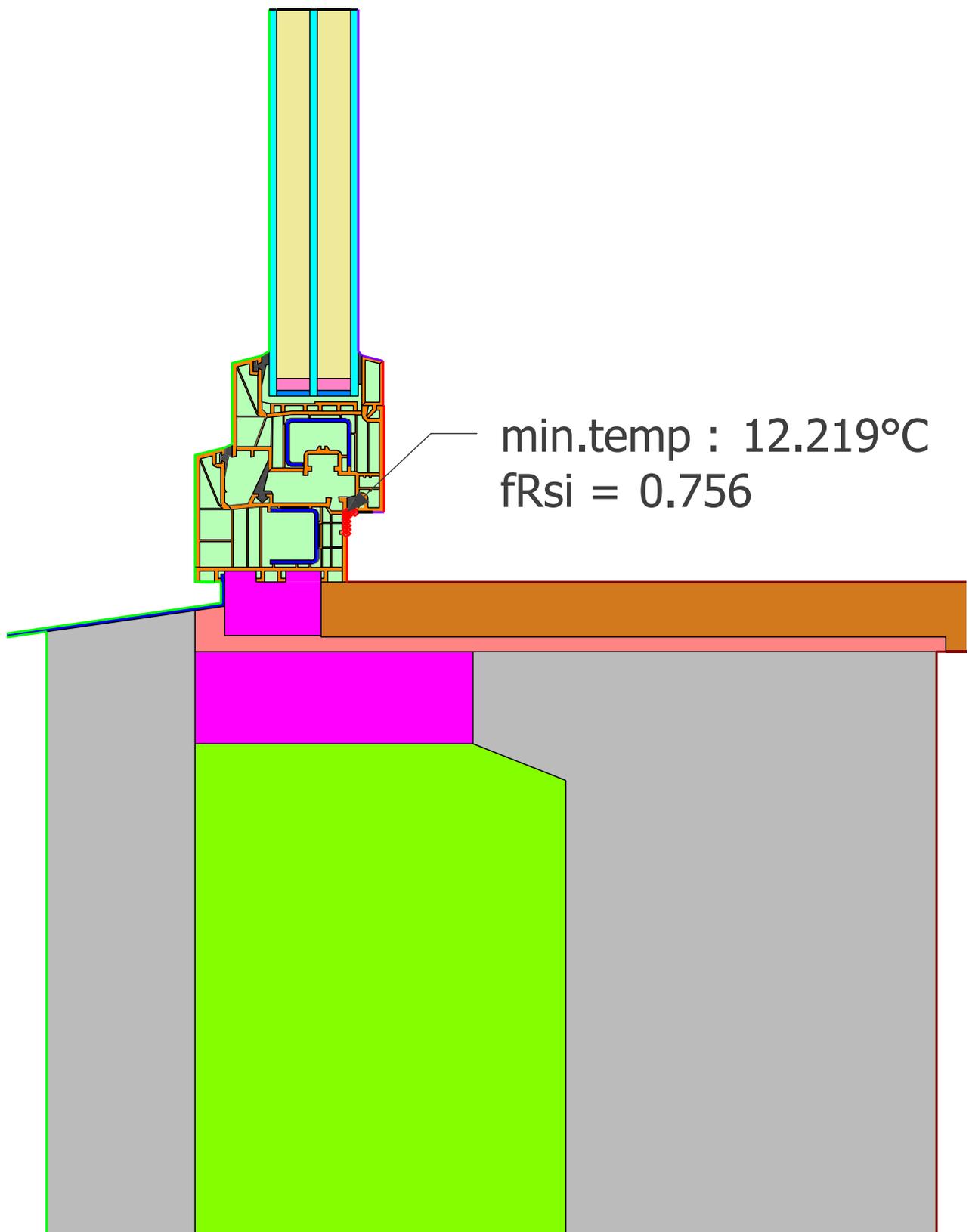
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_1
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_2
	0.045	Montaazivaht
	0.036	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_4
	0.040	CompacFoam akna paigaldusprofiil
	0.033	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_6
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_8
	0.099	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_9
	0.170	PVC, jäik (ISO 10077)
	0.059	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_12
	0.046	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_13
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_14
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_15
	0.054	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_16
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_17
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_23
	0.086	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_25
	50.000	teras
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_27
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_30
	0.040	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_33

Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_34
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_36
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_37
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_41
	0.065	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_43
	1.000	glass
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_47
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_52
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_53
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_54
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_55
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_56
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_58
	0.049	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_59
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.130	Puit
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_63
	0.048	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_64
	0.055	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_65
	0.062	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_66
	0.154	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_67
	0.027	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_68
	0.072	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_69
	0.047	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_71
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_72
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_73
	0.056	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_74
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_76
	0.31	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_78
	0.32	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_80
	0.093	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_81
	0.022	soojustus 0022
	2.300	Raudbetoon
	0.045	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_87
	0.044	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_90
	0.052	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_93

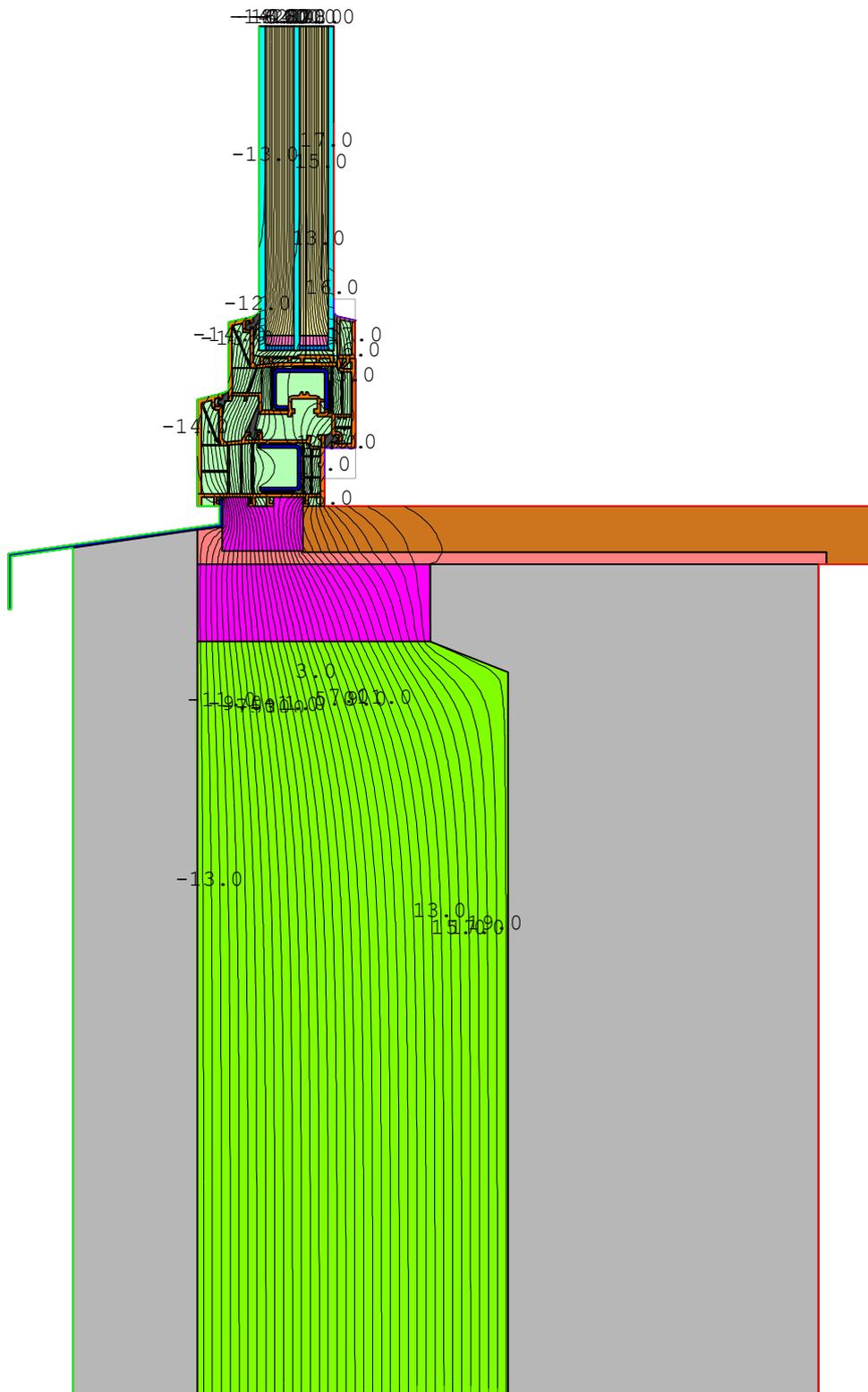
Värv	$A(W/mK)$	Materiali nimetus
	0.060	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_94
	0.063	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_95
	0.085	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_96
	0.067	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_99
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_100
	0.064	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_107
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_108
	0.066	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_109
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_110
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_112
	0.032	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_114
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_118
	0.041	Frame Cavity - CEN Simplified Cavity_120



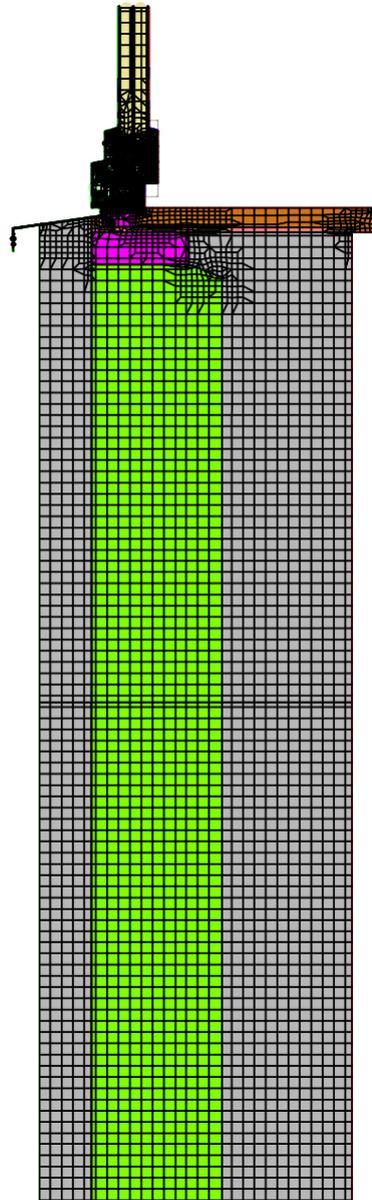
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi <0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

Lisa 3. RB-paneelist välisseina ja puitakna liitumise külmasillaanalüüsi aruanded

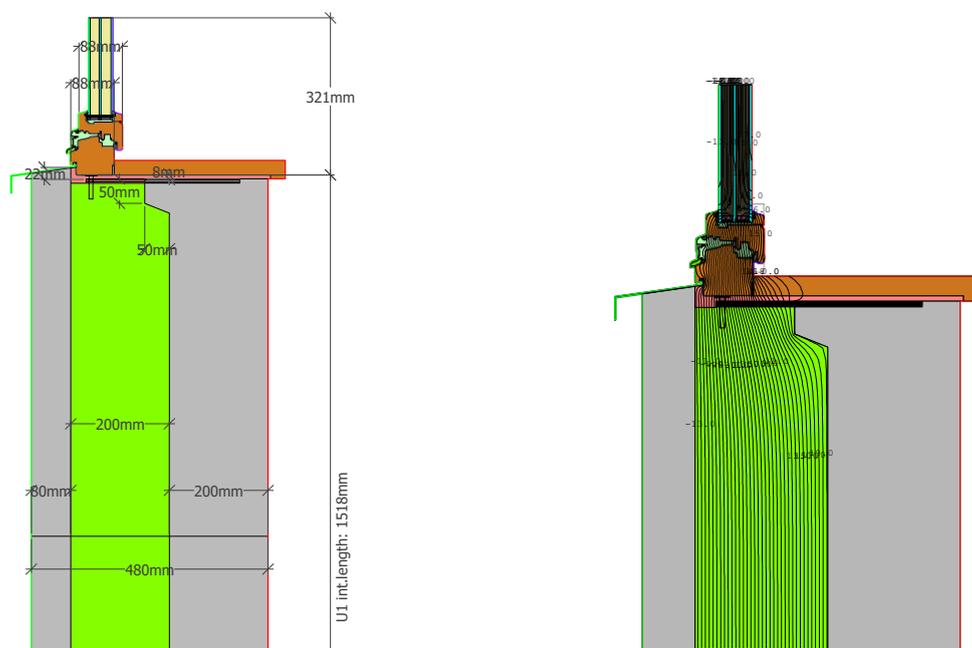
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofiiliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-puitaken-v01al-SFS-JBD200siin-15032020-17JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int, sisemõõtu</i> dega	0.0010 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.755 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	12.189 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	5588 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000051 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasilla arvutusulatust läbiv 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	2.116	16.468	0.457
interior-BC	2.252	16.468	0.457

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.518	0.000	0.162	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.295	0.295
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

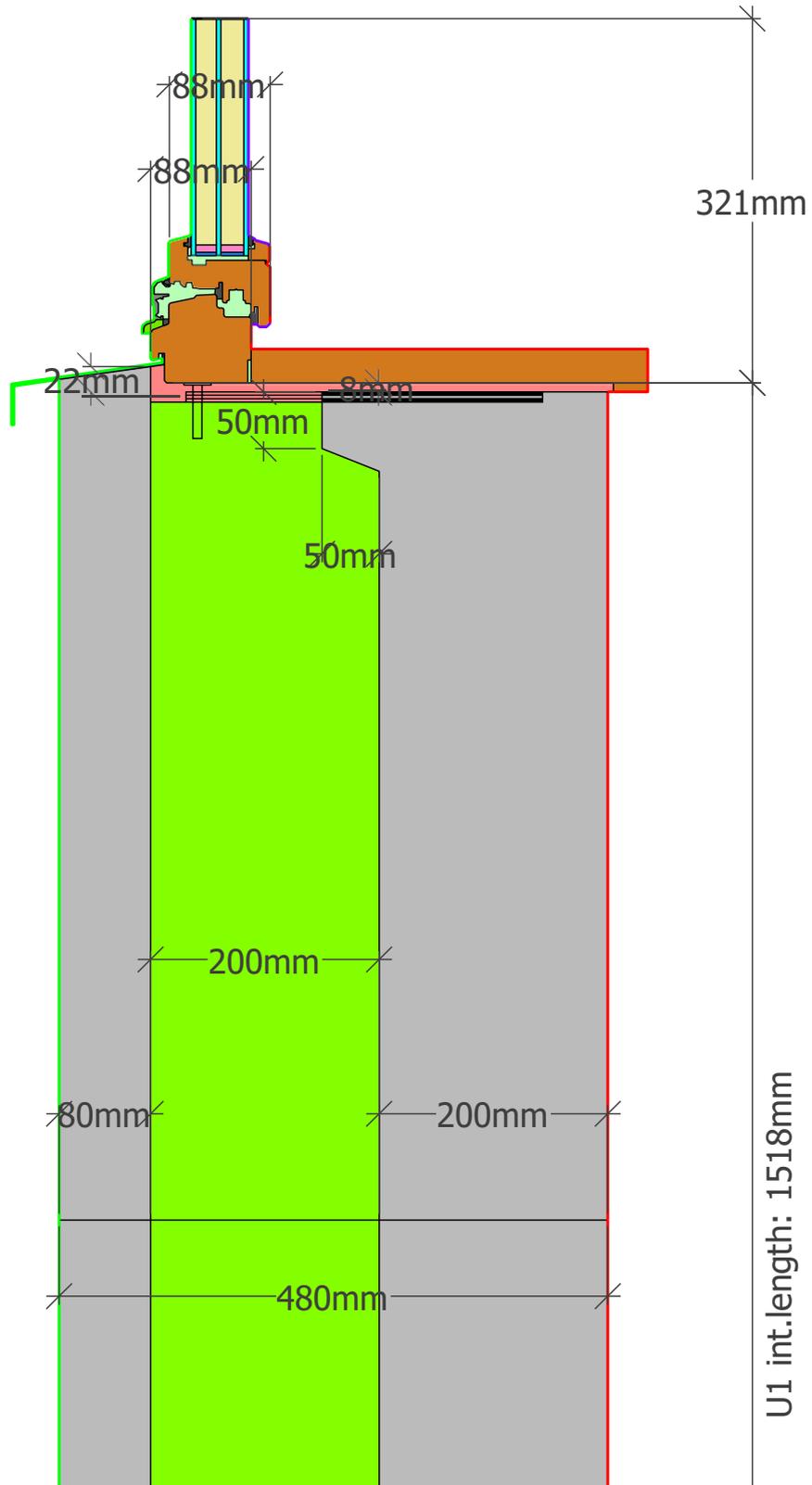
Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
—	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
—	0.00	0.0	Adiabatic
—	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
—	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
—	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

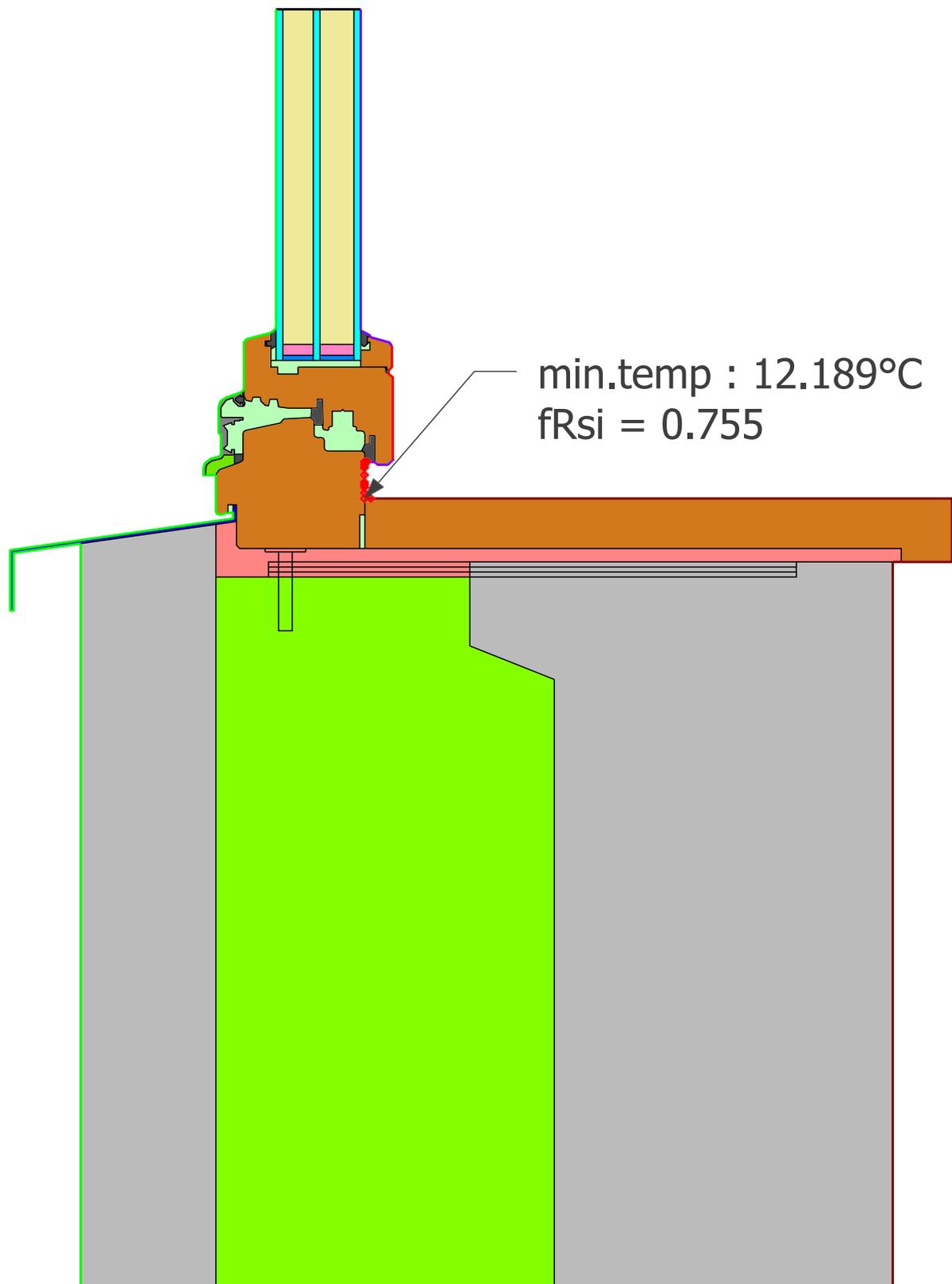
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

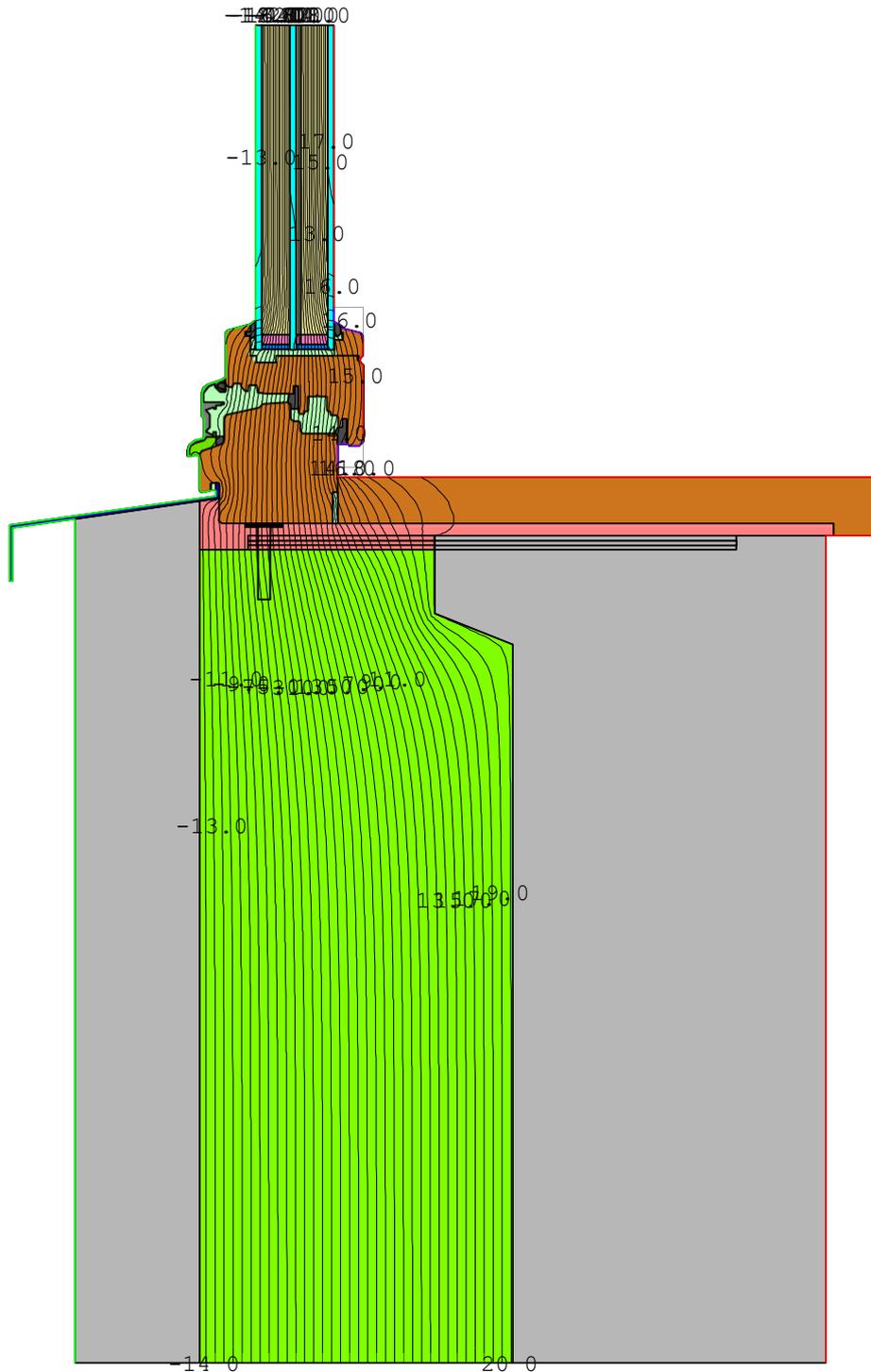
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	160.000	Alumiinium (EN 10077-2)
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_4
	0.105	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_5
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.29	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_12
	0.30	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_13
	0.039	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_14
	0.109	Frame Cavity - CEN slightly ventilated Cavity _15
	0.042	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_16
	0.130	Puit
	0.159	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_21
	0.118	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_22
	2.300	Raudbetoon
	0.022	soojustus 0022
	0.045	Montaazivaht
	0.035	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_37
	50.000	teras
	1.000	glass
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.037	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_114



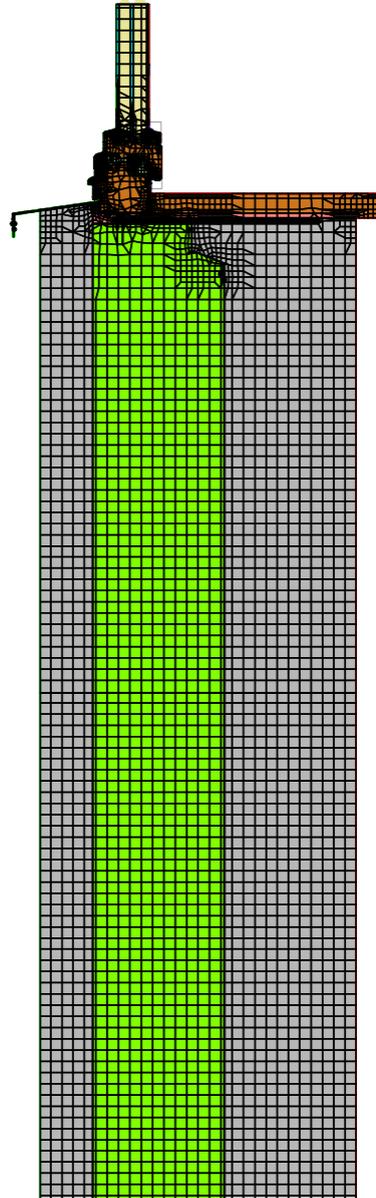
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmodeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel

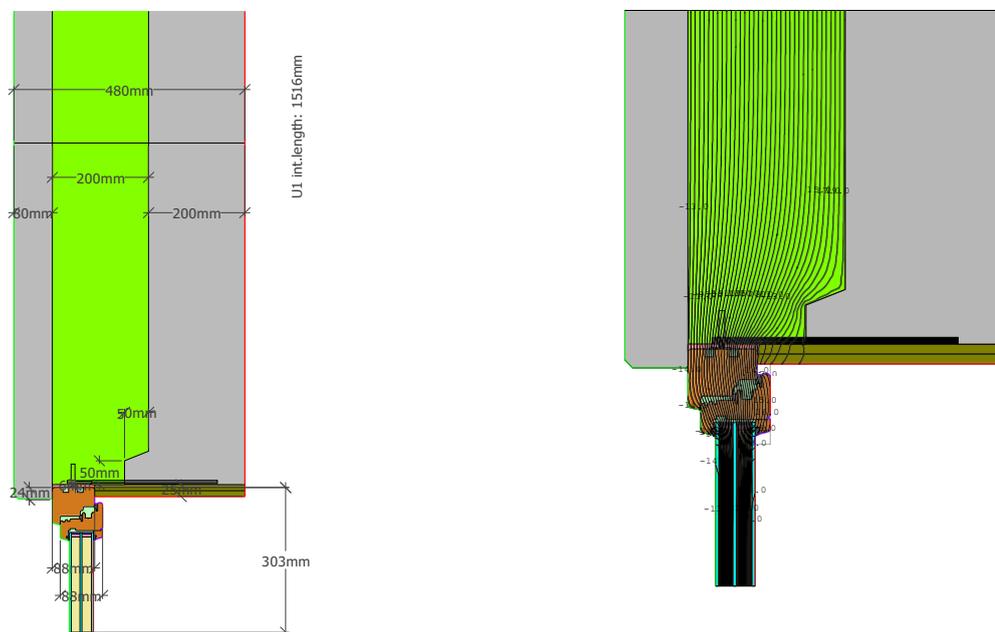
Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutus

Töö teostaja	Tallinna Tehnikaülikool
Arvutused viis läbi	Jaanus Hallik, jaanus.hallik@taltech.ee, +372 5021841
Aluseks olnud lähtejoonis	MD 82koos alusprofüliga.dwg, Viking-DK88-PUIT-est.dwg, Pakkumus_Talltech.docx, JB-D200-10-8-1239947.dxf + täiendav info tellijalt
Arvutusmudeli nimi	VBHEstonia-RB200-puitaken-v01yl-SFS-JBD200siin-15032020-18JH.THM

PEAMISED ARVUTUSTULEMUSED

külmasilla joonsoojuslähivus <i>int, sisemõõtu</i> dega	0.0090 (W/mK)
Sisepinna temperatuurindeks f_{Rsi} vastavalt ISO EN 13788:2012*	0.790 (-)
Sisepinna madalaimpinnatemperatuur arvutusmudelis	13.438 (°C)
Sise- ja väliskeskonna temperatuuride vahe arvutusmudelis	36.00 (K)
Sõlmpunktide arv lõplike elementide võrgus	3719 (-)
Arvutuse jääkviga vastavalt EVS-EN ISO 10211 (max 0.0001)	0.0000014 (-)

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



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

Külmasilla joonsoojuslähivuse arvutused on läbi viidud vastavalt standardites EVS-EN ISO 10211:2017, EVS-EN ISO 10077-2:2017, EVS-EN ISO 13788:2012 ja EVS-EN ISO 6946:2017 kirjeldatud meetoditele ning geomeetrilistele ja soojuslikele ääretingimustele. 2D soojusvoogude analüüs piirde ristlõikel baseerub lõplike elementide meetodil (LBNL Therm 7.6.1 tarkvara).

Külmasilla joonsoojusläbivus (*int* või *ext*) vastavalt standardile EVS-EN ISO 10211:2017:

$$= L_2D - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 - L_2D_{win} \quad \text{VÕI} \quad = L_2D - U_1 \cdot l_1 - L_2D_{win} - L_2D_{ground}$$

kus:

L_2D külmasilla ristlõike kogu arvutusulatuse soojuserikadu 2D numbrilise analüüsi põhjal

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

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

L_2D_{win} kogu akna arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest (klaasi ja raame hõlmav detailne mudel vastavalt standardile ISO EN 10077)

L_2D_{ground} pinnasega külgneva põranda arvutusulatuse soojuserikadu eraldi 2D arvutusest vastavalt ISO 10211 meetodile B.

KÜLMASILLA ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

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

Ääritingimuse tähis	arvutusulatus (m)	soojusvool, Phi (W)	L2D (W/mK)
interior-BC	2.166	15.571	0.433
exterior-BC	1.919	15.571	0.433

KÜLGELEMENTIDE ARVUTUSULATUSE SOOJUSERIKADU

Külmasillaga külgnevate elementide soojusläbivused, arvutusulatused ning nende põhjal leitud soojuserikao numbrilised väärtused ja/või akna ja/või pinnasega külgneva põranda 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	0.107	1.516	0.000	0.162	0.000	-	-
külgnev element 2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-
aken (2D mudel)	-	-	-	-	-	0.262	0.262
põrand pinnasel (2D)	-	-	-	-	-	0.000	0.000

Toodud väärtused on saadud eraldiseisvatest numbrilistest arvutusmudelitest (Therm arvutusmudelid) iga eraldiseisva külgelemendi jaoks.

MUDELIS KIRJELDATUD ÄÄRETINGIMUSED

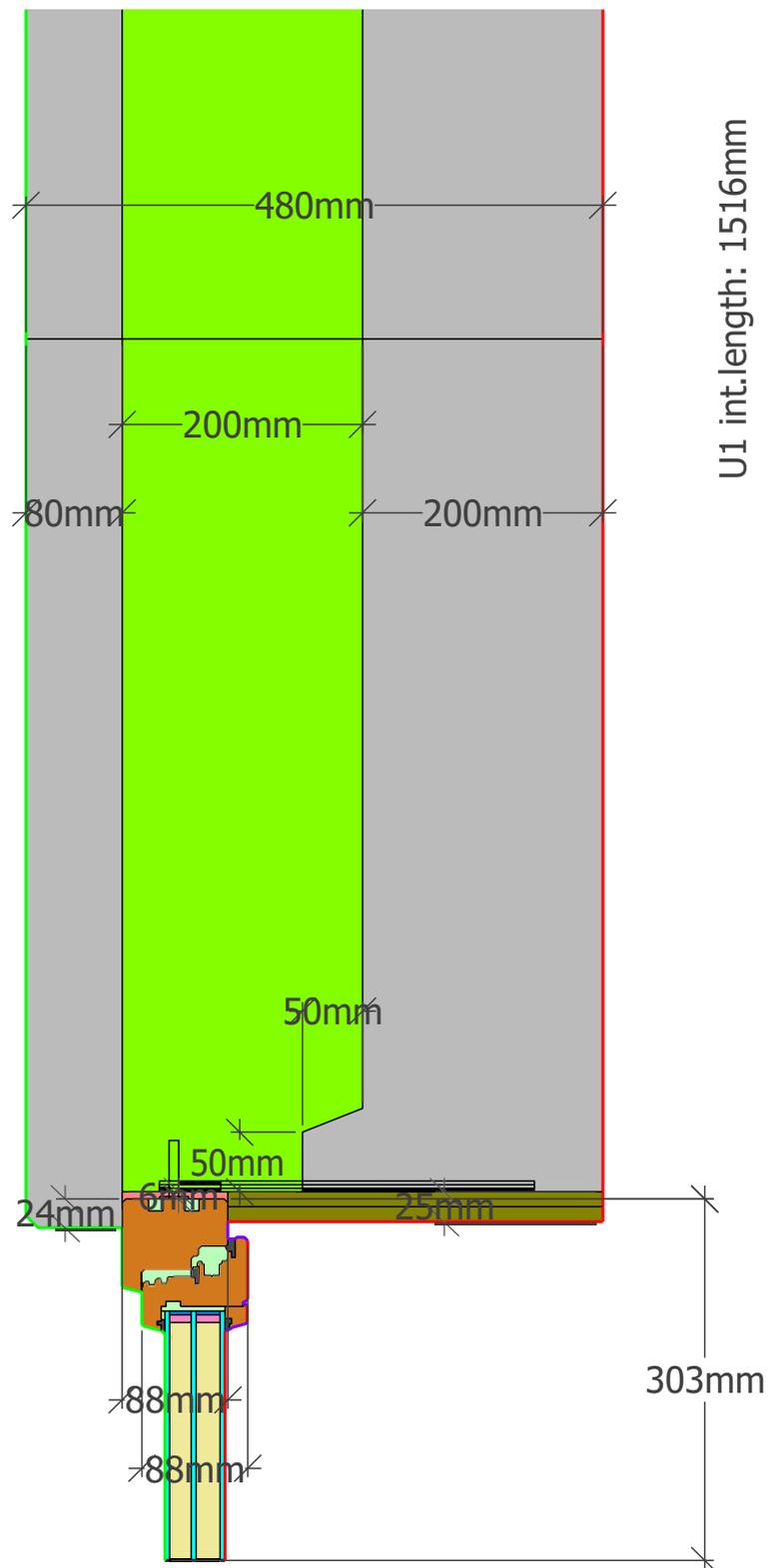
Arvutusmodelis on vastavalt standardile EVS 10211:2008 kirjeldatud järgnevad soojuslikud ääritingimused:

Värv	h (W/m^2K)	t ($^{\circ}C$)	Soojusliku ääritingimuse nimetus
	25.00	-15.0	ISO exterior (universal) -15, $R_s=0,04$
	0.00	0.0	Adiabatic
	7.69	21.0	ISO interior (wall) +21 C, $R_s = 0,13$
	5.00	21.0	ISO interior (reduced) +21 C, $R_s = 0,20$
	4.00	21.0	ISO interior (fRsi) +21, $R_s = 0,25$

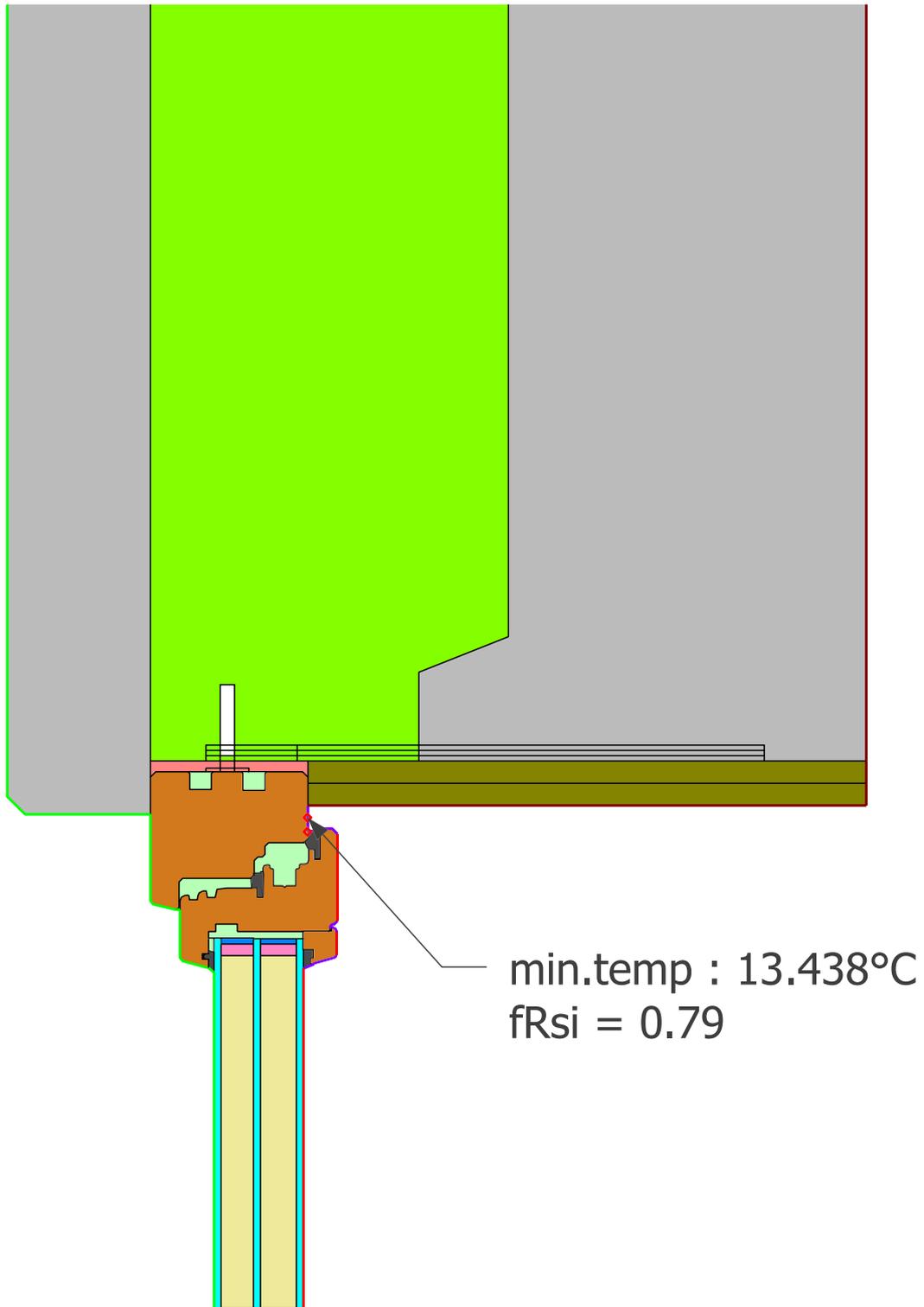
MUDELIS KIRJELDATUD MATERJALID

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

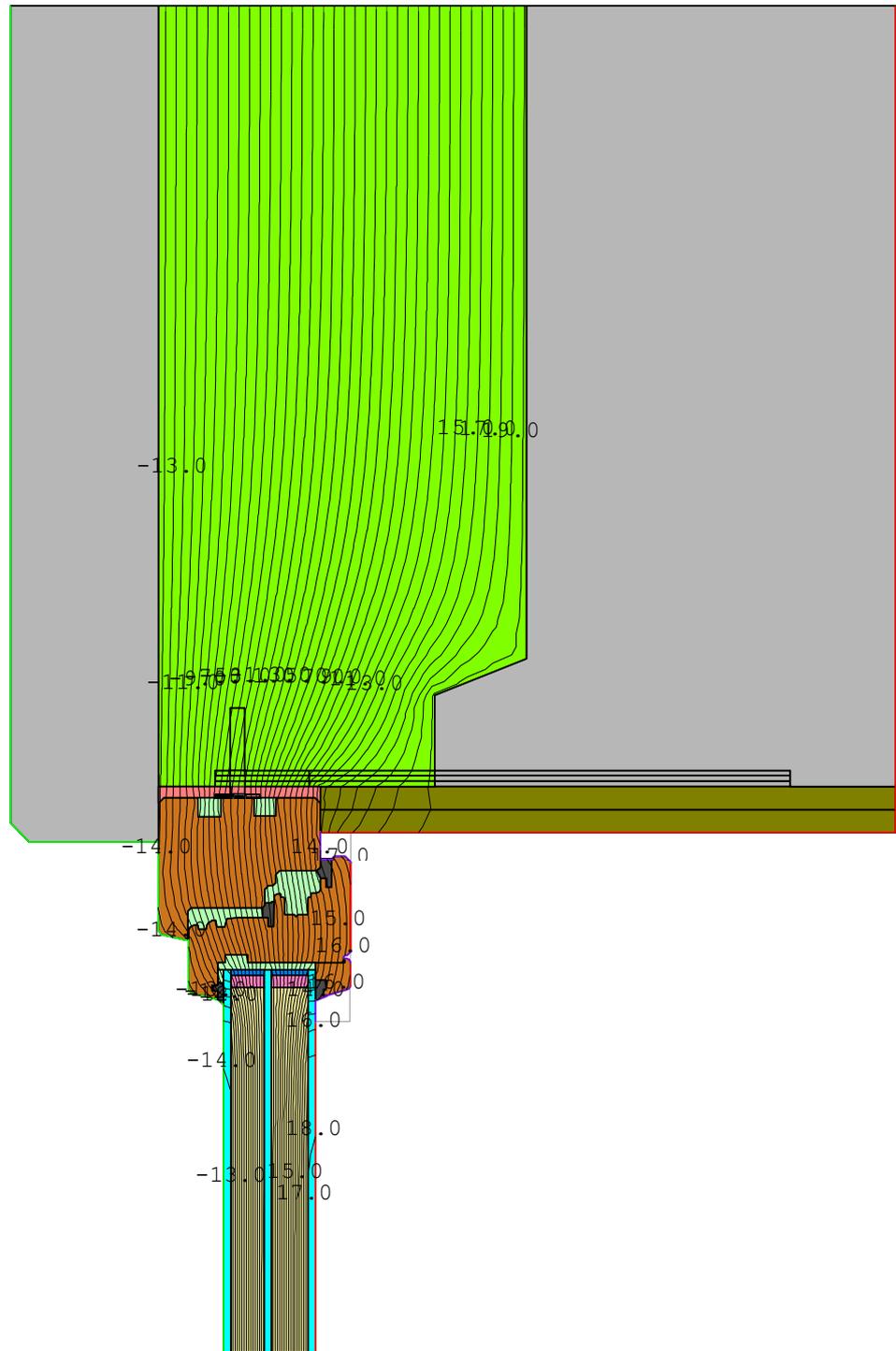
Värv	A (W/mK)	Materjali nimetus
	0.250	EPDM (EN 10077-2)
	1.000	glass
	0.130	Puit
	0.112	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_4
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_6
	0.400	Swisspacer Ultimate h1
	0.140	Swisspacer Ultimate h2
	0.026	argoonvahe (0,026)
	0.029	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_12
	0.061	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_15
	0.159	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_17
	0.034	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_19
	0.105	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_23
	0.057	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_25
	0.028	Frame Cavity - CEN Simplified_Cavity_26
	0.022	soojustus 0022
	0.045	Montaazivaht
	2.300	Raudbetoon
	0.250	Kipsplaat



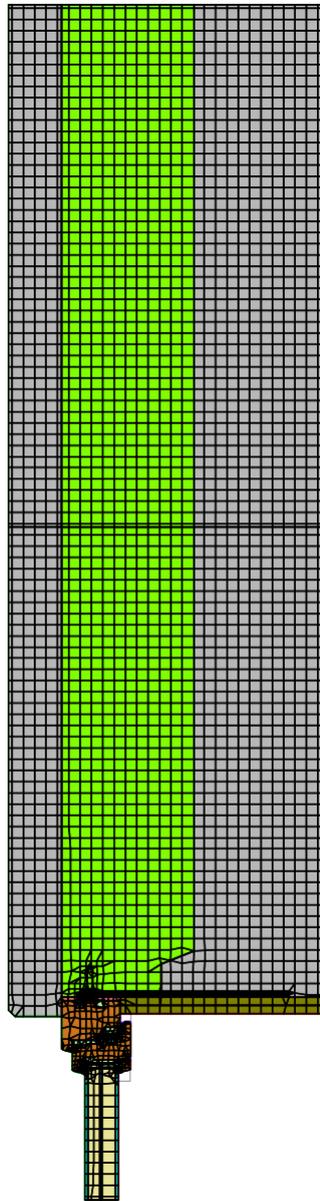
Joonis 2: Sõlme ristlõike arvutusmudeli joonis (mõõtudega)



Joonis 3: Sisepinna temperatuuriindeksi fRsi arvutusmudel ning madalaima pinnatemperatuuriga (ja fRsi indeksiga) punkti asukoht. Kõik punktid, mille kohal fRsi < 0.8 on märgitud punaste tähistega



Joonis 4: Isotermid külmasilla ristlõikel



Joonis 5: Lõplike elementide võrgustik külmasilla ristlõikel