VÕIMALUSI KÜLMASILDADE ARVUTUSTE LIHTSUSTAMISEKS

JAANUS HALLIK

TALTECH (Nearly Zero Energy Buildings Research Group)

Teadmistepõhine ehitus 2020 konverents Viru konverentsikeskuses 02.09.2020

TÄNANE TEEMA TAUST

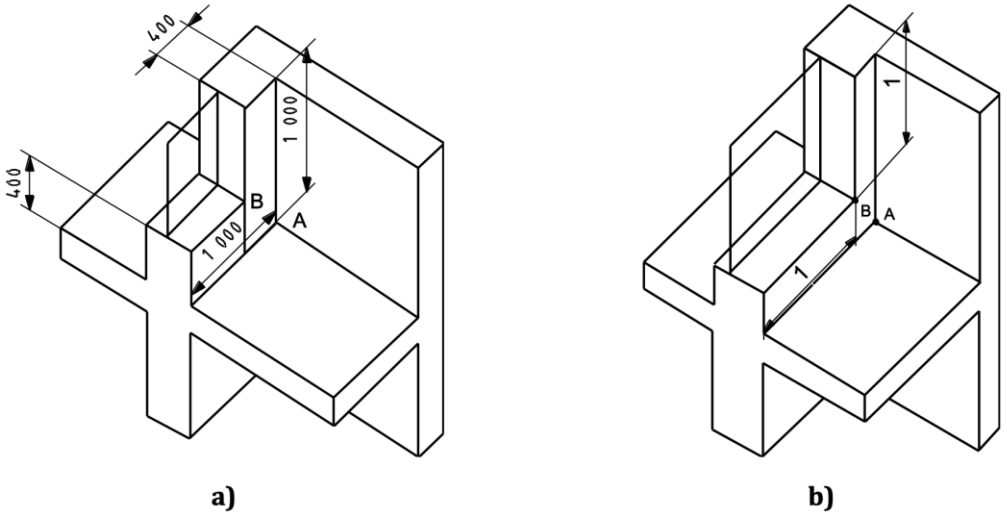
Hoonekarbi väga hea õhupidavuse tagamise ning soojustamise korral on külmasildadest tingitud täiendava soojuskao komponent välispiirete soojuskao kujunemisel oluline.

- Ilma projektspetsiifiliste väärtusteta on oht **üle-** või **alahinnata** külmasildade mõju
- Ilma projektispetsiifiliste väärtusteta on osade komposiitpiirete korral võimatu piirde tegelikku **soojusläbivust õigesti hinnata**!

Seetõttu on ka *"Hoone energiatõhususe arvutamise metoodika[1]"* määruses nõutud, et tarindi liitekoha ja soojustuse katkestuse soojusläbivuse väärtused määratakse **vastavalt ehitusprojekti andmetele** lähtudes **standardites EVS-EN ISO 10211**, EVS-EN ISO 10077, EVS-EN ISO 14683, ISO 15099 **toodud nõuetest**.

TAL TECH

TÄNANE TEEMA:
2 ASPEKTI KÜLMASILDADE ANALÜÜSI LIHTSUSTAMISEKS



1. EVS-EN ISO 10211:2017 standardis toodud reeglite alusel on vajalik enamiku **kombineeritud külmasildadega tarindi liitekohtade** kohta teha eraldi 2D numbriline arvutus.

2. Paljud **punktkülmasillad** (akna kandurid, nurgikud, suuremad terasplaadid puitkonstruktsioonis jne) jäävad täna praktikas arvesse võtmata, sest puudub ajaline ressurss või võimekus 3D numbriliste arvutuste teostamiseks.

7.2.2 3D geomeetrilise mudeli katkestustasapinnad kogusoojusvoolu ja/või pinnatemperatuuride arvutamisel

Geomeetrilise mudeli osad on keskelement/keskelemendid, külgelemendid ja vajadusel ka aluspinnas. Geomeetriline mudel on piiratud katkestustasapindadega.

Katkestustasapinnad tuleb positsioneerida järgmiselt:

— sümmeetriatasapinnale, juhul kui selle kaugus keskelemendist on väiksem kui d_{min} (vt joonis 5);

— keskelemendist vähemalt kaugusele d_{min}, kui lähemal asuv sümmeetriatasapind puudub (vt joonis 6);

— maapinnas jaotises 7.2.4 antud kaugusele,

kusjuures minimaalne kaugus keskelemendist ehk ühe piirdetarindi arvutusulatuse minimaalmõõt d_{min} on suurem kui 1 m või külgelemendi (liituva piirdetarindi) kolmekordne paksus.

Geomeetriline mudel võib sisaldada enam kui ühte külmasilda. Sel juhul peavad katkestustasapinnad paiknema iga külmasilla suhtes vähemalt d_{min} kaugusel või asuma sümmeetriatasapinnas (vt joonis 6).

---

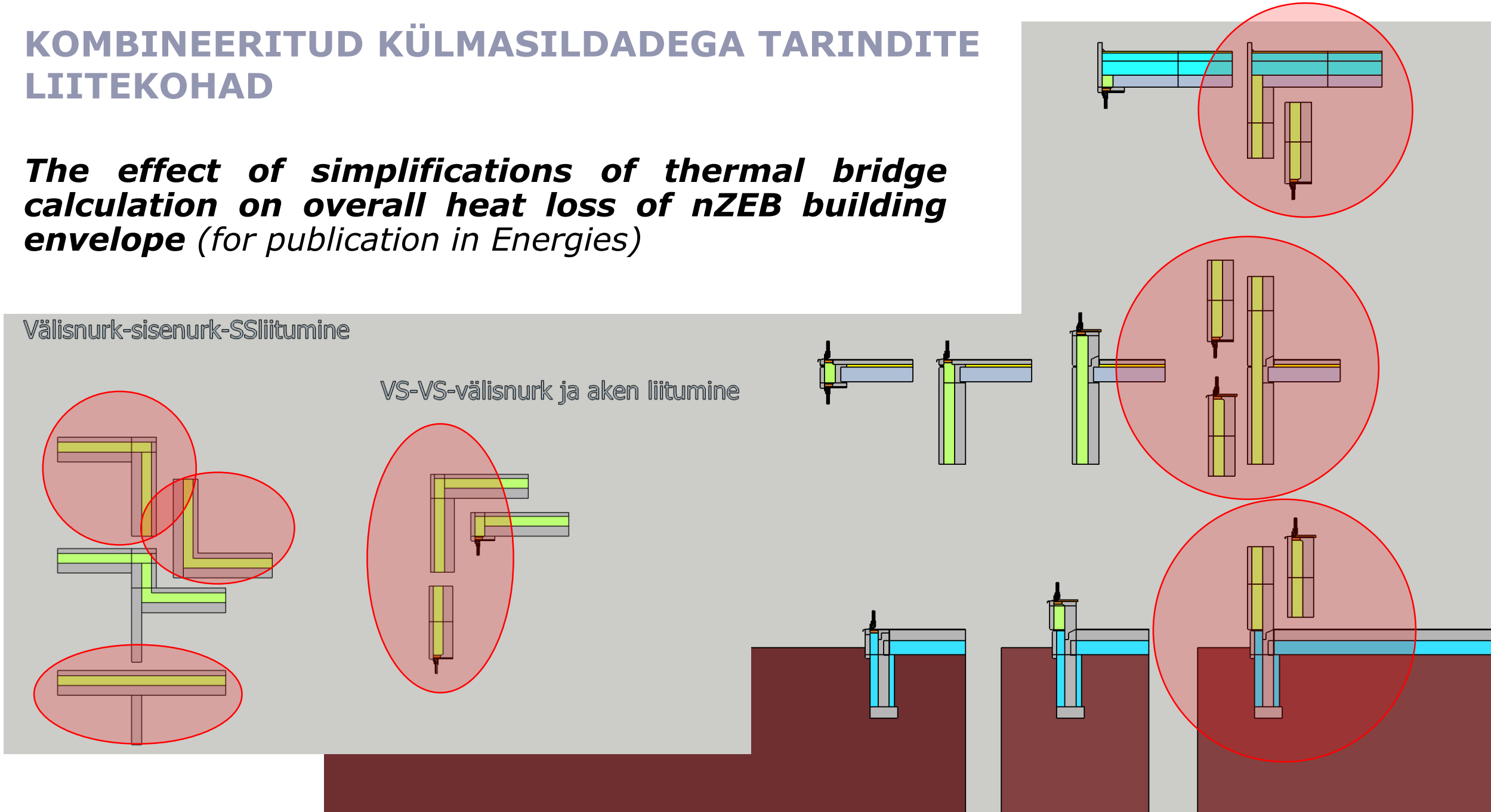
[6] EE MÄRKUS Eestis kehtivate hoonete energiaarvutuste põhimõtete järgi kasutatakse sisemõõte (ruumide kaupa modelleerimine) või üldisi sisemõõte (hoone modelleerimine ühe tsoonina) või nende kombinatsioone (üksikute ruumide modelleerimine suurema tsoonina).

[7] EE MÄRKUS Ehk soojuslikult adiabaatiline tasapind.

Allikas: EVS-EN ISO 10211:2017

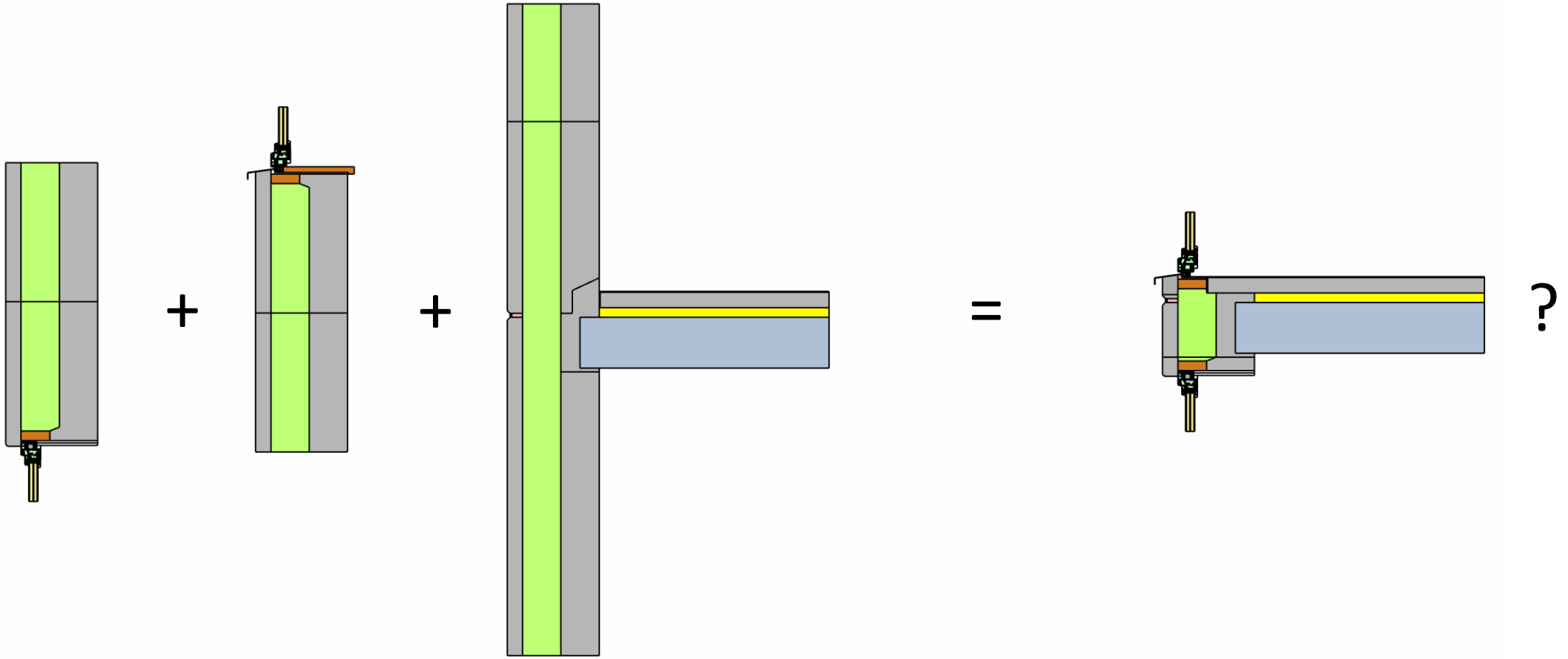
KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

The effect of simplifications of thermal bridge calculation on overall heat loss of nZEB building envelope *(for publication in Energies)*



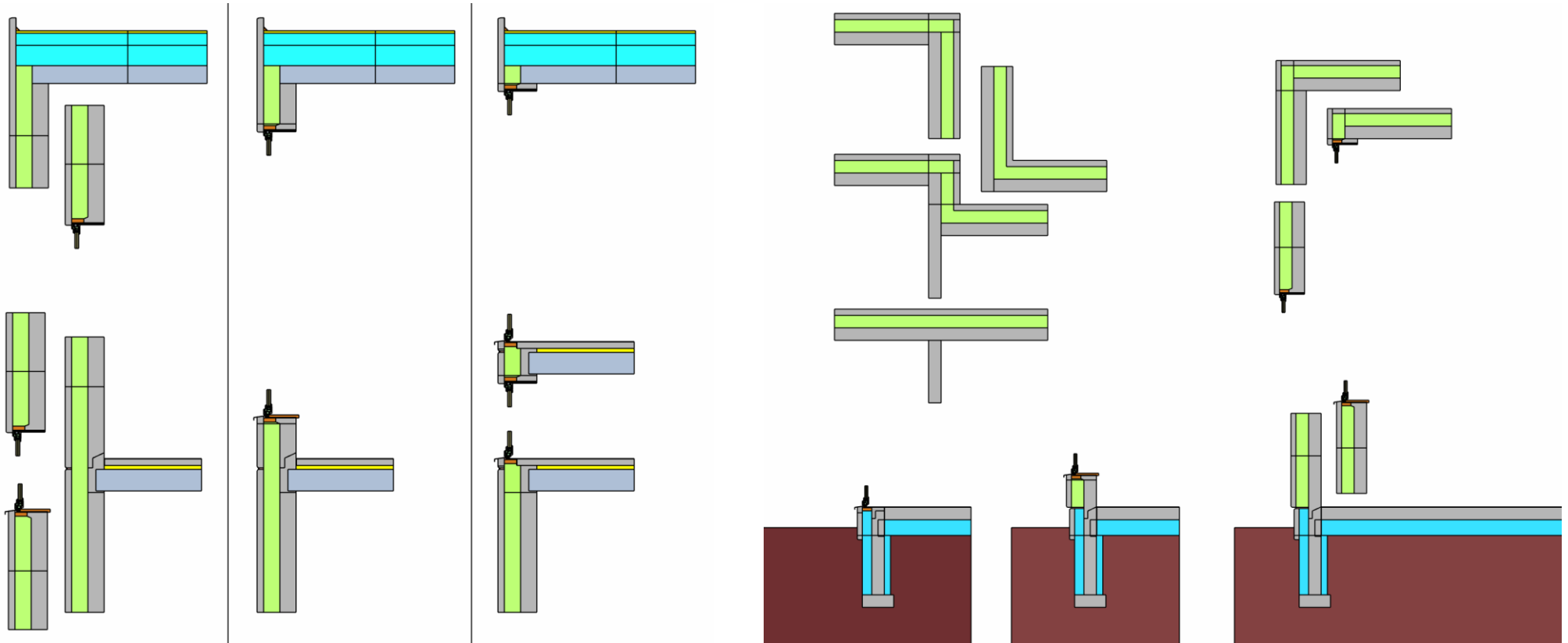
KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

- *Peamine uurimisküsimus: kas ühiksõlmede joonsoojusläbivuste liitmisel saab piisavalt täpselt ennustada kombineeritud külmasildadega tarindi liitekohtade joonsoojusläbivust*



KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

- *3 erinevat soojustusmaterjali (0.022; 0.033; 0.040 W/(mK))*
- *3 erinevat konstruktsiooni (RB-sandwitch, RB+soojustus., Bauroc+soojustus)*
- *3 geomeetrilist kombinatsiooni (standardi arvutusulatused, 500mm (2x250mm) arvutusulatus, külmasildade vahetu liitumine) kahele külmasillale samas liitekohas.*
- *Kokku 153 erinevat kombinatsiooni*



TAL TECH

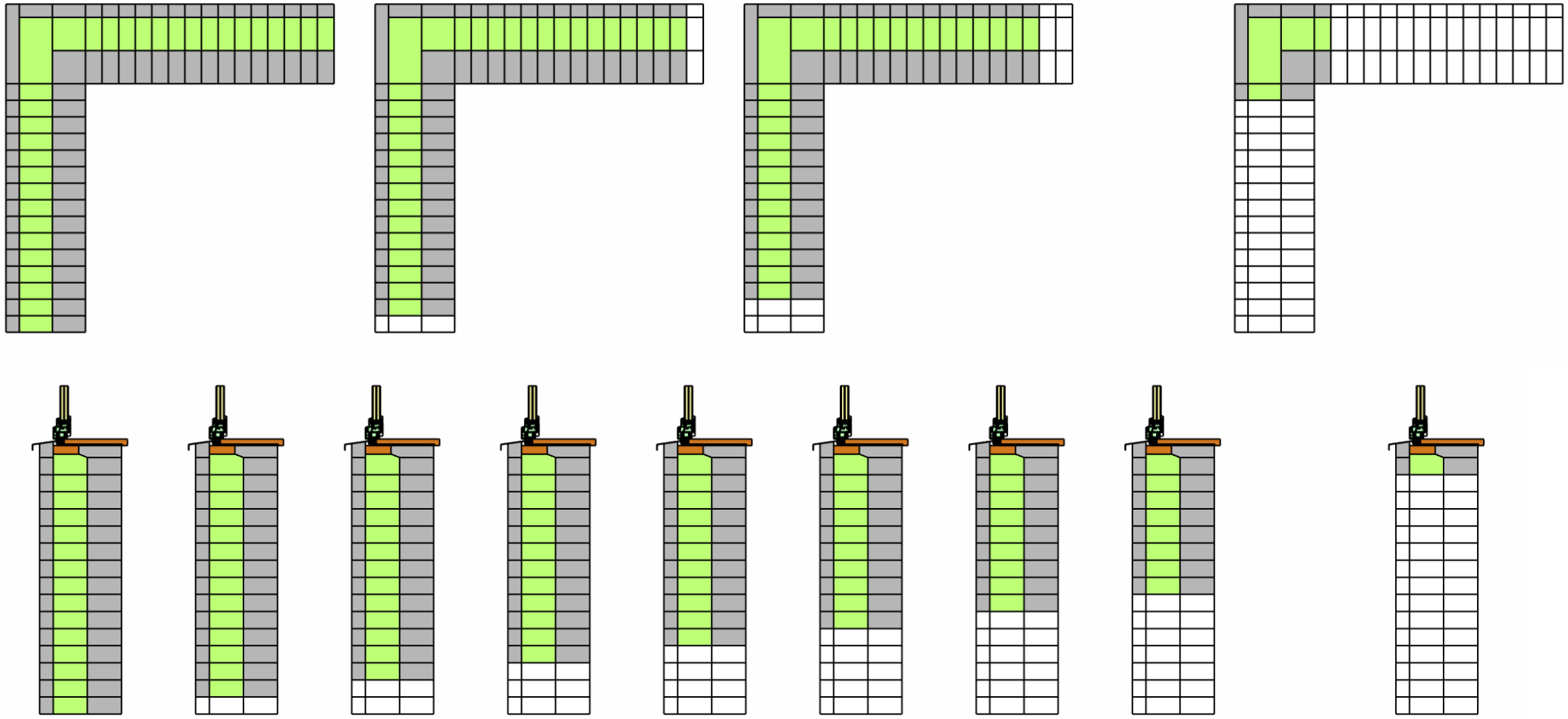
KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

- *Esmased arvutused näitasid, et **oluliselt lühem arvutusulatus** (2x250mm) tagab hästi soojustatud piirete puhul **piisava täpsuse** ühiksõlmede joonsoojusläbivuste aritmeetilisel kombineerimisel (erinevus enamasti <2%).*
- ***Külmasildade vahetul liitumisel** (nt aken-vahelagi liitumine jne) on tegelik joonsoojusläbivus suurem kui ühiksõlmede joonsoojusläbivuste summa (ca 20%) ehk lihtsustamisel soojuskadu alahinnatakse.*
- *Esmaste tulemuste põhjal vajalik eraldi tundlikkusanalüüs arvutusulatuse vähendamise mõju kohta (so kui lähestikku külmasillad võivad olla).*

SÕLMEDE KOMBINATSIOONID														ühiksõlmede summa	erinevus (reaalne - ÜS summa)	%	
														W/(mK)	W/(mK)		
VS välisnurk + sisenurk + SS liitumine	0,0220	15,3851	36,0	0,4274	0,1066	1,5000	0,1066	0,8000	0,1066	1,7000			**0,0010**	0,0000	0,0010	100%	abs.diff alla 0.005
VS välisnurk + sisenurk + SS liitumine	0,0330	22,6755	36,0	0,6299	0,1574	1,5000	0,1574	0,8000	0,1574	1,7000			**0,0002**	-0,0018	0,0020	1075%	abs.diff alla 0.005
VS välisnurk + sisenurk + SS liitumine	0,0400	27,1850	36,0	0,7551	0,1890	1,5000	0,1890	0,8000	0,1890	1,7000			**-0,0008**	-0,0035	0,0027	-363%	abs.diff alla 0.005
VS-KL + VS-Aken ülemine liitumine vahetult	0,0220	17,6113	36,0	0,4892	0,1066	0,0760	0,0519	1,9560			0,2846		**0,0949**	0,0944	0,0005	1%	abs.diff alla 0.005
VS-KL + VS-Aken ülemine liitumine vahetult	0,0330	20,1297	36,0	0,5592	0,1574	0,0760	0,0757	1,9560			0,2846		**0,1144**	0,1135	0,0009	1%	abs.diff alla 0.005
VS-KL + VS-Aken ülemine liitumine vahetult	0,0400	21,6666	36,0	0,6019	0,1890	0,0760	0,0902	1,9560			0,2846		**0,1264**	0,1251	0,0013	1%	abs.diff alla 0.005
VS-VS tavanurk + aken liitumine külgmine	0,0220	20,4078	36,0	0,5669	0,1066	0,0760	0,1066	1,5000			0,2976		**0,1013**	0,1004	0,0009	1%	abs.diff alla 0.005
VS-VS tavanurk + aken liitumine külgmine	0,0330	24,0893	36,0	0,6691	0,1574	0,0760	0,1574	1,5000			0,2976		**0,1235**	0,1215	0,0019	2%	abs.diff alla 0.005
VS-VS tavanurk + aken liitumine külgmine	0,0400	26,3644	36,0	0,7323	0,1890	0,0760	0,1890	1,5000			0,2976		**0,1369**	0,1342	0,0028	2%	abs.diff alla 0.005
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine 500mm	0,0220	22,2752	36,0	0,6188	0,1066	1,5000	0,1066	0,5380			0,2848		**0,1168**	0,1164	0,0004	0%	abs.diff alla 0.005
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine 500mm	0,0330	26,5834	36,0	0,7384	0,1574	1,5000	0,1574	0,5380			0,2848		**0,1328**	0,1325	0,0003	0%	abs.diff alla 0.005
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine 500mm	0,0400	29,2574	36,0	0,8127	0,1890	1,5000	0,1890	0,5380			0,2848		**0,1428**	0,1424	0,0004	0%	abs.diff alla 0.005
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine vahetult	0,0220	21,3567	36,0	0,5932	0,1066	1,5000					0,2848		**0,1486**	0,1164	0,0322	22%	summa väiksem kui tegelik
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine vahetult	0,0330	24,7610	36,0	0,6878	0,1574	1,5000					0,2848		**0,1669**	0,1325	0,0344	21%	summa väiksem kui tegelik
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine liitumine vahetult	0,0400	26,8741	36,0	0,7465	0,1890	1,5000					0,2848		**0,1783**	0,1424	0,0358	20%	summa väiksem kui tegelik
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine ja ülemine liitumine vahetult	0,0220	27,9658	36,0	0,7768	0,1066	0,0900					0,5694		**0,1978**	0,1645	0,0333	17%	summa väiksem kui tegelik
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine ja ülemine liitumine vahetult	0,0330	28,7274	36,0	0,7980	0,1574	0,0900					0,5694		**0,2144**	0,1786	0,0358	17%	summa väiksem kui tegelik
VS-VL liitumine + VS-Aken alumine ja ülemine liitumine vahetult	0,0400	29,2009	36,0	0,8111	0,1890	0,0900					0,5694		**0,2247**	0,1874	0,0373	17%	summa väiksem kui tegelik

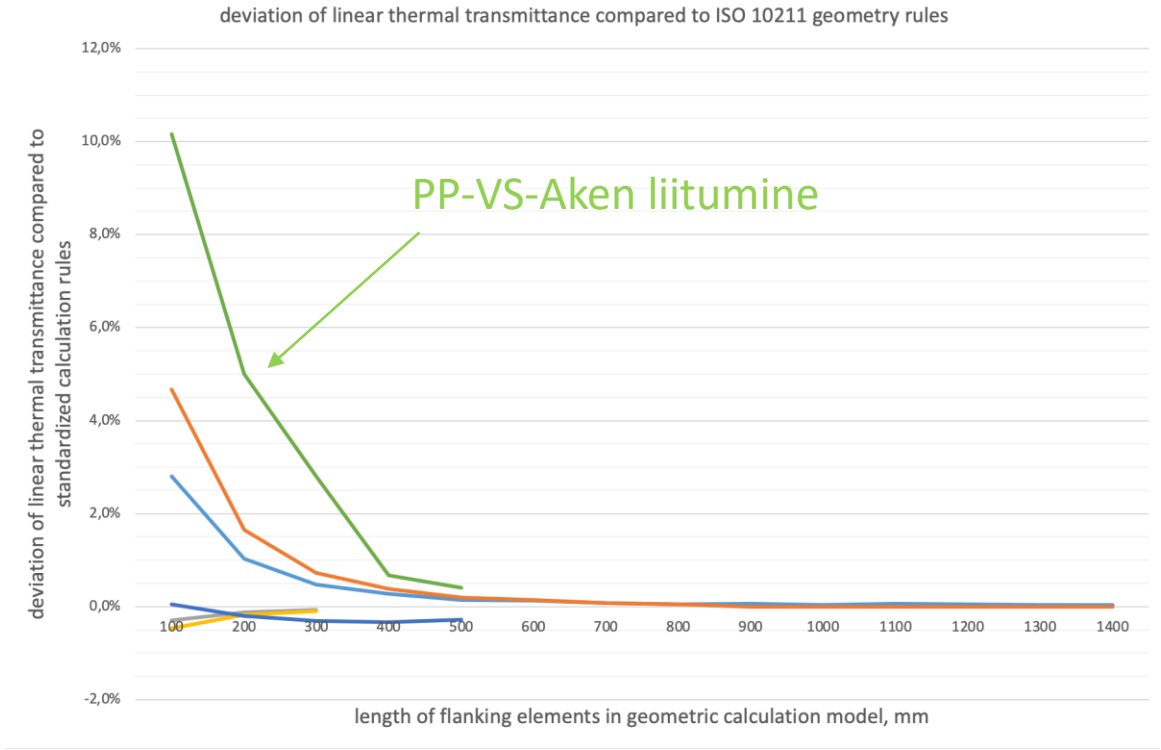
KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

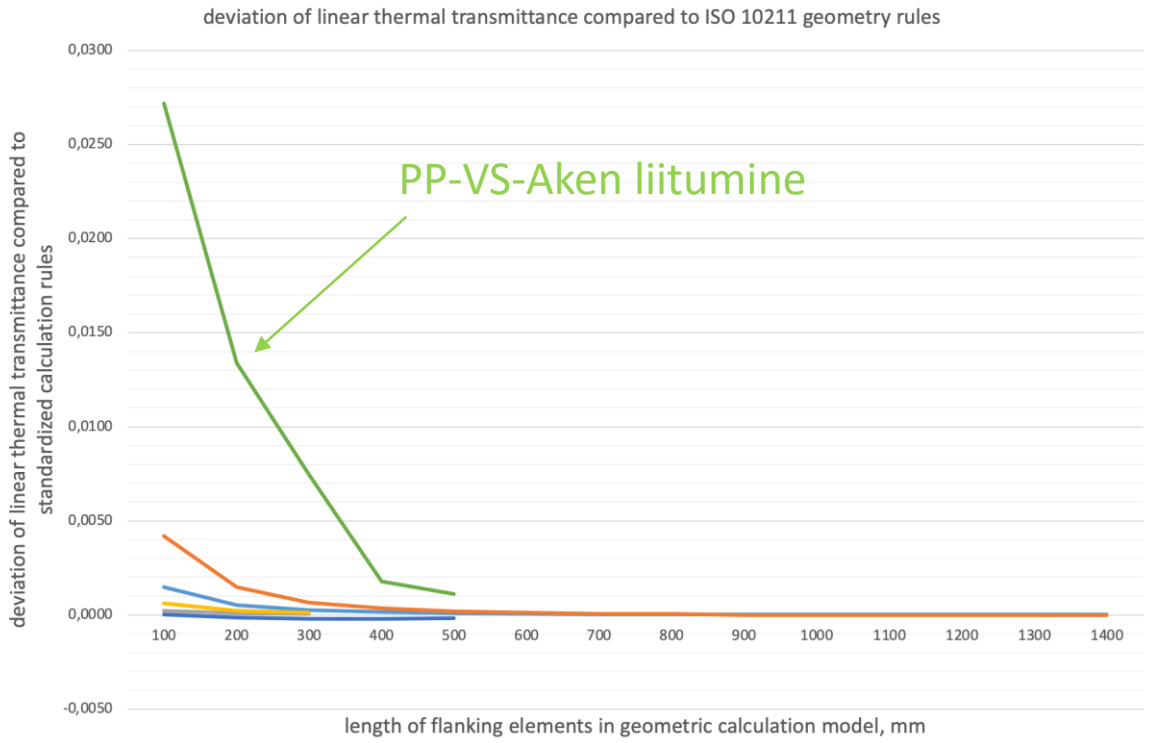
- *Täiendav tundlikkusanalüüs arvutusulatuse vähendamisel*



KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

- *Täiendav tundlikkusanalüüs arvutusulatuse vähendamisel*





Enamike sõlmede puhul hästi soojustatud piiretes tagab

- 100mm arvutusulatus täpsuse <5%
- 200mm arvutusulatus täpsuse <2%
- **Soklisõlme puhul vajalik seina arvutusulatus min 300mm!**

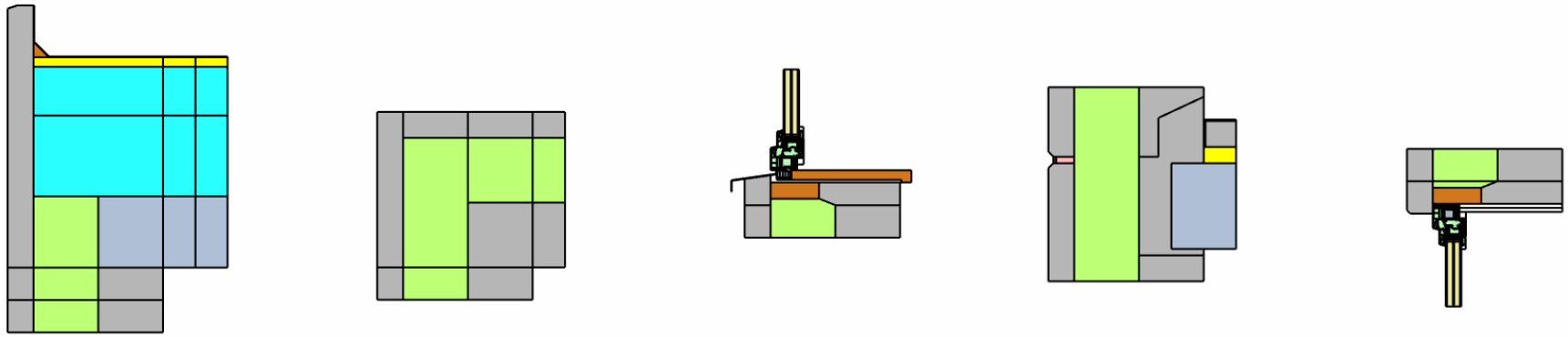
KOMBINEERITUD KÜLMASILDADEGA TARINDITE LIITEKOHAD

KOKKUVÕTTES:

- Pinnasel põrandaga külgnevate tarindisõlmede korral saab ühiksõlmede joonsoojusläbivused liita, kui täiendava külmasilla (nt akna liitumine) kaugus põranda nurgast on min 300mm

- Ülejäänud sõlmede puhul saab ühiksõlmede joonsoojusläbivused liit, kui täiendavate külmasildade omavaheline kaugus on min 100mm.

- Vahetult külgnevate erinevate külmasildade puhul tuleks joonsoojusläbivuste summale lisada varuna 20%.



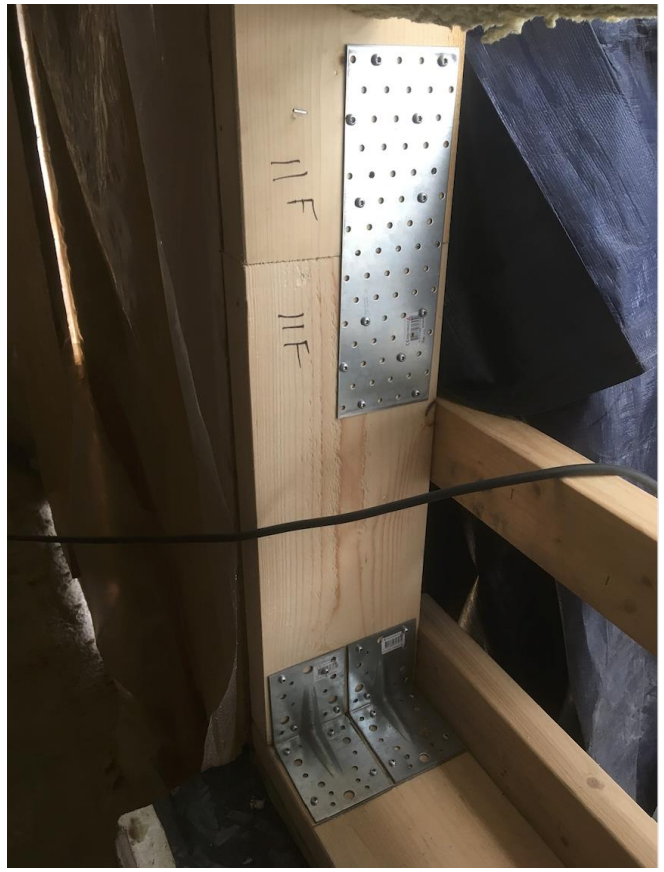
METALLKINNITITE PUNKTSOOJUSLÄBIVUSE LIHTSUSTATUD ANALÜÜS

Punktsoojusläbivuste arvutus vastavalt ISO 10211 standardile eeldab **3D soojuslevi** arvutust.

- Paljud **punktkülmasillad** (akna kandurid, nurgikud, suuremad terasplaadid puitkonstruktsioonis jne) jäävad täna praktikas arvesse võtmata, sest puudub ajaline ressurss või võimekus 3D numbriliste arvutuste teostamiseks.

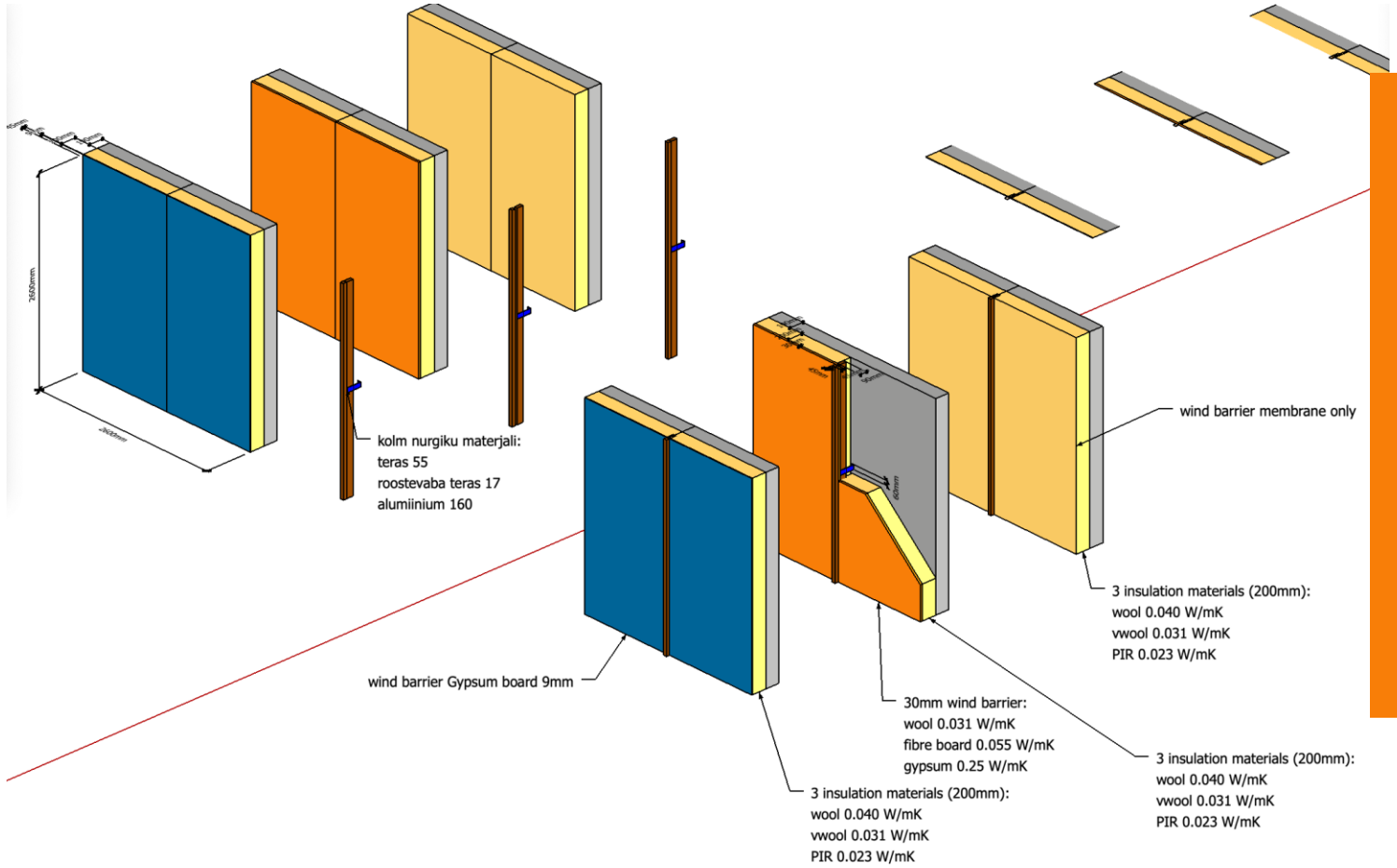
- Esmane analüüs näitas, et puitkarkassiga välispiirde korral võivad sellised metalldetailid suurendada soojusläbivust ca 3 - 8%

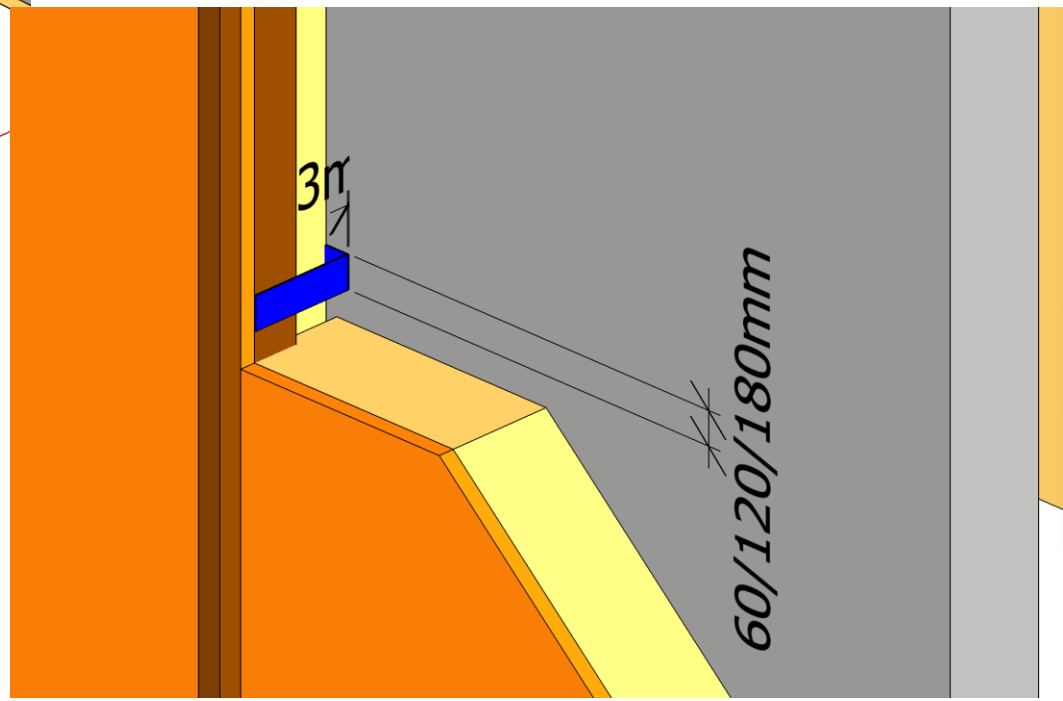
- Lisaks akna kinnitusnurgikud jne, mille mõju võib olla suurem



METALLKINNITITE PUNKTSOOJUSLÄBIVUSE LIHTSUSTATUD ANALÜÜS

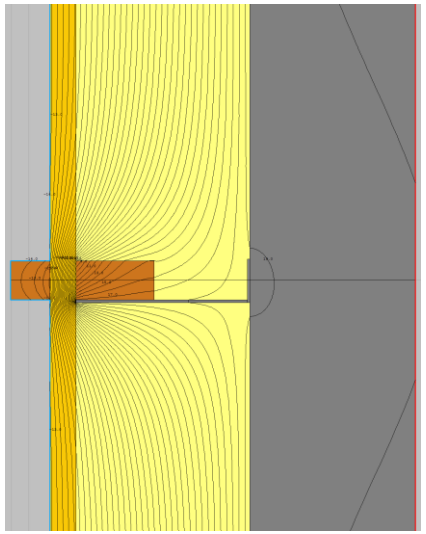
New method to estimate point thermal transmittance based on combined two-dimensional heat flow calculation**.** *NSB2020 conference (07.09.2020-09.09.2020 Tallinn).*



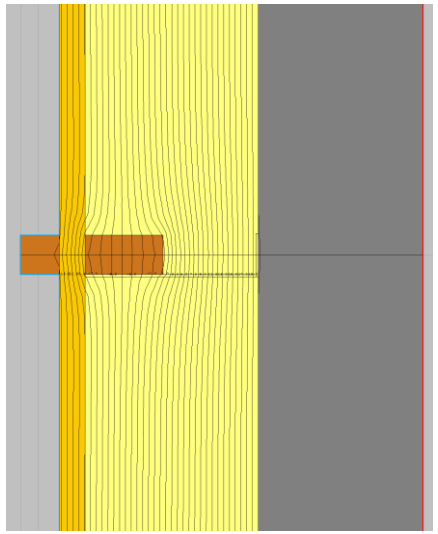


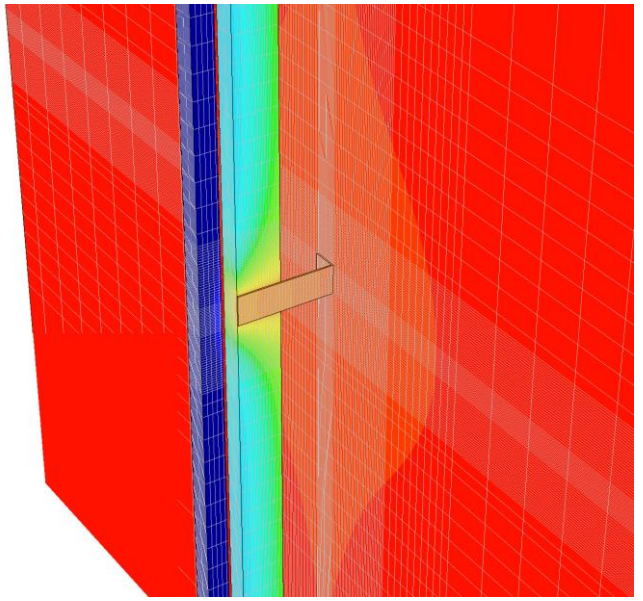
METALLKINNITITE PUNKTSOOJUSLÄBIVUSE LIHTSUSTATUD ANALÜÜS

L2D difference =



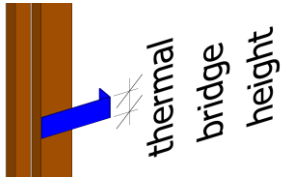
-

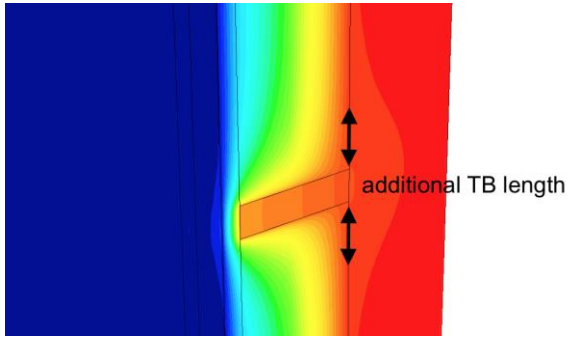




punktsoojusläbivus ~ **L2D difference** x (**equivalent thermal bridge height)**

Equivalent TB height = **TB height** + **estimated additional TB height**





TAL TECH

METALLKINNITITE PUNKTSOOJUSLÄBIVUSE LIHTSUSTATUD ANALÜÜS

- Varieeriti piirde põhikonstruktsiooni ja soojustuskihi materjale ja metallkinniti soojuserijuhtivusi (alumiinium, teras, roostevaba teras).
- Analüüsiti 3D soojuslevi tarkvaraga numbriliselt kokku 102 piirde ja kinniti kombinatsiooni
- Statistilisel analüüsil koostati tulemusi kirjeldav mitmene lineaarne regressioonimudel, mille abil on võimalik arvutada külmasilda tekitava detaili nö efektiivne kõrgus ja selle põhjal punktsoojusläbivus **kasutades kahte 2D ristlõike soojuserikao arvutust**.

Table 1. Variable parameters used in heat flow analysis.

	Description	λ, W/(mK)
Load bearing structure	0.19 m reinforced concrete 0.19 m aerated concrete	2.50 0.15
Insulation layer	typical mineral wool good mineral wool polyurethane foam	0.040 0.031 0.023
Wind barrier	0.009 m gypsum board 0.030 m gypsum board 0.030 m mineral wool board 0.030 m fibreboard only wind barrier membrane	0.250 0.250 0.031 0.055 (-)
Metal bracket	Regular steel Reinforced steel Aluminium	55.0 17.0 160.0

Estimated additional thermal bridge length can be used to calculate the point thermal transmittance of given thermal bridge as in equation 10.

$$\chi = (h_{add} + h_{TB}) \cdot (L_{2D} - L_{2Dref}) \qquad (10)$$

$$h_{add} = -1.078 \cdot 10^{-1} \cdot (L_{2D} - L_{2Dref}) + 1.732 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda_{TB} + 1.480 \cdot 10^{-1} \cdot h_{TB} + 4.162 \cdot 10^{-1} \cdot R_{el} \cdot (L_{2D} - L_{2Dref}) + 2.529 \cdot 10^{-2}$$

TÄNAN KUULAMAST

JAANUS HALLIK | jaanus.hallik@taltech.ee

TALTECH (Nearly Zero Energy Buildings Research Group)

Teadmistepõhine ehitus 2020 konverents Viru konverentsikeskuses 02.09.2020