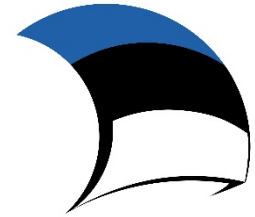




Euroopa Liit
Ühtekuuluvusfond



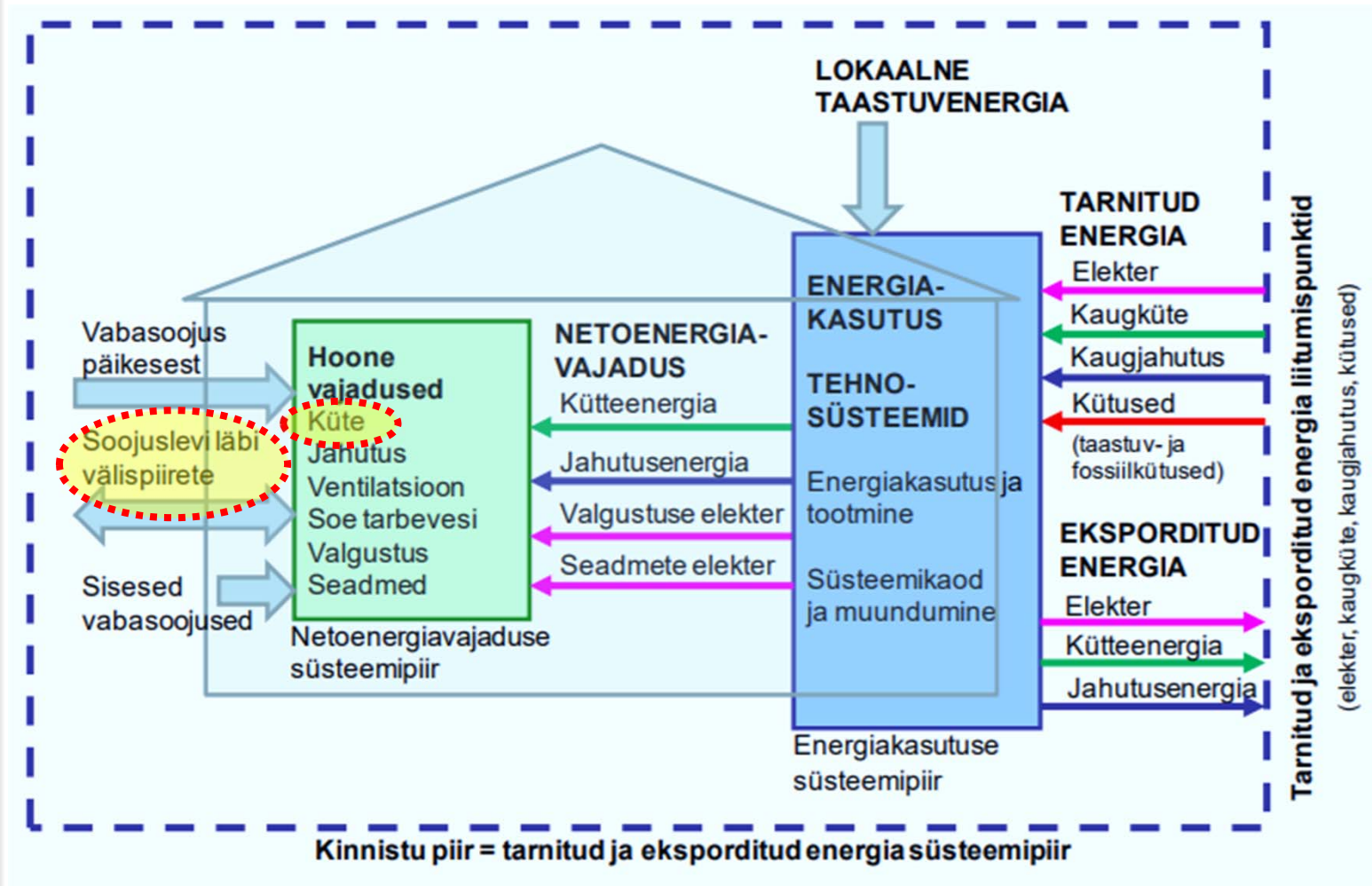
Eesti
tuleviku heaks

Joonsoojuslähbivuste arvutus ja õhulekke mõõtmine

Targo Kalamees

Liginullenergia infopäev 30.11.2017

Koht energiabilansis



Piirdetarindite soojuskadu H , W/K

- Tarindite liitekohad $\Psi \leq 0,02 \dots 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$: ~8-12%
- Õhulekked $q_{50} \leq 1 \text{ (1,5) m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$: 8-12%



Soojuslähivuskad läbi piirdetarindite				Soojuslähivuskad läbi piirdetarindite liitekohtade						Soojuslähivuskad läbi õhulekete	
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{\text{piirdetarind}}$ W/K	Liitekoht	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	χ_p W/K	α_p	$H_{\text{liitekoht}}$ W/K	Omadus	Suurus
Välissein 1				Välisseina välisnurk						Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	
Välissein 2				Välisseina sisenuk						Avälispiirded, m ²	
Katus 1				Katuslagi/välissein						Maapealsete korruste arv	
Katus 2				Pööningu põrand/välissein						$\dot{V}_{\text{inf}}$, m ³ /s	
Põrand 1				Põrand/välissein							
Põrand 2				Rõdu/välissein							
Aken 1				Katuslagi, vahesein							
Aken 2				Aken/sein alt							
Aken 3				Aken/sein külgedelt							
				Rõdu konsool							
Uks				Uks/sein							
jne				jne							
Kokku:	$H_{\text{soojuslähivus}}$, W/K	...		$H_{\text{liitekoht}}$, W/K						$H_{\text{õhulekke}}$, W/K	...
Kokku:	$A_{\text{välispiirded}}$, m ²	...									
Välispiirete summaarne soojuserikadu									ΣH , W/K		
Hoone koetatav pindala									A_{koetatav} , m ²		
Välispiirete summaarne soojuserikadu koetava pindala kohta									$\Sigma H / A_{\text{koetatav}}$, W/(m ² ·K)		
Taotluslik maksimaalne välispiirete summaarne soojuserikadu									$\Sigma H / A_{\text{koetatav}}$, W/(m ² ·K)		



JOON- JA PUNKTSOOJUSLÄBIVUS



Joon- ja punktsoojuslähbivuse arvutus

■ MTMm 58 § 12

- Tarindi liitekohta joonsoojuslähbivus ja soojustuse katkestuse punktsoojuslähbivus määratakse vastavalt ehitusprojekti andmetele.

- EVS-EN ISO 10211, EVS-EN ISO 10077, (EVS-EN ISO 14683, ISO 15099)

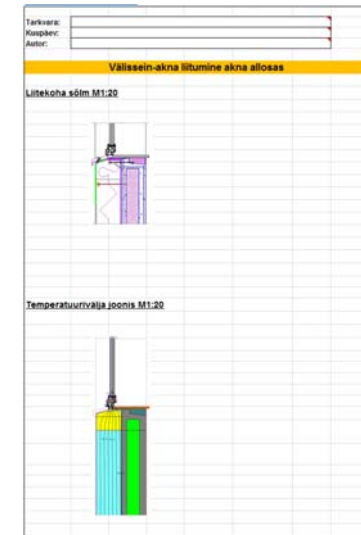
■ Peaprojekteerija korraldab

■ Esitatakse ehitusprojektis:

- tõendamine arvutuslikult,
- vajadusel termograafia

Tarkvara:	
Kuupäev:	
Autor:	

Välissein-akna liitumine akna allas			
Lähteandmed	R_{se} m ² K/W	α_{se} W/(m ² K)	θ_{se} °C
Välispind (välis/ste)	0.04	25.0	-15.0
Välispind (sisene)	0	1000	7.8
Reeglid: Joonsoojuslähbivuse arvutamine			
- Hoonetähtsuse soojusvoo (sest)	0.13	7.7	21.0
- Soojusvoo üle (lõu)	0.1	10.0	21.0
- Soojusvoo alla (põrand)	0.17	5.9	21.0
Reeglid: Kõrvalist liitumise hindamine			
- Hoonetähtsuse soojusvoo (sest)	0.25	4.0	21.0
- Soojusvoo üle (lõu)	0.1	10.0	21.0
Ste- ja välissein: temperatuuride vahet. 6-8,			36.0 K
Liitumise tarindite soojuslähbivused			
1. liitumise tarindite soojuslähbivus, U_{1i}		0.1369	W/m ² K
2. liitumise tarindite soojuslähbivus, U_{2i}		1.845	W/m ² K
Liitumise tarindite arvutuslähbivus (arvutuslähbivus)			
1. liitumise tarindite arvutuslähbivus, f_{1i} (välismõõdud)		1638	mm
2. liitumise tarindite arvutuslähbivus, f_{2i} (sisemõõdud)		1638	mm
3. liitumise tarindite arvutuslähbivus, f_{3i} (sisemõõdud)		702	mm
4. liitumise tarindite arvutuslähbivus, f_{4i} (välismõõdud)		702	mm
Tarindite liitekohta arvutuslähbivus soojusvool. Φ		59	W
Madalaim sisetemperatuur		11.7	°C
Kõrvalist liitumise soojusvoolu ja joonsoojuslähbivused			
Liitumise tarindite arvutuslähbivus soojusvoolu (2D arvutuslähbivus, U_{1i})		1.628	W/(m ² K)
Liitumise tarindite arvutuslähbivus liitumise (1D) soojusvoolu (sisemõõdud), $U_{1i} \times f_{1i} = U_{1i} \times f_{1i}$		1.519	W/(m ² K)
Liitumise tarindite arvutuslähbivus liitumise (1D) soojusvoolu (välismõõdud), $U_{1i} \times f_{1i} = U_{1i} \times f_{1i}$		1.519	W/(m ² K)
Tarindite liitekohta joonsoojuslähbivus W (sisemõõdud)		0.109	W/(m ² K)
Tarindite liitekohta joonsoojuslähbivus W (välismõõdud)		0.109	W/(m ² K)
Tarindite liitekohta soojuse minimaalne temperatuurideks f_{1i}		0.742	
Eeldatakse, et elamute liitumise temperatuurideks püsivuseks $f_{1i} > 0.8$.			
Eeldatakse, et elamute liitumise temperatuurideks püsivuseks $f_{1i} > 0.7$.			

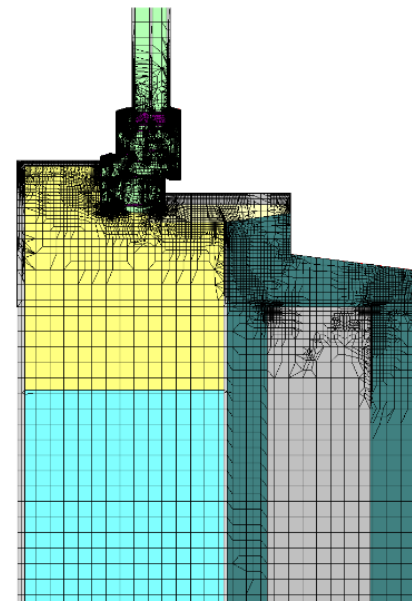
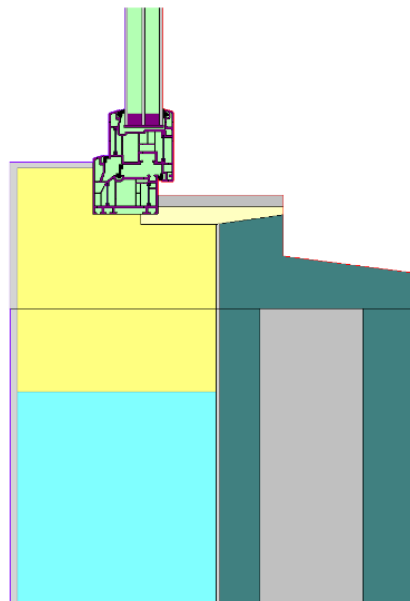
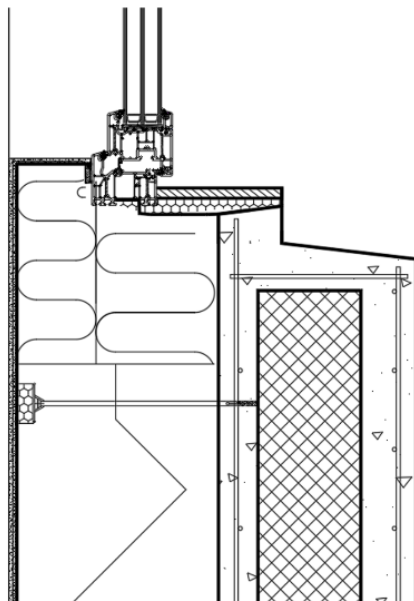


Arvutusjuhis

■ Arvutuspõhimõtted

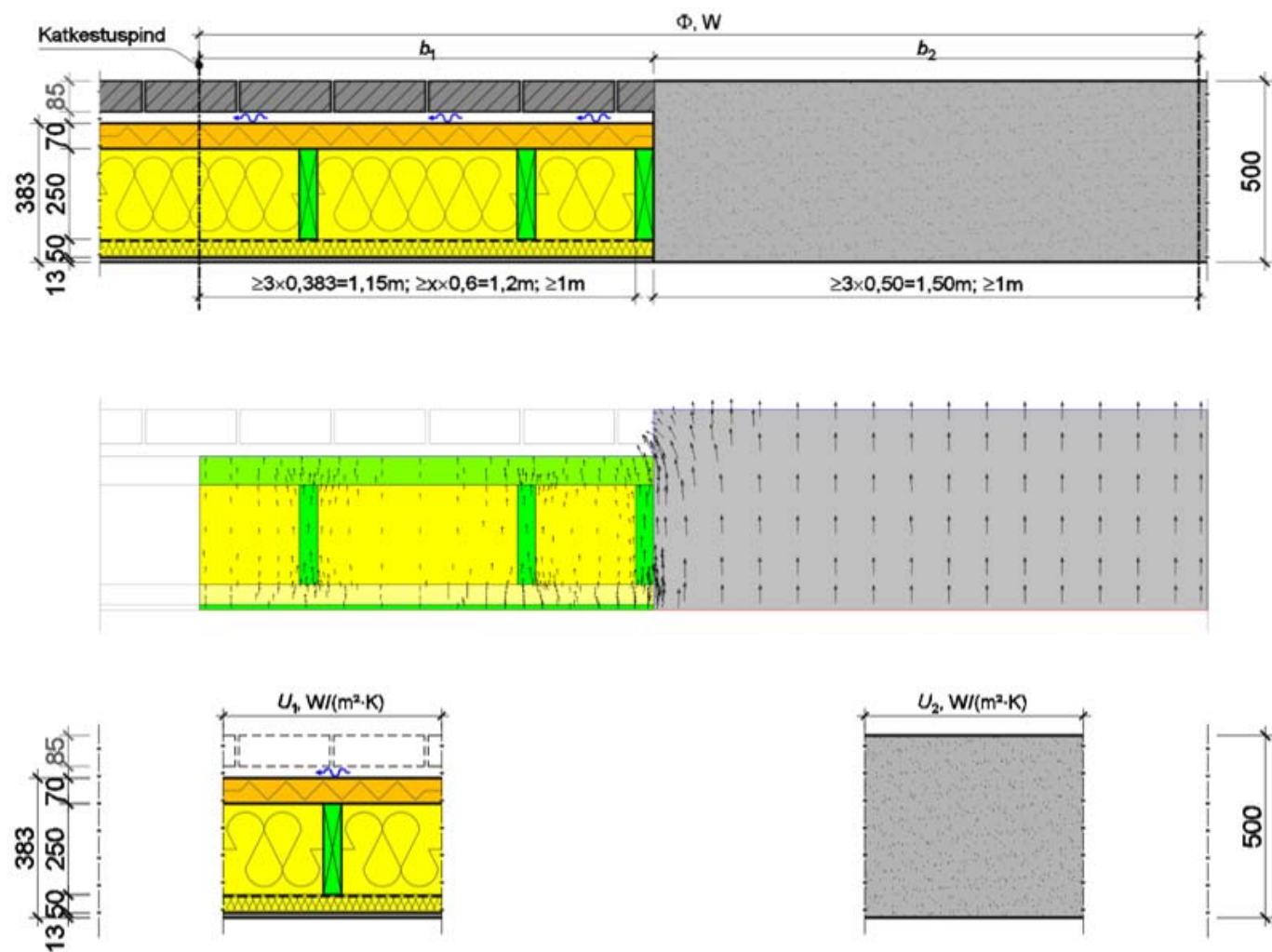
$$L_{2D} = \frac{\Phi}{(t_i - t_e)}, \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$\Psi_j = L_{2D} - \sum_{x=1}^N U_x \cdot b_x, \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$



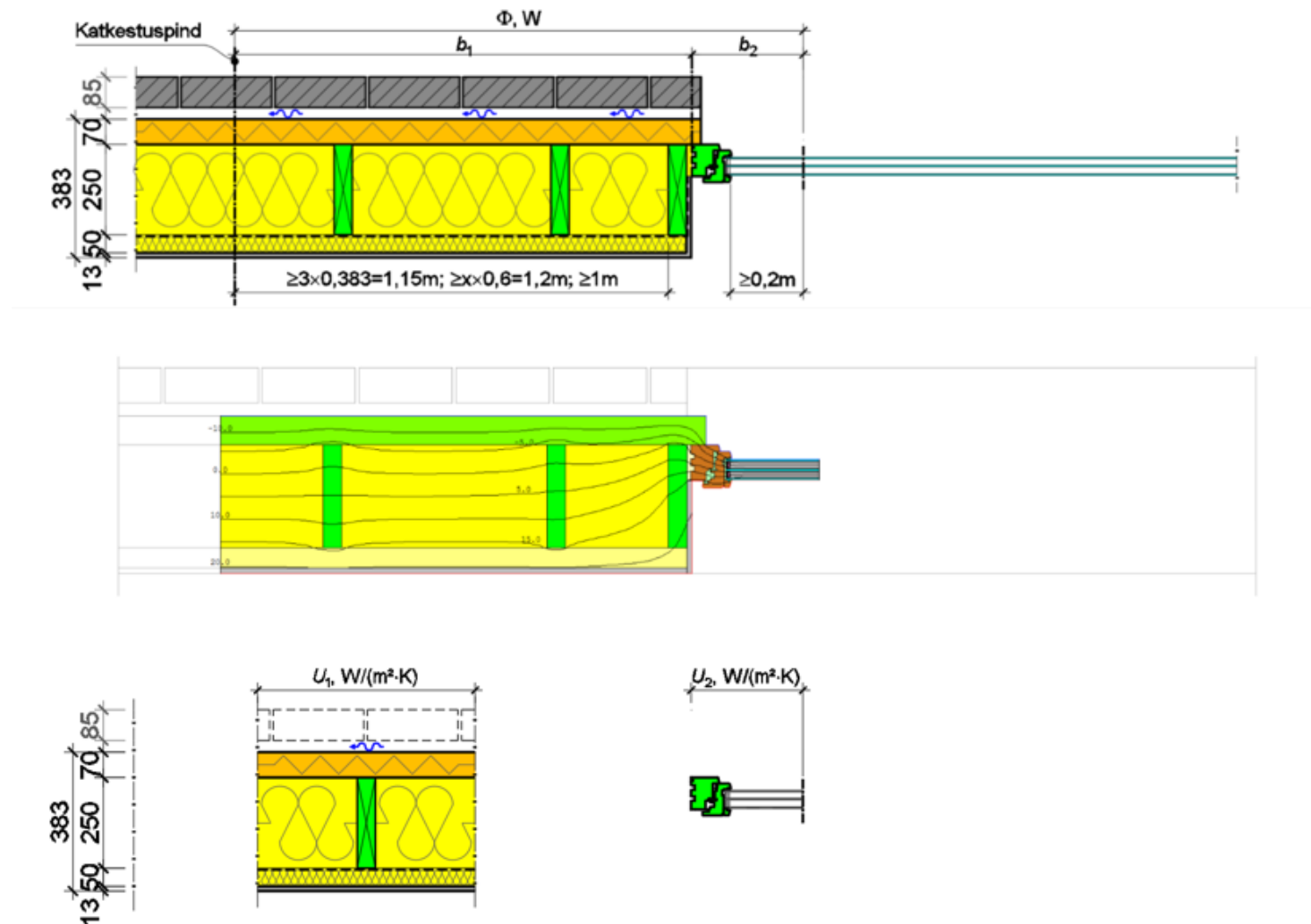
Arvutus „samm-sammult“

- Kahe tasapinnalise tarindi liitumine



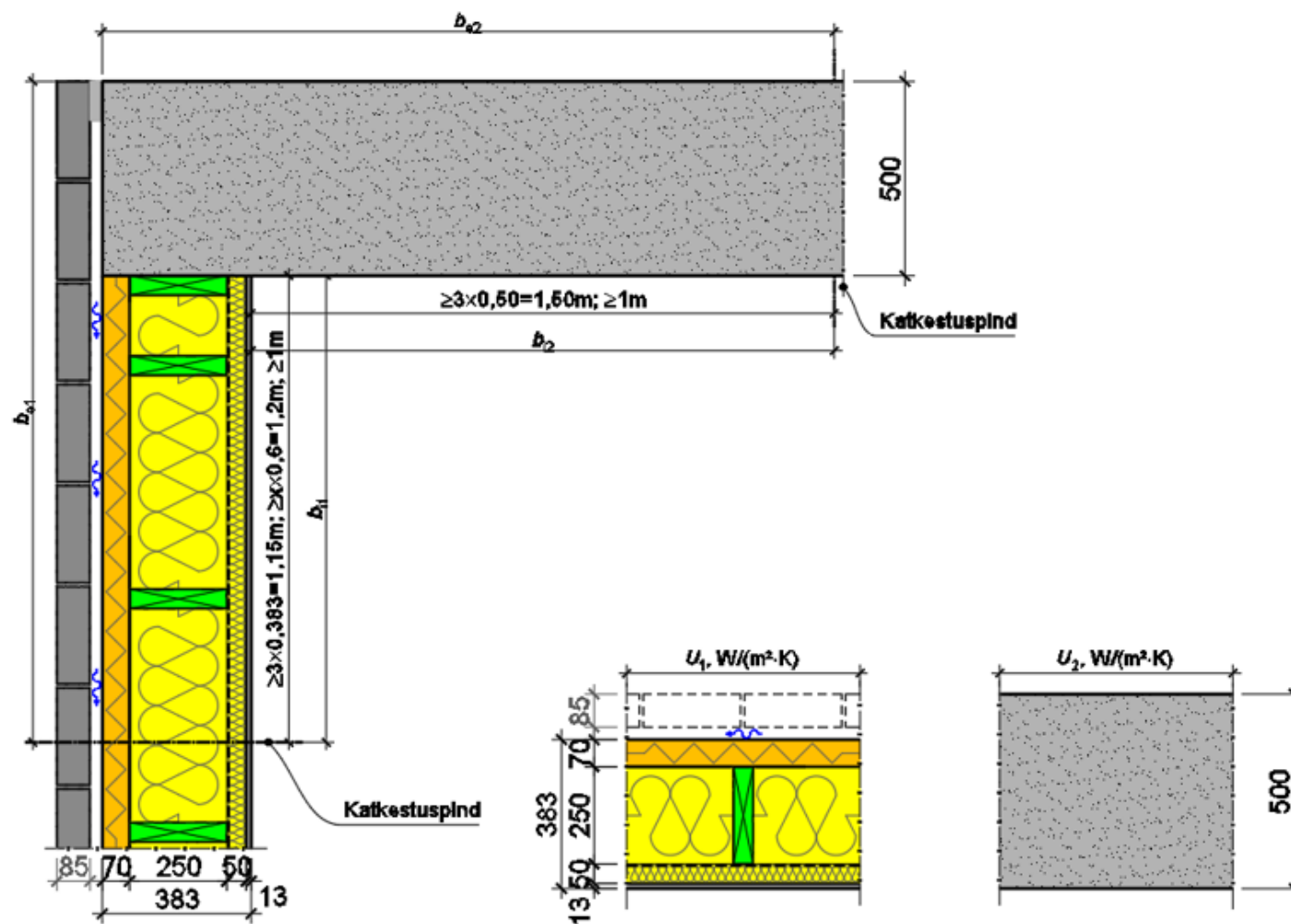
Arvutus „samm-sammult“

- Akna ja seina liitumine



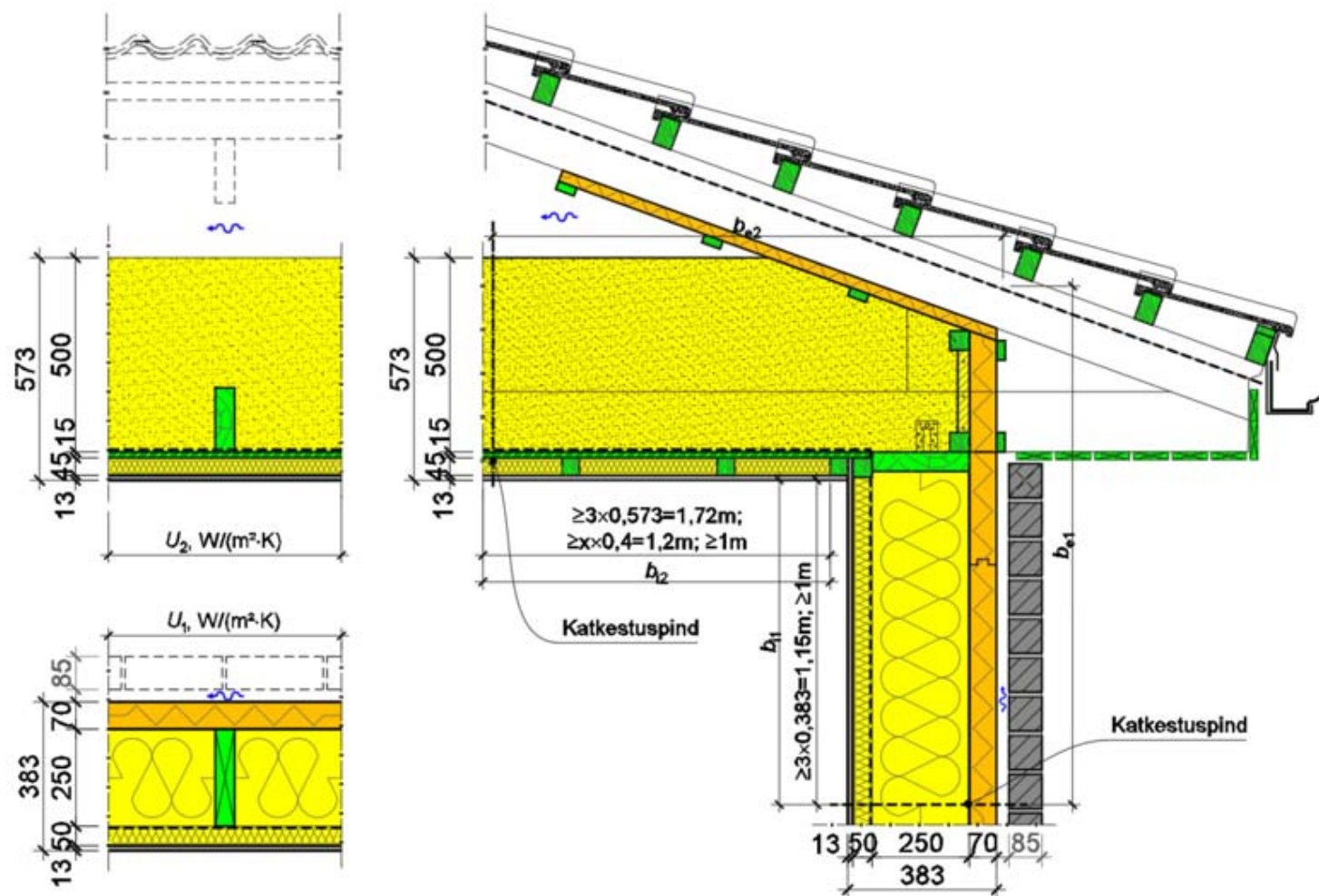
Arvutus „samm-sammult“

- Kahe välisseina liitekoht välisnurgas



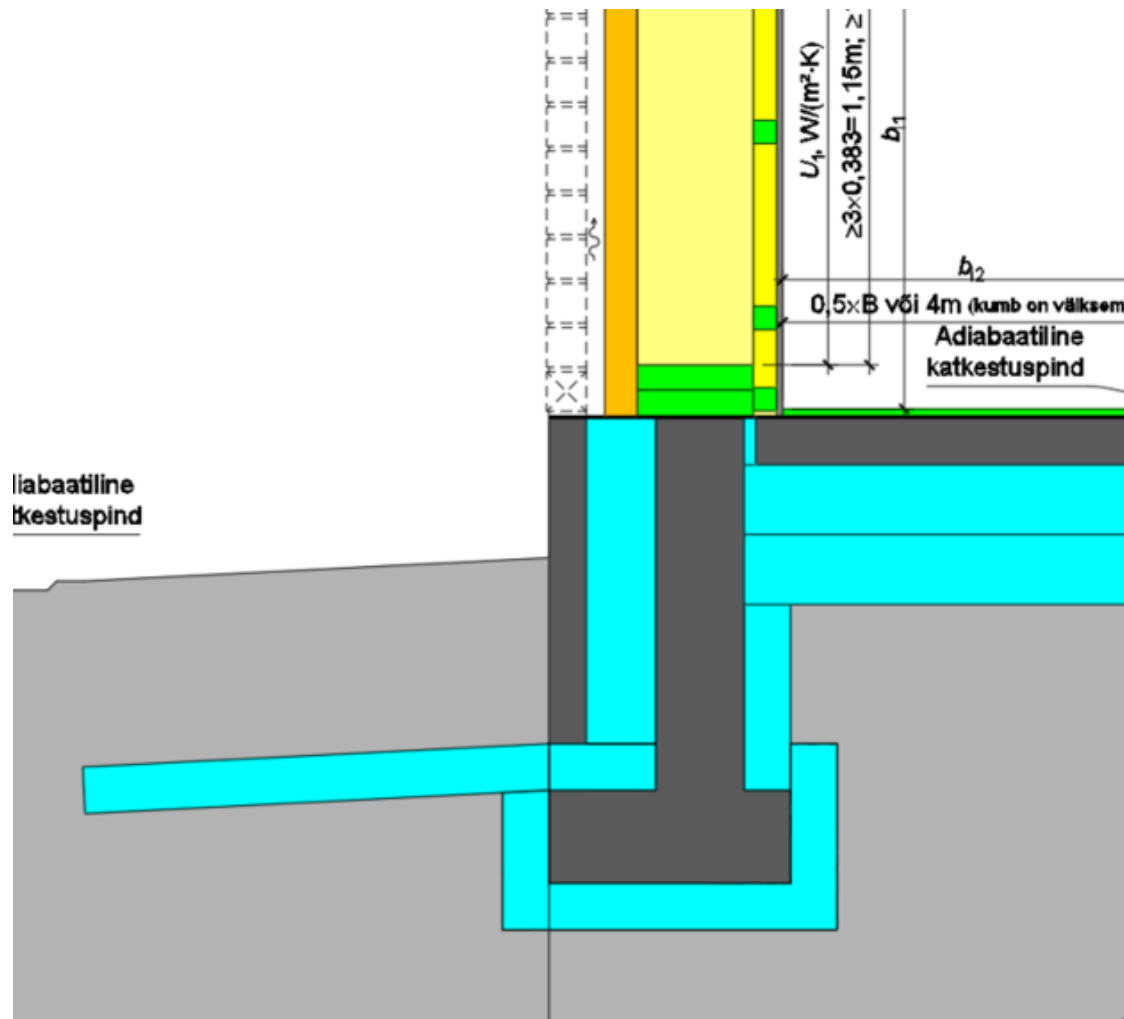
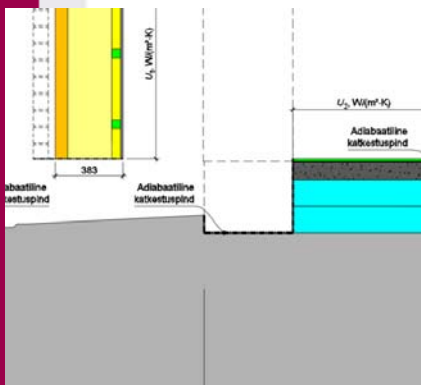
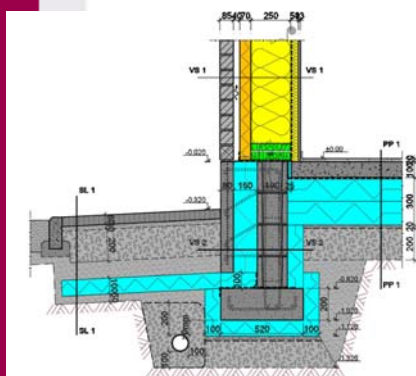
Arvutus „samm-sammult“

- Räästa sõlm



Arvutus „samm-sammult“

- Sokli sõlm





Külmasilla kriitilisuse hindamine

■ **Temperatuuriindeksi** abil

$$f_{R_{si}} = \frac{t_{si} - t_e}{t_i - t_e} = \frac{R_T - R_{si}}{R_T}$$

R_{si} , 0,13 (m²·K)/W

(akende juures servades või kahe pinna vahelises ühenduses, kus on vähendatud kiirgus/konvektsioon)

R_{si} , 0,25 (m²·K)/W

(valgust mitteläbilaskvate tarindite pindadel)

Temperatuuriindeksite piirsuurused Eesti hoonete projekteerimise ja soojusliku kvaliteedi hindamisel (EVS-EN ISO 13788, 2012).

Niiskusklass	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{R_{si},min}$	
	Uued hooned ja rekonstrueeritud hooned	Enne 2000 aastat ehitatud või rekonstrueeritud hooned olemasoleva olukorra hindamiseks
3	$\geq 0,8$	$\geq 0,8$
≤ 2	$\geq 0,8$	$\geq 0,65$

Temperatuuriindeksite piirsuurused Eesti hoonete projekteerimise

Niiskusklass	Temperatuuriindeksi piirsuurus $f_{R_{si},min}$
3	$\geq 0,7$
≤ 2	$\geq 0,55$



Piirdetarindite õhulekked

■ Nõuded

- Hoone välispiirde keskmine õhulekkearv ei tohi ületada $q_{E50} \leq 1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
- Niiskuskonvektsiooni riski vältimiseks tuleb tarindi kriitilised sõlmed lahendada võimalikult õhkupidavatena.
- Kui hoone energiatõhususe nõuetele vastavuse tõendamiseks on tehtud energiaarvutus, siis hoone välispiirde keskmine õhulekkearv ei tohi ületada energiaarvutuses kasutatud väärtust.



Piirdetarindite õhulekked

■ Meethodid

■ Mõõtmised

- TTÜ uuringus: 37 objektil: 12 eramus, 21 korteris ja tervikuna 5 mitmekorruselises korterelamus
- Kõik mõõtmised Eestis (Sense OÜ, Soojuspilt OÜ, Helioest OÜ, Jõgioja Ehitusfüüsika KB OÜ, Vertia Oy, Insinööritoimisto Entec, Nordisk Termografi Konsult, Termopilt OÜ, Soojusaudit OÜ, Tervemaja OÜ)
 - o391 eramut (187 eramut on ehitatud pärast 2008) ja
 - o336 korterit 209 erinevast kortermajast (43 kortermaja >2008))

■ Deklareeritud õhulekkearv

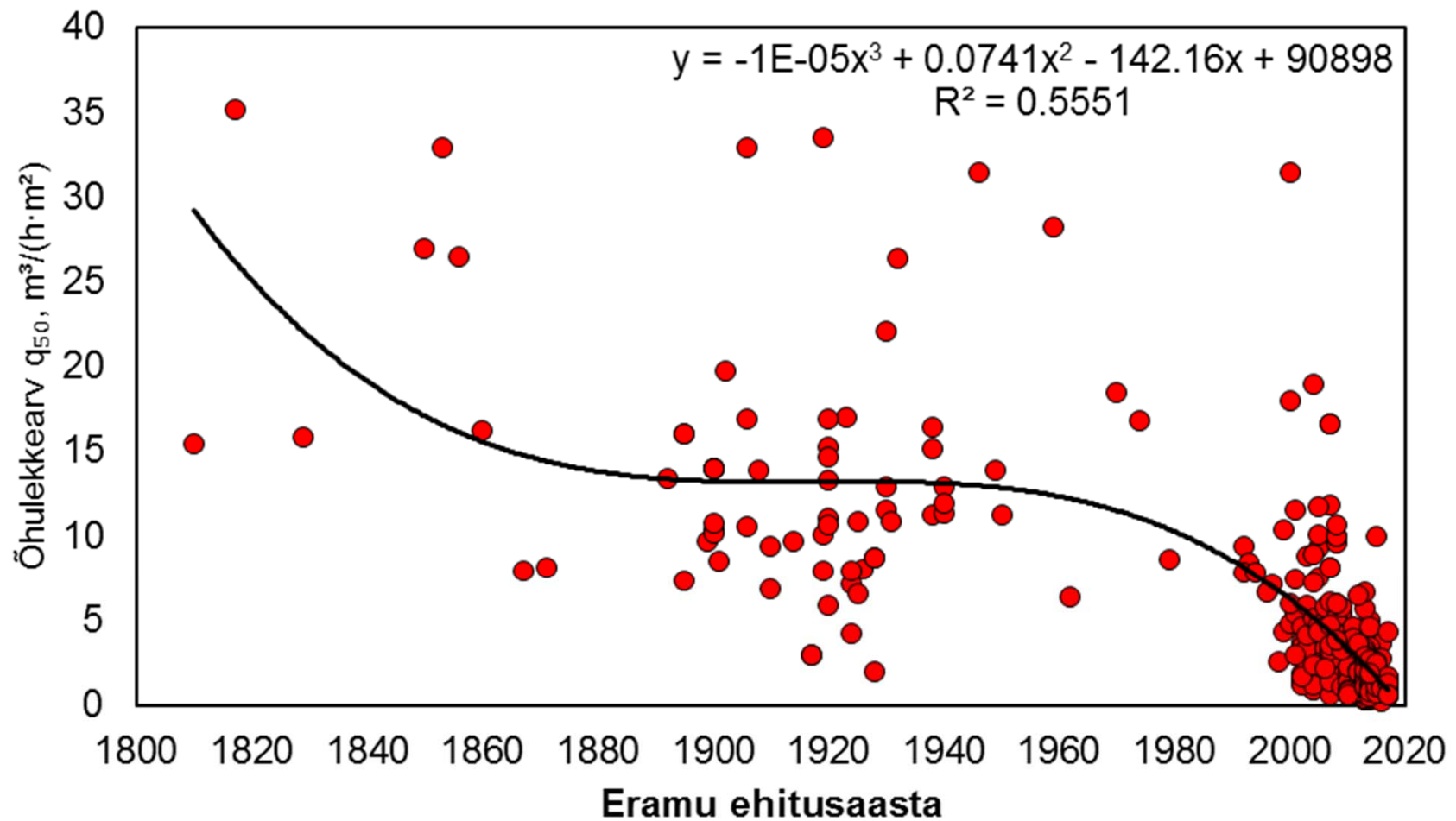
hoonetest 75% vastab õhulekkearvu suurusele 84% tõenäosusega

$$q_{50, \text{dekl}} = \overline{q_{50}} + k \cdot \sigma_{q_{50}}$$

- Uuring 2008 „Elamute õhulekkearvu baasväärtuse välja.selgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise metoodika väljatöötamine“
- Soome ehitusteabe kaart RT 80-10974

Piirdetarindite õhulekked

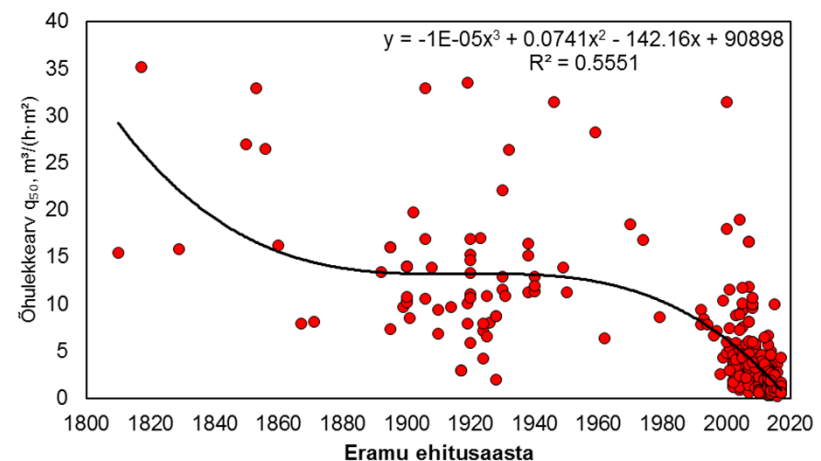
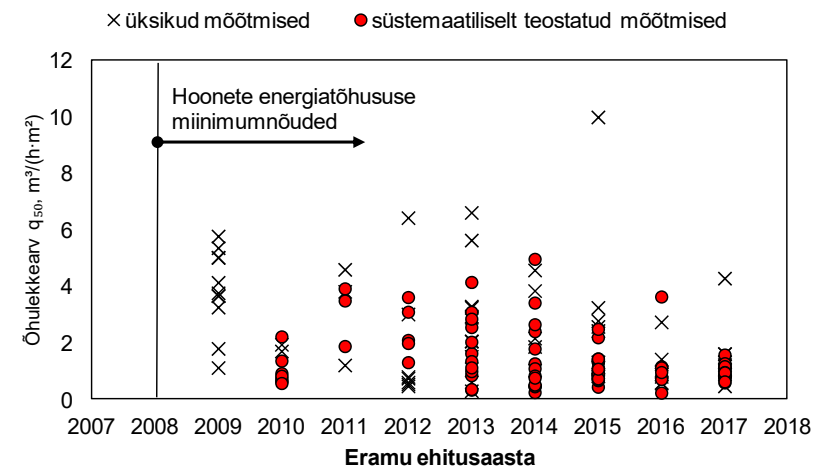
- Tulemused: **Väikeelamud**



Piirdetarindite õhulekked

■ Tulemused: Väikeelamud

	$q_{E50.baas},$ $m^3/(h \cdot m^2)$
Pärast 2008 a. ehitatud hooned	
Kõik mõõtmised (160-170 hoonet)	3,0
Ühel ettevõttel ≥ 5 mõõtmise (96-98 hoonet)	2,1
Üksikud teostatud mõõtmised (64-72 hoonet)	4,0
Treipalkseinad (26-36 tk)	4,4
Liimpalkseinad (22-24 tk)	2,1
Puitkarkassein, moodul, element (63-72 tk)	1,6
Puitkarkassein, kohapeal ehitatud (12-18 tk)	6,3
Väikeplok, tellis, betoon (23 tk.)	2,6





Piirdetarindite õhulekked

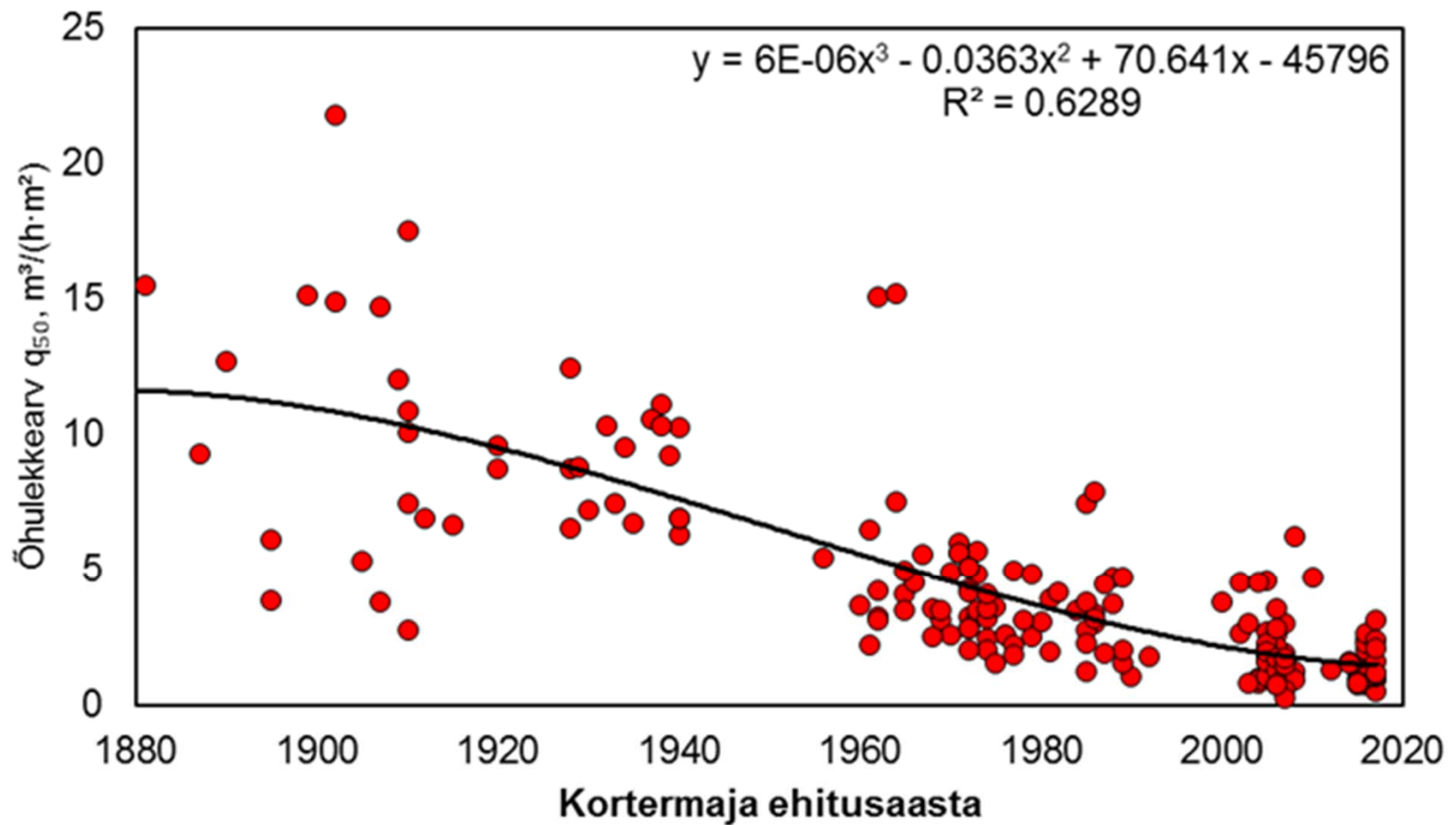
- Tulemused: Väikeelamud
- **Deklareeritud õhulekkeavud**

Tabel 1.3 Mõõtetulemuste alusel arvutatud deklareeritud õhulekkearvu väärtused.

Konstruktsiooni tüüp	Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50\ dekl.}$ $m^3/(h \cdot m^2)$	Keskmine õhulekkearv $q_{E50\ keskm.}$ $m^3/(h \cdot m^2)$	Mõõtmiste arv	Mõõtmiste tegemise aeg
Puitmoodul	0,91	0,77	5	2010 - 2010
Puitmoodul	1,3	1,2	6	2017 - 2017
Puitelement	0,49	0,39	8	2013 - 2016
Puitelement	1,0	0,9	14	2015 - 2017
Puitelement	1,5	1,2	30	2006 - 2017
Puitelement	2,6	1,7	26	2011 - 2017
Puitelement	3,8	2,3	6	2006 - 2017
Käsitöö palkmaja	4,8	3,7	5	2009 - 2016

Piirdetarindite õhulekked

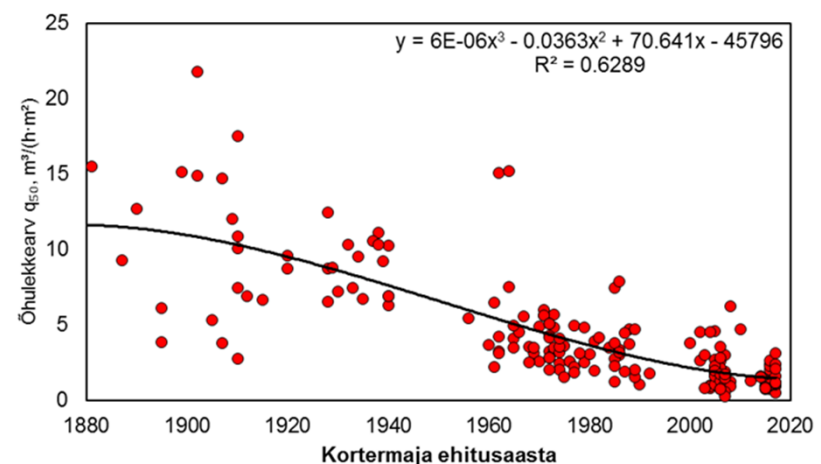
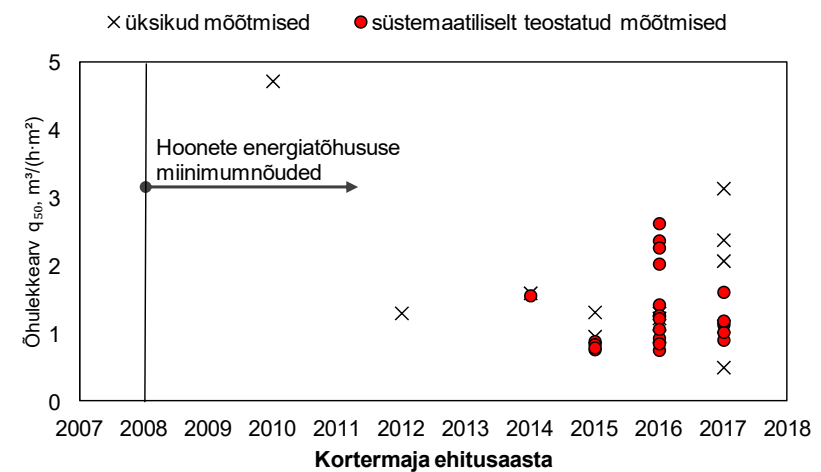
- Tulemused: **Korterelamud**



Piirdetarindite õhulekked

■ Tulemused: **Korterelamud**

	q_{E50} baas, $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$
Pärast 2008 a. ehitatud hooned	
Kõik mõõtmised (33-37 hoonet, 73-89 korterit)	2,1
Ettevõtte teostab süsteemselt mõõtmisi (23-25 hoonet, 55-59 korterit)	1,8
Üksikud teostatud mõõtmised (10-14 hoonet, 18-30 korterit)	2,7
Monteeritav raudbetoon suurpaneel (15-20 hoonet, 30-43 korterit)	2,4
Väikeplokki (7-11 hoonet, 27-35 korterit)	2,2
Puitelement või -moodul (6-10 hoonet, 11-15 korterit)	1,3





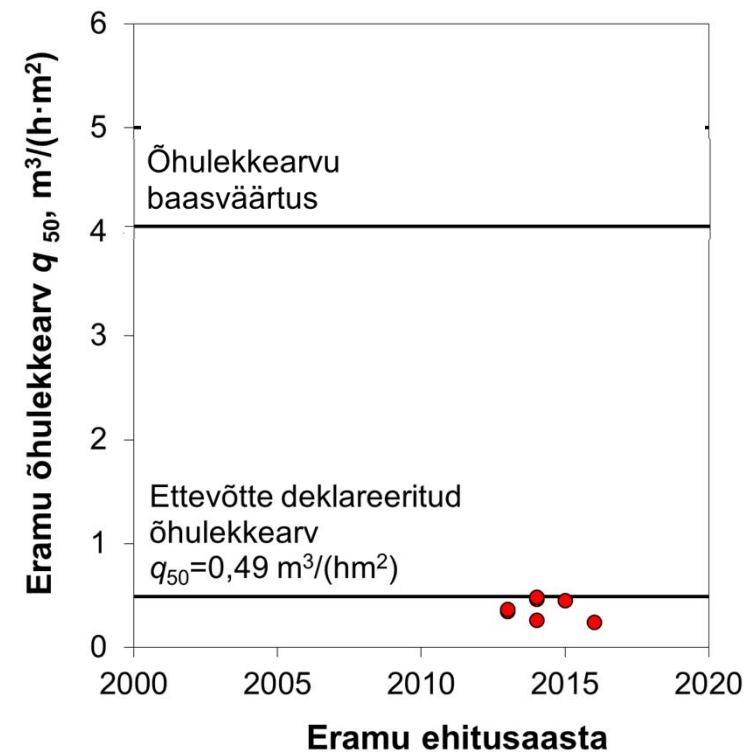
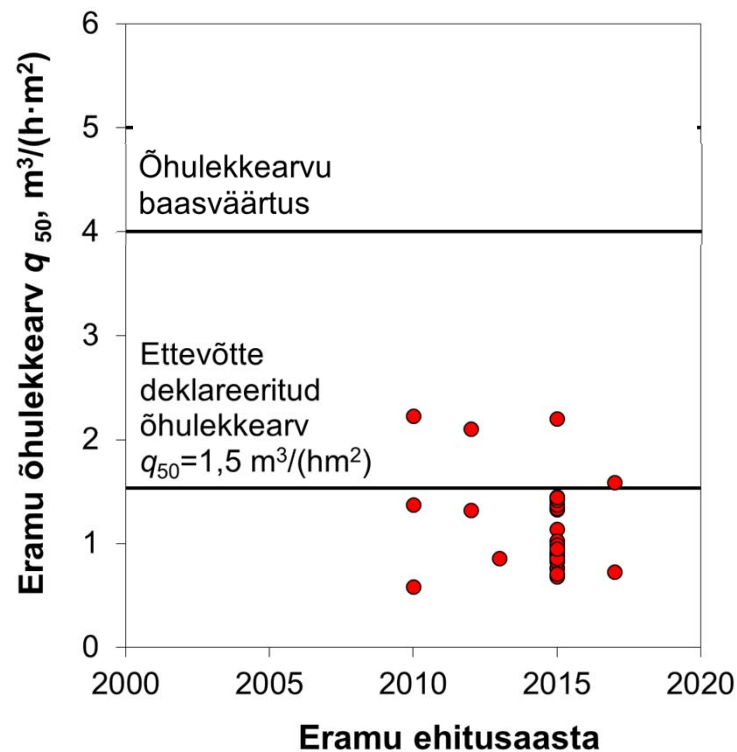
Õhulekkearv energia-arvutustes

- Hoone projekteerimisel tuleb:
 - valida energiaarvutuste tegemiseks õhulekkearvu projektsuurus ja
 - projekteerida õhulekkearvu saavutamise lahendused.
- Ehitustööde mõju arvestamine:
 - Liiga konservatiivne (suur q_{E50}): mitte-kulutõhusad lahendused,
 - Liiga optimistlik (väike q_{E50}):
 - ehitusettevõtte ei peaks hakkama tegema väga suuri tihendustöid pärast õhulekkearvu mõõtmist
 - hoone omanik ei saaks oodatust halvemat hoonet, kui õhulekkearv jääb saavutamata



Õhulekkearu valikuvõimalused

- Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50.dekl}$, mis põhineb:
 - kindlatel õhutõkke ja liitekohtade lahendustel,
 - mõõtereferentsidel,
 - ehitaja kvaliteedisüsteemil.





Õhulekkearvu valikuvõimalused

- Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50.dekl}$
- **Õhulekkearvu baasväärtus $q_{E50.baas}$**
 - ei kajasta head ehituskvaliteeti
 - lahendused ei ole kulutõhusad
 - vähendavad niiskusturvalisust

Hoone tüüp	Õhulekkearvu baasväärtus q_{E50} , m ³ /(hm ²)		
	Uus hoone	Oluliselt rekonstrueeritud	Rekonstrueeritud, olemasolev hoone
Väikeelamud			
Väikeelamu üldiselt va. palksein	4	6	9
Palksein	6	9	18
CE märgistusega toodang:			
Palksein üldiselt	6		
Liimpalksein, tihenditega	3		
Puitelement ja puitmoodul	3		
Korterelamud			
Korterelamud üldiselt	3	3	6
Palksein		9	12



Õhulekkearvu valikuvõimalused

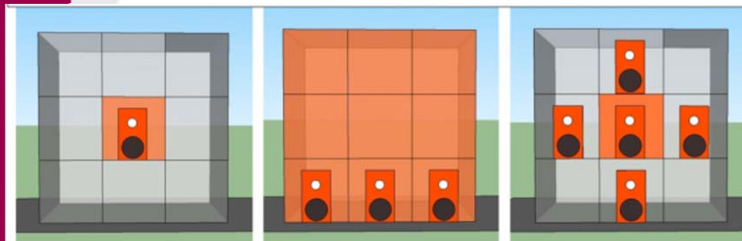
- Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50.dekl}$
- Õhulekkearvu baasväärtus $q_{E50.baas}$
- **Õhulekkearvu projektväärtus $q_{E50.projekt}$**
 - eeldatavalt saavutatav kui ehitatakse kvaliteetselt vastavalt ehitusprojektile;
 - tõendatakse mõõtmisega;
 - tihendatakse, kuni eesmärk on saavutatud

Mõõtmistega tõendamine juhib tähelepanu õhulekkearvu olulisusele ja lubab loota, et saavutatakse samas suurusjärgus õhulekkearvud, mis deklareerimismeetodiga või projekteerimisega on reaalselt saavutatud.



Õhulekkearu mõõtmine

- Mõõteprotokoll on osa teostusdokumentatsioonist ja kasutusloa alus:
 - Eramud: terve hoone
 - Ridaelamu, galeriihoone: korterid
 - Korterelamu: terve hoone, terve trepikoda
 - Kauplused, laod, koolid ärihooned: terve hoone





Järeldused

- Viimase kümne aasta jooksul on elamute välispiirete õhulekkearv vähenenud.
- Ehitajatel, kes teevad süsteemselt arendustööd ja mõõtmisi, on õhulekkearv väiksem.
- Õhulekkearvu saavutamiseks on vaja:
 - Ehitusprojektis õhulekkearvu saavutamise lahendusi:
 - Eelprojekt: õiged põhimõttelised lahendused, kontseptsioon
 - Põhiprojekt: täpsustatud ja detailiseeritud lahendused
 - Tööprojekt: detailid, et oleks võimalik valmis ehitada
 - Projekteeritud õhulekkearvusid tõendamine
 - Mõõtmised (pärast õhulekke tagamistööd, valmis hoone)
 - Deklareerimine (ei nõua kõiki hooneid mõõta, piirdub kvaliteedikontrolli ja pistelise mõõtmisega)