

Hoonete õhuleke ja selle mõõtmine

Endrik Arumägi
Targo Kalamees

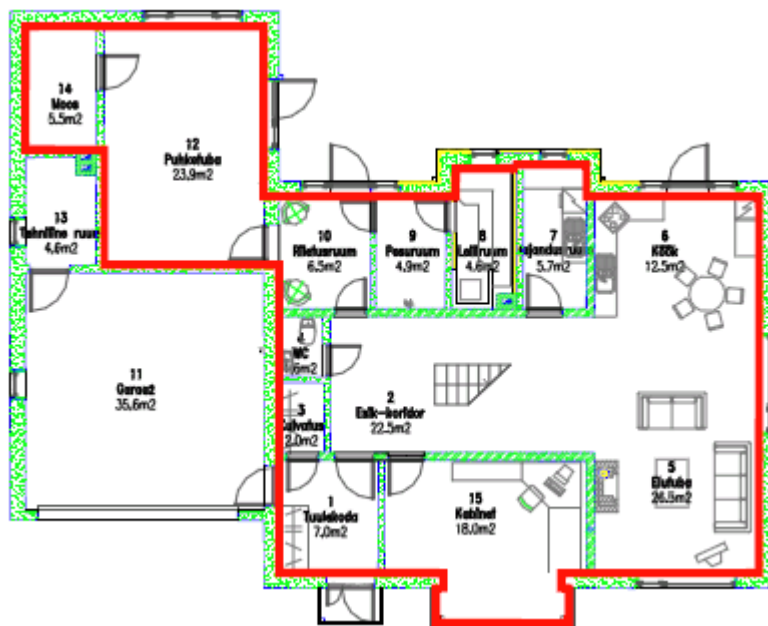
Teadmistepõhine ehitus 26.04.2018



Piirdetarindite õhulekked

■ Iseloomustavad suurused

- õhuvahetuvuskordsus n_{50} [h^{-1}] – iseloomustab lekkeõhu suuruse ja mõõdetava hoone/ruumi mahu suhet 50Pa õhurõhkude erinevuse juures

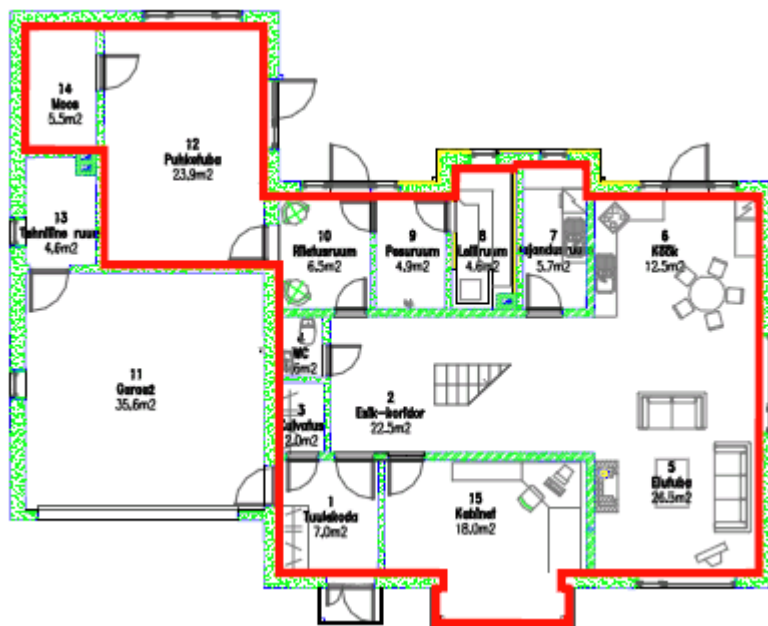




Piirdetarindite õhulekked

■ Iseloomustavad suurused

- õhuvahetuvuskordsus $n_{50} [h^{-1}]$ — iseloomustab lekkeõhu suuruse ja mõõdetava hoone/ruumi mahu suhet 50Pa õhurõhkude erinevuse juures
- õhulekkearv $q_{E50} [m^3/(h \cdot m^2)]$ — iseloomustab lekkeõhu suurust 50 Pa suuruse rõhkude erinevuse juures jaotatuna mõõdetava hoone/ruumi piirdetarindite pindalale



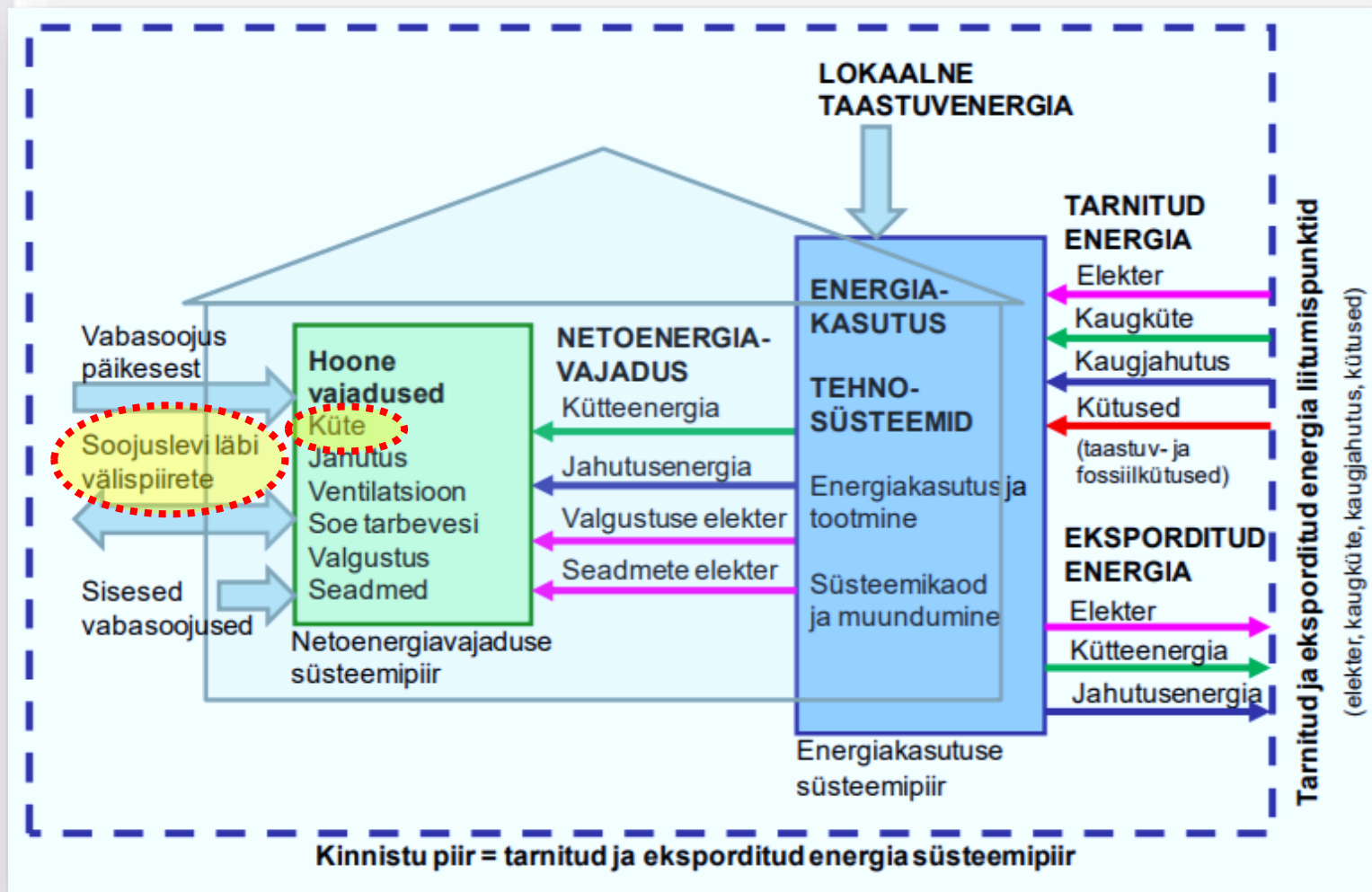


Piirdetarindite õhulekked

■ 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 õhupidavatena.
- Kui hoone energiatõhususe nõuetele vastavuse tõendamiseks on tehtud energiaarvutus, siis hoone välispiirde keskmine õhulekkearv ei tohi ületada energiaarvutuses kasutatud väärtust.

Koht energiabilansis





Piirdetarindite soojuskadu H , W/K

- Õhulekked $q_{50} \leq 1$ (1,5) (3,0) $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

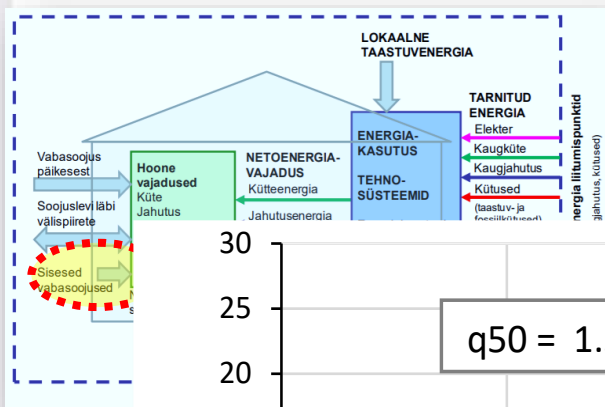


Soojusläbivuskaod läbi piirdetarindite				Soojusläbivuskaod läbi piirdetarindite liitekohtade						Soojusläbivuskaod läbi õhulekete	
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{\text{piirdetarind}}$ W/K	Liitekoht	Ψ_j W/(m·K)	l_j m	χ_p W/K	α_p	$H_{\text{liitekoht}}$ W/K	Omadus	Suurus
Välissein 1				Välisseina välisnurk						Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)	
Välissein 2				Välisseina sisenuk						$A_{\text{välispiirded}}$, 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:	$H_{\text{soojusläbivus}}$, 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 koetav pindala								A_{koetav} , m ²			
Välispiirete summaarne soojuserikadu koetava pindala kohta								$\Sigma H / A_{\text{koetav}}$, W/(m ² ·K)			
Taotluslik maksimaalne välispiirete summaarne soojuserikadu								$\Sigma H / A_{\text{koetav}}$, W/(m ² ·K)			

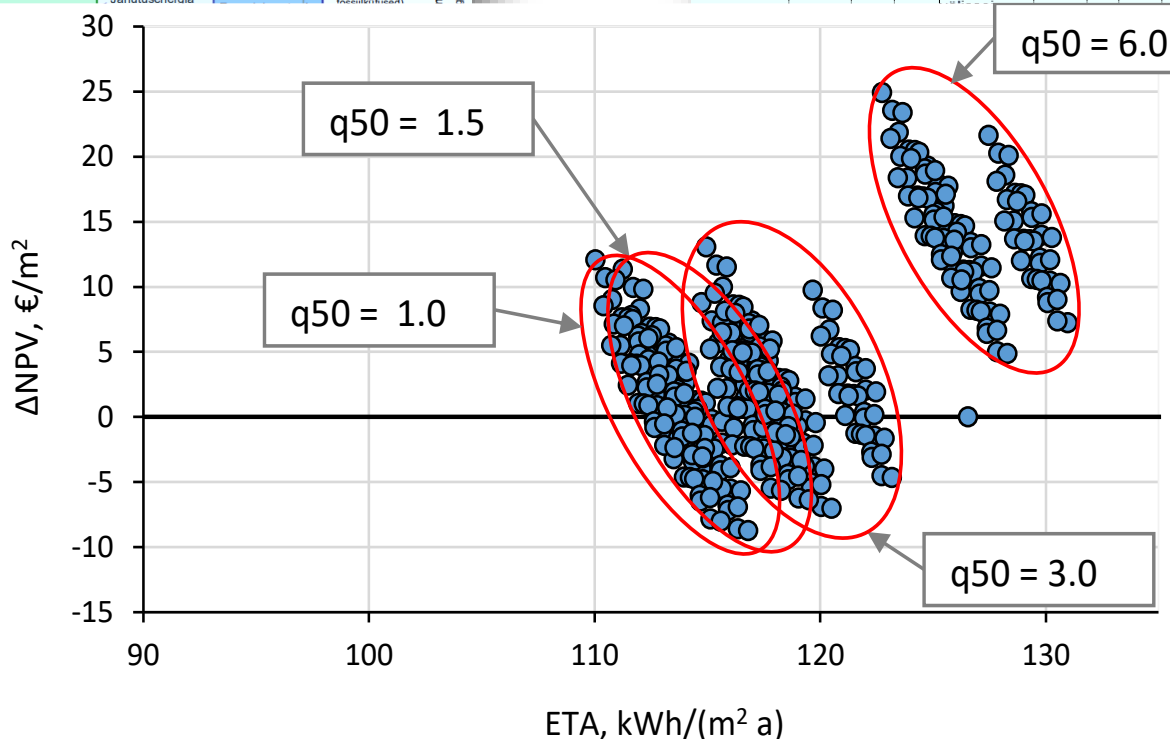


Piirdetarindite soojuskadu H , W/K

- Õhulekked $q_{50} \leq 1$ (1,5) (3,0) (6,0) m³/(h·m²)



Soojuslabilivuskaod läbi piirdetarindite				Soojuslabilivuskaod läbi piirdetarindite liitekohtade				Soojuslabilivuskaod läbi õhulekete	
Piirdetarind	U_i W/(m ² ·K)	A_i m ²	$H_{\text{piirdetarind}}$ W/K	Liitekoht	ψ_{li} W/(m·K)	l_i m	λ_p W/K	α W/K	Häirekoht W/K
Valissein 1				Valisseina välisnurk					Õhulekke-arv q_{50} , m ³ /(h·m ²)
Valissein 2				Valisseina sisenurk					A välispiirded, m ²
Kastus 1				Katuslagi/valissein					Maapealsete korruste arv
Kastus 2				Pööningu põrand/...					$\dot{V}_{inf}$, m ³ /s



$H_{\text{õhulekete}}$, W/K
m^2
$W/(m^2 \cdot K)$
$W/(m^2 \cdot K)$



Õhulekkearv energiaarvutustes

- 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



Õhulekkearvu valikuvõimalused

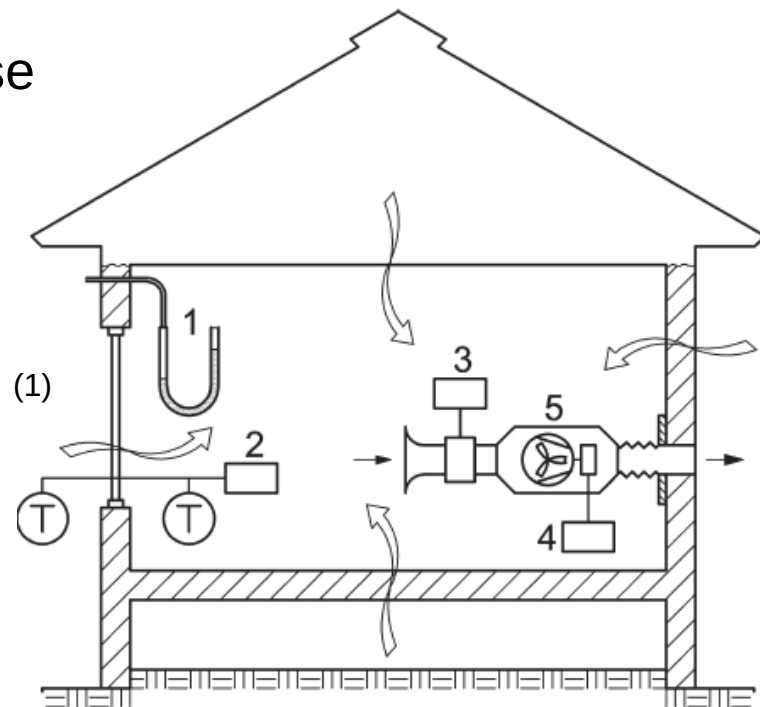
- Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50.dekl}$
- Õhulekkearvu baasväärtus $q_{E50.baas}$
- Õhulekkearvu projektväärtus $q_{E50.projekt}$
 - eeldatavalt saavutatav kui ehitatakse kvaliteetselt vastavalt ehitusprojektile;
 - tõendatakse mõõtmisega;
 - tihendatakse, kuni eesmärk on saavutatud

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



Õhulekkearvu mõõtmine

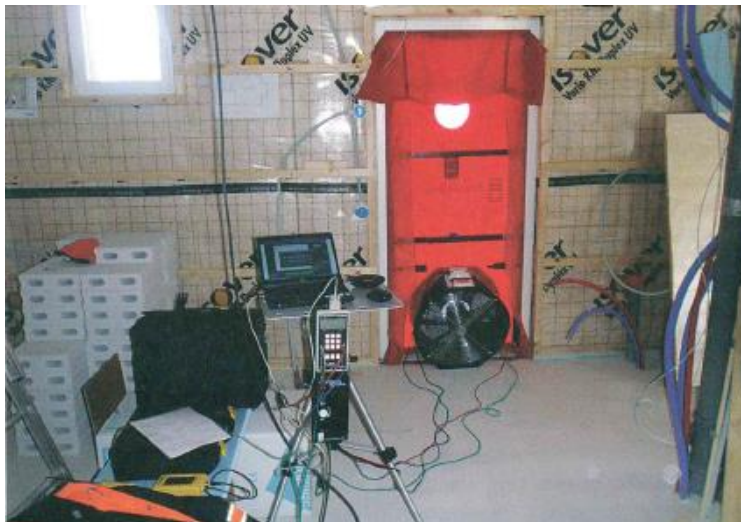
- Õhupidavuse mõõtmise standardid:
 - ISO 9972:2015 „Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan pressurization method“
 - EVS-EN 13829:2001 „Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method“
- Mõõte seade:
 - paigaldus ukse või akna avasse
 - ventilaator (5)
 - õhu vooluhulga mõõtja (3)
 - õhu vooluhulga reguleerija (4)
 - õhu rõhkude erinevuse mõõtja (1)
 - temperatuuri mõõtja (2)





Õhulekkearu mõõtmine

- Mõõtmisteks sobiv aeg:
 - esmane mõõtmine – peale õhutõkke kihi lõpetamist
 - lõpptulemus – peale viimistlustööde lõpetamist





Õhulekkearu mõõtmine

■ Mõõtmisteks sobiv aeg:

- esmane mõõtmine – peale õhutõkke kihi lõpetamist
- lõpptulemus – peale viimistlustööde lõpetamist

■ Talv –

- lekete tuvastus termograafiaga
- baasrõhk (temperatuuride erinevus, korstnaefekt)

■ Suvi –

- väike baasrõhk
- keerulisem lekete tuvastamine





Õhulekkearu mõõtmine

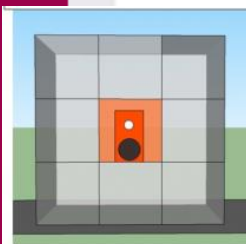
- Ettevalmistus:
 - suletakse kaminad, ahjud, korstnad
 - suletakse tuulutus avad
 - ventilatsiooni õhuvõtt heitõhk
 - aknad, ukсед suletud asendis





Õhulekkearu mõõtmine

- Erinevad hoonetüübid:
 - Eramud: terve hoone
 - Ridaelamu, galeriihoone: korterid
 - Korterelamu: terve hoone, terve trepikoda
 - Kauplused, laod, koolid ärihooned: terve hoone





Õhulekkearvu mõõtmine

- Hoone vs. korter





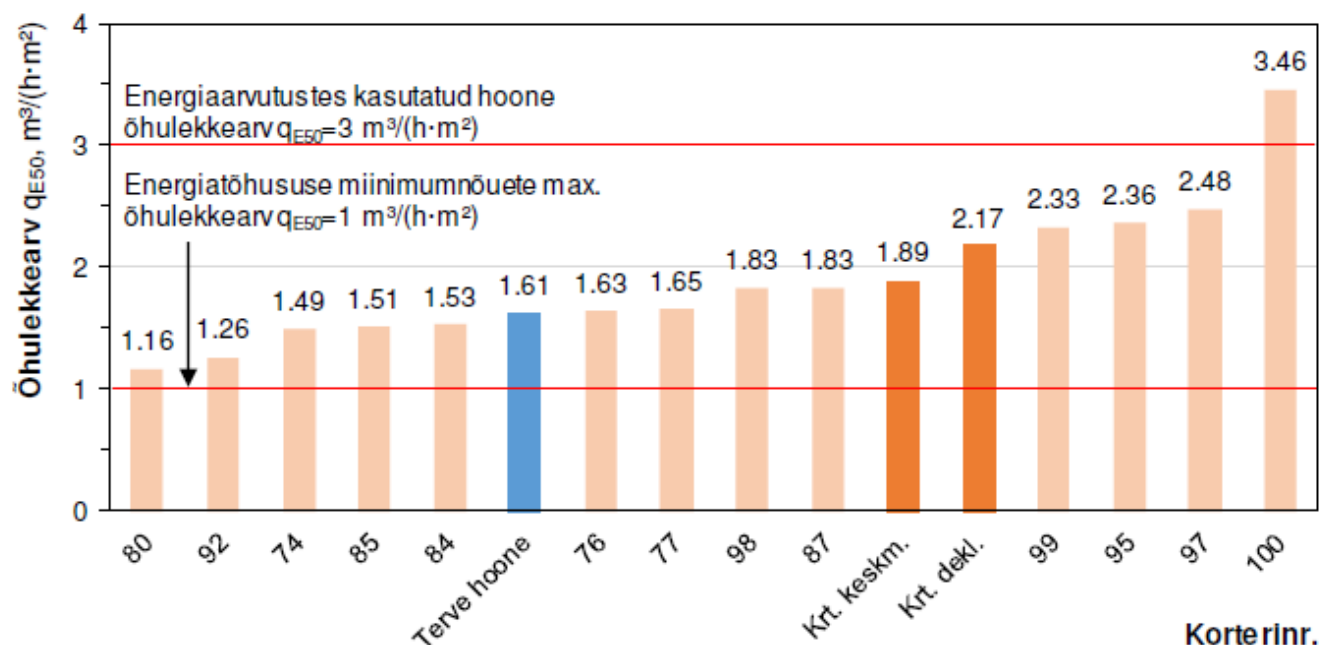
Õhulekkearu mõõtmine

Tabel 1 Esimese trepikoja korterite õhulekkearvud ja õhuvahetuskordsused ning temperatuurid katsete ajal.

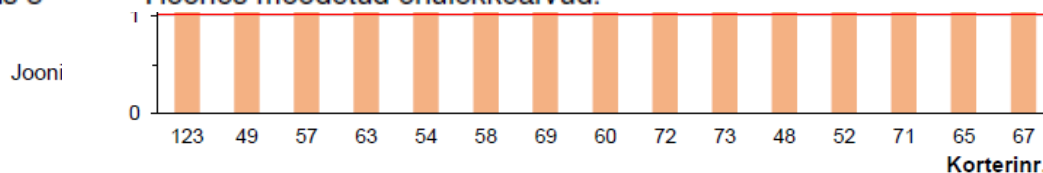
Tabel 2 Teise trepikoja korterite õhulekkearvud ja õhuvahetuskordsused ning temperatuurid katsete ajal.

Tabel 3 Õhulekkearvud trepikodades: korterite kaupa mõõdetud õhulekkearvude keskmised ja deklareeritud väärtused ning tervikuna mõõdetud trepikodade vastavad väärtused.

Ko	Ko	Õhulekkearv q_{E50} , $m^3/(m^2 \cdot h)$		Õhuvahetuskordsus n_{50} , m^3/m^3	
		keskmine	deklareeritud	keskmine	deklareeritud
2	4	1.07	2.07	2.42	2.72



Joonis 3 Hoones mõõdetud õhulekkearvud.



Joonis 4 Teises trepikojas mõõdetud korterite õhulekkearvud.





Piirdetarindite õhulekked

■ Meetodid

■ 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, Insinööri-toimisto Entec, Nordisk Termografi Konsult, Termopilt OÜ, Soojusaudit OÜ, Tervemaja OÜ)
 - 391 eramut (187 eramut on ehitatud pärast 2008) ja
 - 336 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 väljaselgitamine ja õhulekkearvu muul viisil tõendamise metoodika väljatöötamine“



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

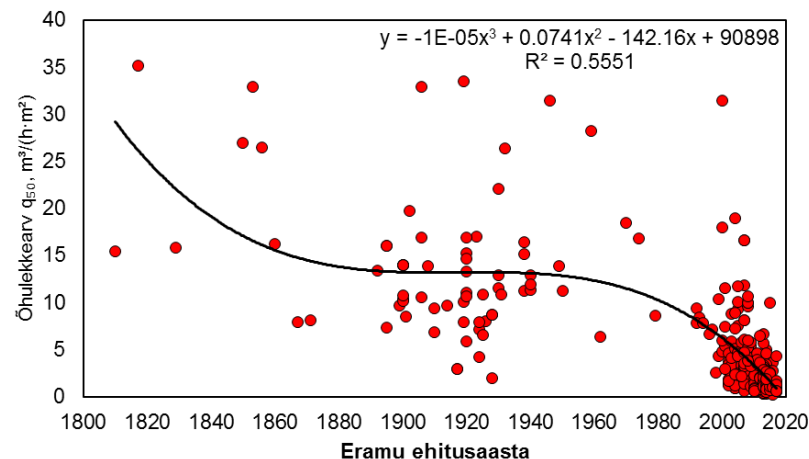
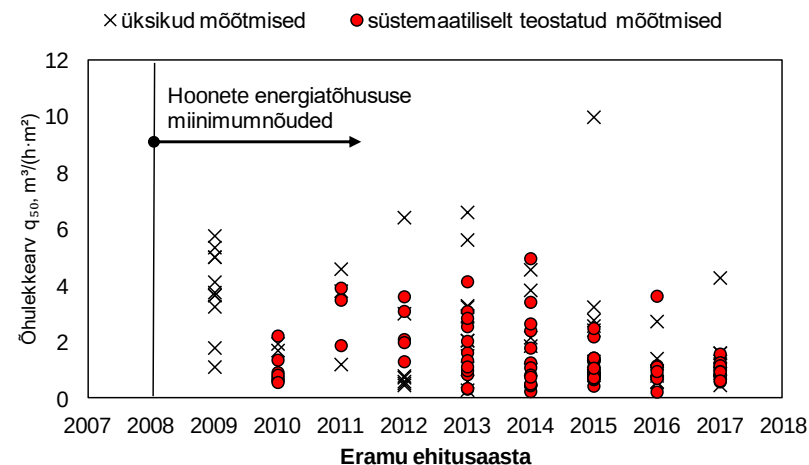
Treipalkseinad (26-36 tk) 4,4

Liimpalkseinad (22-24 tk) 2,1

Puitkarkassein,
moodul, element (63-72 tk) 1,6

Puitkarkassein,
kohapeal ehitatud (12-18 tk) 6,3

Väikeplokk, tellis, betoon (23 tk.) 2,6





Piirdetarindite õhulekked

- Tulemused: Väikeelamud
- **Deklareeritud õhulekkeavud**

Tabel 1.3 Mõõtetulemuste alusel arvatud deklareeritud õhulekkearvu väärtused.

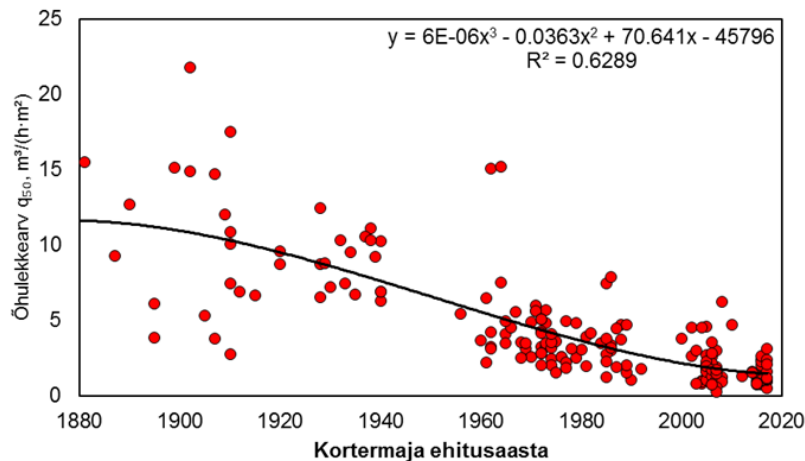
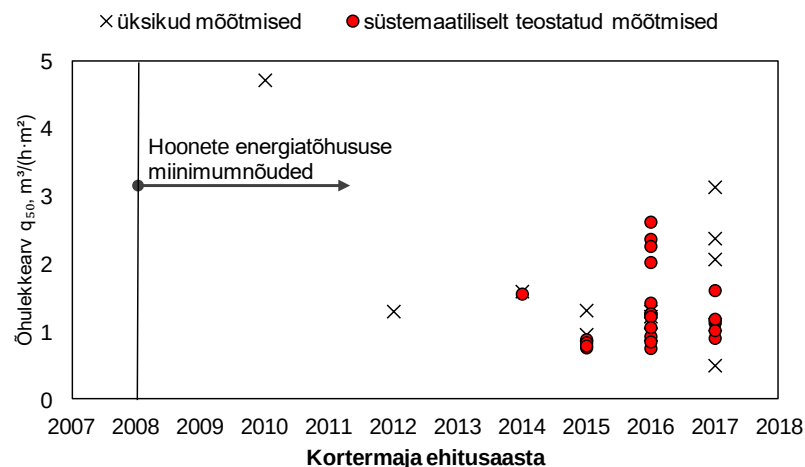
Konstruksiooni tüüp	Deklareeritud õhulekkearv $q_{E50\ dekl},$ $m^3/(h \cdot m^2)$	Keskmine õhulekkearv $q_{E50\ keskm.},$ $m^3/(h \cdot m^2)$	Mõõtmiste arv	Mõõtmiste tegemise aeg
Puitmoodul	0,91	0,77	5	2010 - 2010
Puitmoodul	1,3	1,2	6	2017 - 2017
Puitelement	0,49	0,39	8	2013 - 2016
Puitelement	1,0	0,9	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**

	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
Väikeplokk (7-11 hoonet, 27-35 korterit)	2,2
Puitelement või -moodul (6-10 hoonet, 11-15 korterit)	1,3





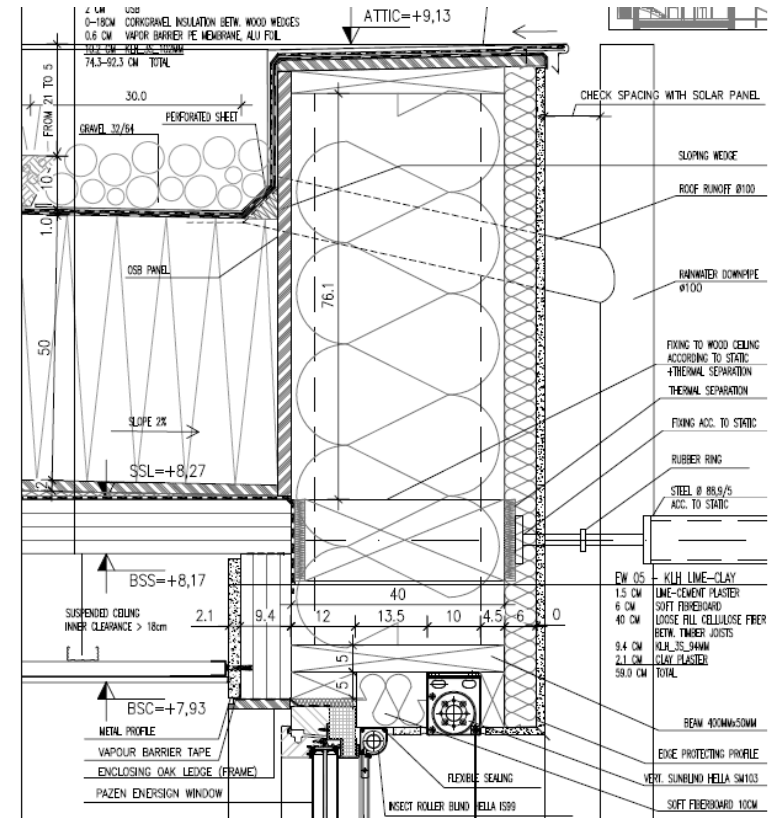
Kokkuvõtteks

- Viimase kümne aasta jooksul on elamute välispiirete õhulekkearv vähenenud.
- Ehitajatel, kes teevad süsteemselt arendus-tööd ja mõõtmisi, on õhulekkearv väiksem.



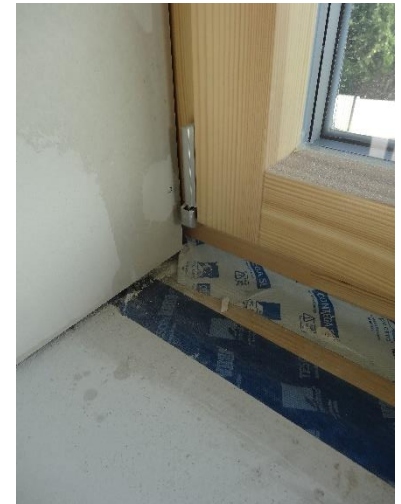
Kokkuvõtteks

- 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 õhulekkearvu tõendamine
 - Mõõtmised (pärast õhulekke tagamistöid, valmis hoone)
 - Deklareerimine (ei nõua kõiki hooneid mõõta, piirdub kvaliteedikontrolli ja pistelise mõõtmisega)
- Konkreetne vastutav inimene, kes hoiab silma peal kõigil erinevatel tööliikidel, mis mõjutavad õhupidavust



Õhupidava kihi loomine
algab projekti faasis









TÄNAN!

