

Õhupidavuse hindamine ja tõendamine/mõõtmise – kas peaks olema kohustuslik?

Targo Kalamees

Ehitusfüüsika ja energiatõhususe õppetool

Ehitiste projekteerimise instituut

Tallinna Tehnikaülikool

Teadmistepõhine ehitus 2016, Tallinn



Hoone energiabilanss

			Tarnitud energia, MWh/a	Tarnitud energia, kWh/(m ² ·a)	Energiatõhususarv või kaalutud energiakasutus, kWh/(m ² ·a)
Energiavajadus	Piirdetarindite soojuskaod	Välisseinad			
		Katus			
		Põrand			
		Aknad			
		Uksed			
		Tarindite liitekohad, külmasillad			
		Õhulekked			
	Ventilatsiooni õhu soojendamine				
	Jahutus				
	Tarbevee soojendamine				
Energialaikad	Utiliseerimata energia kadude kate				
	Tarnitud energia	Ruumide küte			
		Ventilatsiooniõhu soojendamine			
		Ventilatsiooniõhu jahutus			
		Ruumide jahutus			
		Tarbevee soojendamine			
		Ventilaatorid			
		Pumbad			
		Elektriseadmed			
		Valgustid			
		Tehnosüsteemide energiakadu			
	Vaba- soojus	Päike (kütte korvamine)			
		Inimesed			
		Soojussalvestus			
	Taastuv- energia	Päikesepaneelid (elekter)			
		Päikesekollektorid (soe vesi)			
		Tuul			
		või midagi muud			
	Soojus tagast	Heitvee soojustagastus			
		Ventilatsiooni soojustagastus			
		või midagi muud			

niplir

energia tarbimine hoones

Hoone vajadus



ismuutus



Nõuded hoonepiirete õhulekkele

- VVm “Energiaõhususe miinimumnõuded” 2007
 - Välispiirete keskmine õhulekkearv üldjuhul $\leq 1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
 - Niiskuskonvektsiooni riskide vältimiseks tuleb tarindite kriitilised sõlmed teha võimalikult õhkupidavaks.
 - Välispiirete keskmine õhulekkearv ei tohi ületada energiaõhususe miinimumnõuete vastavuse tõendamiseks tehtud energiaarvutuses kasutatud väärtust.



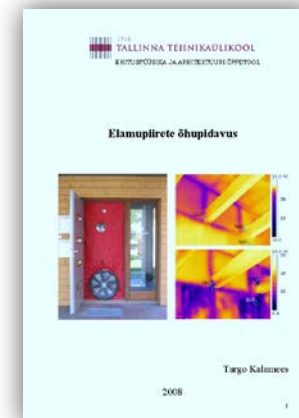
Nõuded hoonepiirete õhulekkele

- VVm “Energiaõhususe miinimumnõuded” 2012
- MKMm „Hoonete energiaõhususe arvutamise metoodika“ 2012
 - Kui hoone õhupidavust ei ole **mõõdetud** või muul viisil **tõendatud**, tehakse energiaarvutus hoone õhulekkearvu **baasväärtusega**.
 - Juhul kui projekteeritud õhulekkearv on suurem kui baasväärtus, kasutatakse projekteeritud väärtust.
 - Kui õhupidavus on mõõdetud vastavalt standardile või on tõendatud maja tarnija poolt, kasutatakse energiaarvutuses vastavalt mõõdetud või tõendatud väärtust.

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu baasväärtus $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	6	9
Muud hooned	3	6



Eesti elamute õhulekke uuring (2008)



Tabel 3.1 Eramute õhupidavuse mõõtetulemused

Eramud	Õhulekkearv, q_{50} (82 eramut) $m^3/(h \cdot m^2)$		Õhuvahetuvus @50Pa, n_{50} (114 eramut) 1/h		EqLA @ 10Pa, mm^2/m^2	ELA @ 4Pa mm^2/m^2
	Keskmine	Baas- väärtus	Keskmine	Baas- väärtus	Keskmine	Keskmine
Väikeplokk (30 eramut)	4,4	5,5	5,3	6,5	209	109
Kergkarkass (seina ja ruumelement, 39 eramut)	3,0	3,5	4,0	4,7	108	55
Kergkonstruktsioonis (kohapeal ehitatud, 24 eramut)	6,8	8,5	7,3	8,7	270	142
Palk (12 eramut)	9,2	13,5	8,4	10,5	393	213
Tellis (3 eramut)	12,4		8,1		297	151
Seinamaterjal ei ole teada (vanemad mõõtmised, 6 eramut)			7,3			
Kõik	5,2	6,0	5,8	6,4	205	107



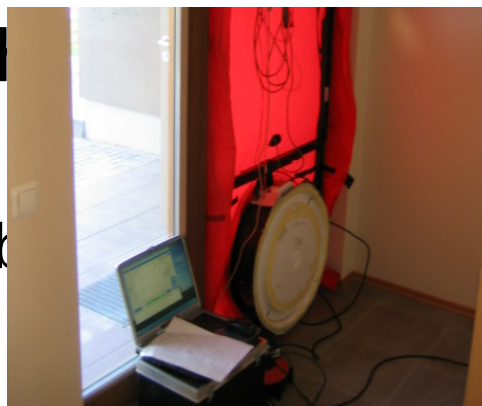
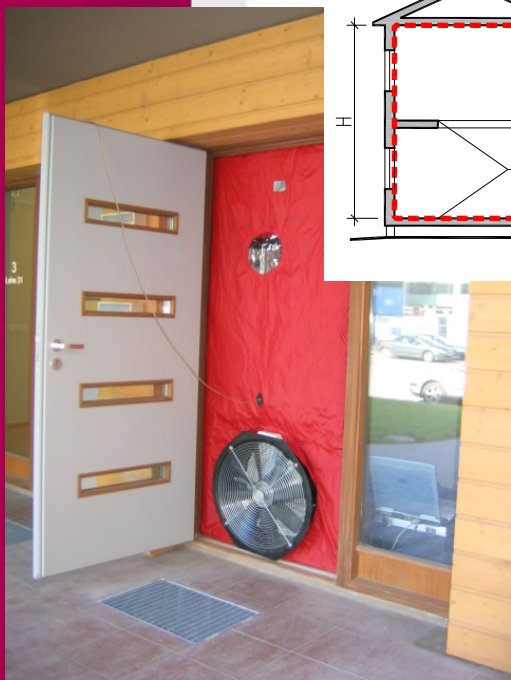
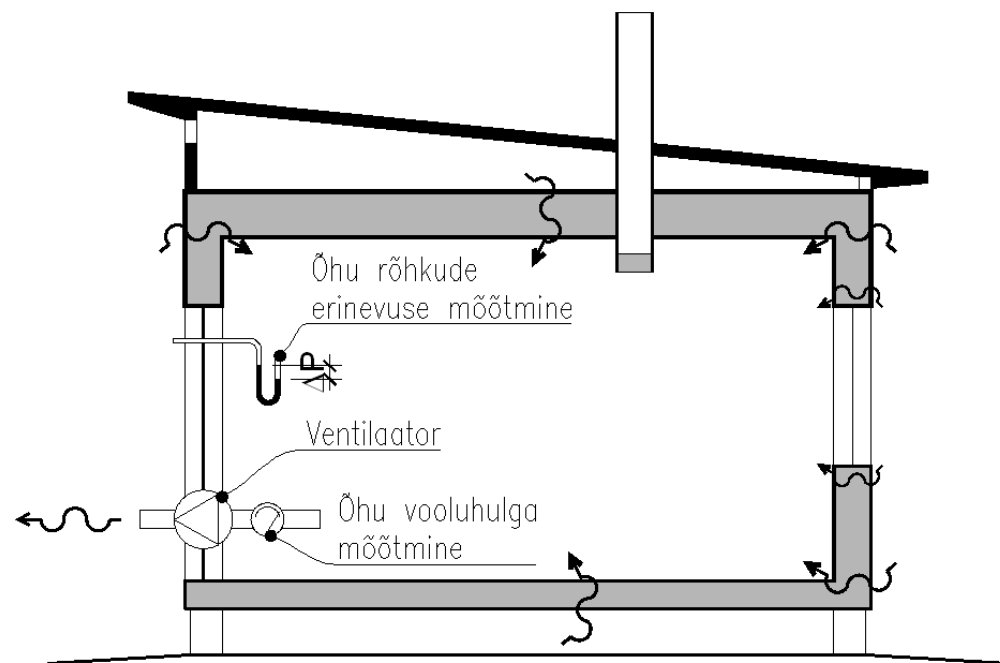
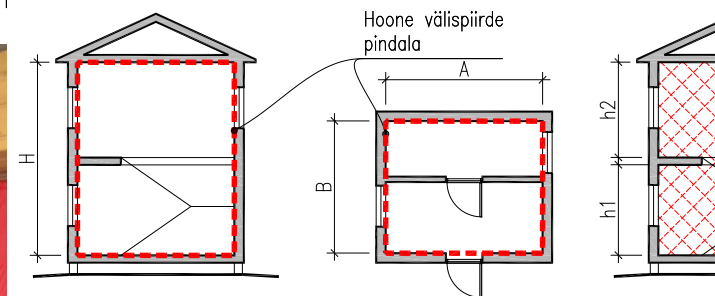
Hoonepiirete õhulekke mõõtmine

Ventilaatoriga survestamise meetod

- EN ISO 9972 "Hoonete soojuslik toimivus. Hoonepiirete õhupidavuse määramine. Ventilaatoriga survestamise meetod"
- Õhulekke mõõdetakse erinevate õhurõhu erinevuste juures: $\pm 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, \dots$ Pa

Hoone välispiirde pindala arvutamisel lähtutakse eelkõige sisekliima tagamisega ruumidest

Hoone sisekubatuuri arvutamisel lähtutakse kinniste ruumide niirdearvude viimistletud sisenindade alusel





Hoonepiirete õhulekke mõõtmine

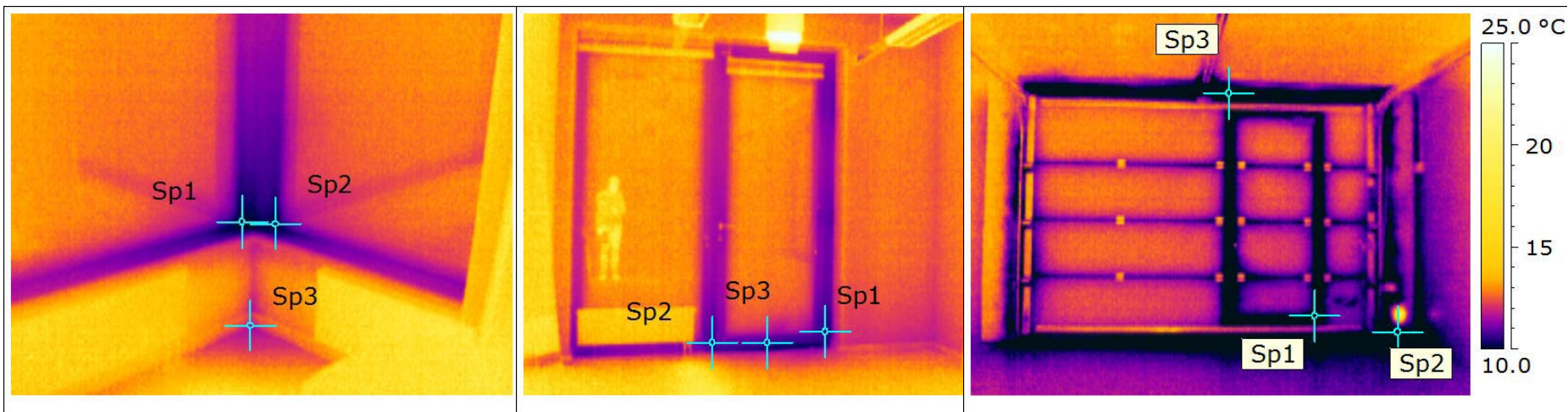
Ventilaatoriga survestamise meetod

- Üks ventilaator 19 - 7.200 m³/h (TTÜ)
 - tavaline hoone <1000m²
 - liginullenergia hoone <10 000m²
- 2-3 ventilaatorit 40 – 14 400 m³/h (TTÜ)
 - tavaline hoone <2000...3000m²
 - liginullenergia hoone <20 000...30 000m²
- Maailmarekord
 - 27 ventilaatorit
 - 202 500m³/h





Suure hoone õhulekke mõõtmine (TTÜ)



- Rb. hoone, aknad, fassaadisüsteem

Tulemused



Peamised lekkekohad

- välisuste perimeeter;
- üksikute ruumide avatavate akende perimeeter;
- garaaži tõsteuks.





Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

- Taust: “Kui hoone õhupidavust ei ole mõõdetud või **muul viisil tõendatud** ...:
- Küsimused:
 - Kuidas tõendada muul viisil peale mõõtmiste?
 - Mida teha uute hoonetega, mida ei olegi võimalik mõõta projekteerimise käigus.
 - Hoone tarnija tahab tõendada väiksemat ohulekkearvu

Kasutusotstarve	Õhulekkearvu baasväärtus $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$	
	Uus hoone, oluline rekonstrueerimine	Rekonstrueerimine, olemasolev hoone
Väikeelamu	6	9
Muud hooned	3	6



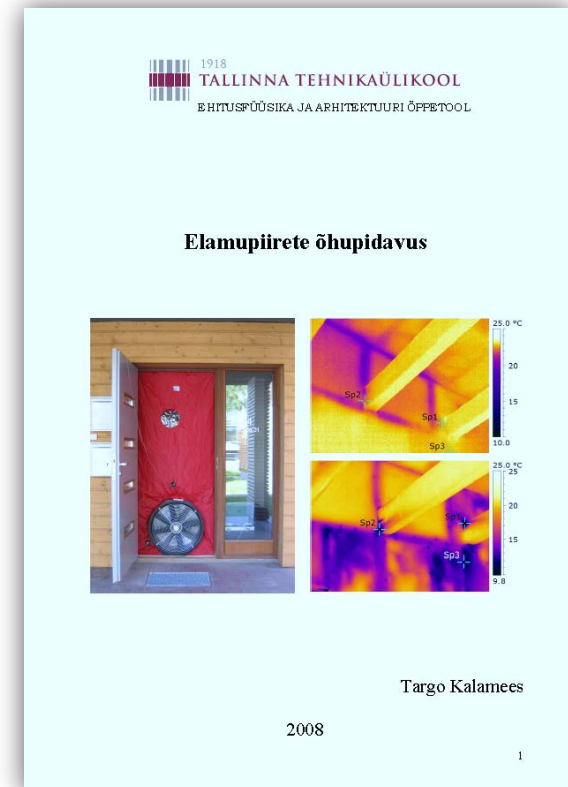
Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

- **Tõendamata väärtust ei saa kasutada.**
- Baasväärtusest muud õhulekkearvu saab kasutada, kui see on mõõdetud (valmisehitatud hoone, millel saab mõõta)
- Kui ei ole mõõtmistulemust olemas või ei ole tõendamisprotsessi läbi tehtud ei saa baasväärtusest väiksemat õhulekkearvu kasutada.
- Lubadus, et mõõdetakse ja tihendatakse ei ole garantii tarbijale. Tarbijakaitse seisukohalt peab garantii tuginema millelegi tugevamale, kui ehitaja/projekteerija lubadus.
- Projekteerimises kasutatakse baasväärtust ja pärast ehitamist 0,6 või 1,0 või mõnda muud arvu ning väljastatakse ehitusjärgne energiamärgis.



Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

- Taust: “Kui hoone õhupidavust ei ole mõõdetud või **muul viisil tõendatud** ...:
- Küsimused:
- Lahendus:
 - TTÜ uurimus **Elamupiirete õhupidavus, 2008**
(Tellija: Eesti Ehitusettevõtjate Liit)
 - Mõõdetakse teatud hulk antud tüübilisi hooneid, mille alusel deklareeritakse õhulekke suurus arvestades
 - uuring;
 - deklareerimine;
 - järelevalve ja kvaliteedikontroll.

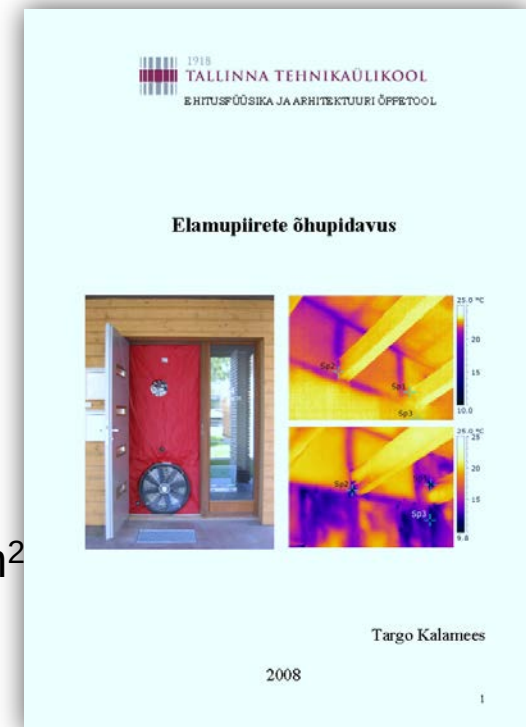




Õhulekkearu muul viisil tõendamine

■ **Uuring;**

- määratud hoonetüübi kirjelduse;
- piirdetarindite õhupidavust tagavate tarindilahenduste ja materjalide **projektlahendus** (joonised, seletuskiri);
- piirdetarindite õhuleket mõjutavate **ehitustööde** kirjeldusi;
- piirdetarindite õhuleket mõjutavate aspektide **järelevalve** ja **kvaliteedikontrolli** kirjeldusi;
- piirdetarindite õhupidavuse uuringu käigus teostatud **mõõtmised** ja tulemuste analüüsi:
 - 6 mõõtmist hoonetüübi kohta:
 - pooled $<1a$
 - võivad ka olla varasemad mõõtmised (siis kõik)
 - kui erinevad lahendused, siis erinevus $<0,5m^3/(h \cdot m^2)$





Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

- Uuring
- **Deklareerimine**

$$q_{50, dekl} = \overline{q_{50}} + k \cdot \sigma_{q_{50}} + \overline{\Delta q_{50}}, \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

- $\overline{q_{50}}$ on antud hoone tüübi keskmine õhulekkearv, $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$;
- k on kordaja, mis sõltub mõõdetud hoonete arvust [-], mis arvutatakse valemiga 2 ning mis põhineb normaaljaotuse järgse valiku 50 % fraktili 95 % tõenäosusele;
- $\sigma_{q_{50}}$ on antud hoone tüübi õhulekkearvude mõõtmistulemuste standardhälve;
- õhupidavuse aja jooksul muutumisest tingitud lisa: keskmine õhupidavuse muutus (võetakse arvesse, kui andmed on olemas; esmakordselt võib õhulekkearvu deklareerida ka ilma õhupidavuse kestvuse analüüsita).



Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

■ Uuring

■ Deklareerimine: näide

■ Keskmise õhulekkearv:

$$\overline{q_{50}} = \frac{2,5 + 3,6 + 2,7 + 2,6 + 3,2 + 2,2 + 2,9}{7} = 2,81 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

■ Standardhälve:

$$\sigma_{q_{50}} = \sqrt{\frac{(2,5 - 2,81)^2 + (3,6 - 2,81)^2 + \dots + (2,2 - 2,81)^2 + (2,9 - 2,81)^2}{n - 1}} = 0,47 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

■ Kordaja k: $k = \frac{1,645}{\sqrt{7}} = 0,62$

■ Õhulekkearvu pika-ajalisest muutusest tulenev lisa:

$$\Delta q_{50} = \frac{2,8 - 2,5 + 2,7 - 3,0 + 2,2 - 2,2}{3} = 0,20 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

■ Mõõtmiste aluses tõendatud hoonetüübi õhupidavus:

$$q_{50, \text{dekl}} = 2,81 + 0,47 \cdot 0,62 + 0,20 = 3,3 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Hoone	$q_{50}, \text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ uuena	$q_{50}, \text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ >3a vanusena
1	2,5	2,8
2	3,6	
3	2,7	3,0
4	2,6	
5	3,2	
6	2,2	2,2
7	2,9	



Õhulekkearvu muul viisil tõendamine

- Uuring
- **Deklareerimine: näide elust**

Keskmine õhulekkearv:

$$\overline{q_{50}} = \frac{0,64 + 0,68 + 0,77 + 0,93 + 0,84}{5} = 0,77 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Standardhälve:

$$\sigma_{q_{50}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{50,i} - \overline{q_{50}})^2}{n-1}} = 0,12 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

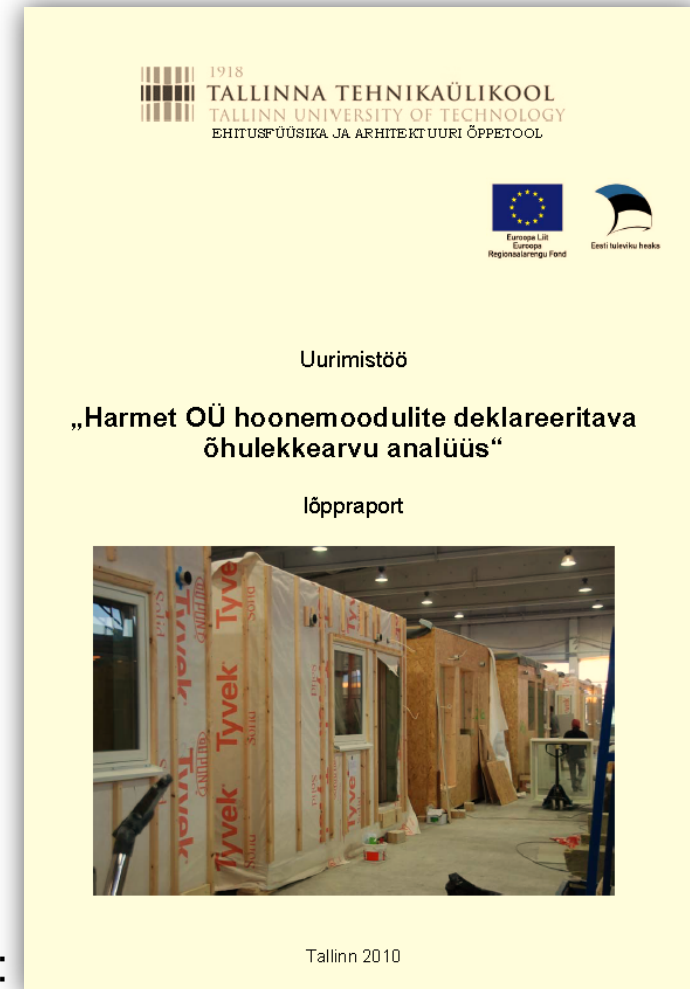
Kordaja k:

$$k = 0,674 + \frac{1}{\sqrt{5}} = 1,12$$

Mõõtmiste aluses deklareeritav hoonetüübi õhulekkearv:

$$q_{50, \text{dekl}} = 0,77 + 1,12 \cdot 0,127 = 0,9 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2) \quad (n_{50, \text{dekl}} = 1,4 \text{ l/h})$$

Olemasoleva kvaliteediga töö korral võib Harmet OÜ hoonemoodulite energiaarvutustes kasutada õhulekkearvu $0,9 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ Energiatõhususe miimumnõuete määruse lisas 9 toodud õhulekkearvu baassuuruse $6,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ asemel.





Paralleel soojustusmaterjalidega

TAULUKKO 1. RAKENNUSAINEIDEN NORMAALISET LÄMMÖNJOHTAVUUDET.

Aine, tarvike	Kuiva- tiheys ρ kg/m ³	Lämmön- johtavuus λ_{T0} W/(m · K)	Kosteus- pitoisuus W_n % kuiva- painosta	Normaalinen lämmön- johtavuus λ_n W/(m · K)	Alaviite- huomautus
LÄMMÖNERISTEET					
korkkilevy (paisutettu)	150	0,035	3	0,045	1)
			3	0,050	2)
	200	0,040	3	0,050	1)
			3	0,055	2)
lastuvillalevy	150—350	0,070	8	0,080	3)
			8	0,10	4)
puukuitulevy, bitumipitoinen	350	0,055	10	0,065	5)
puukuitulevy, huokoinen	300	0,045	10	0,055	5)
mineraalivillalevy ja matto 8)	10—300	0,045	0,5	0,055	1)
			0,5	0,060	2)
				0,070	6)
				0,10	7)



Tuleohutuse klass A1 (EN 13501-1)

CE märgistuse kood MW-EN13162-T2- MU1

Soojusjuhtivus 0,031 W/mK, Lambda Deklareeritud väärtus

Tuleohutuse klass A2 - s1,d0 (EN13501-1)

CE märgistuse kood MW-EN13162-T4- MU1

C4 SUOMEN RAKENTAMISMAÄRÄYSKOELMA
YMPÄRISTÖMINISTERIÖ, Asunto- ja rakennusosasto

Lämmöneristys OHJEET 2003

Sisällys

1 YLEISTÄ	5 LÄMMÖNJOHTAVUUS
1.1 Sovellus	5.1 Perusteet
2 LÄMMÖNJOHTAVUUSLASKENNAN MÄÄRITYS	5.2 Lämmönjohtavuuden laskenta
2.1 Yleistä	5.3 Oikein valittujen lämmöneristys-
2.2 Lämmönjohtavuuden laskenta	5.4 Muutokset ja korjaukset
2.3 Yhteystiedot	6 TILINPÄÄTYS JA TULOKSET
2.4 Lämmönjohtavuuden laskenta laskenta-	6.1 Yleistä
ohjeiden mukaisesti	6.2 Lämmönjohtavuuden laskenta-
3 LÄMMÖNJOHTAVUUSLASKENNAN SUUNNITTELU JA	6.3 Lämmönjohtavuuden laskenta-
SELEKTIO	6.4 Lämmönjohtavuuden laskenta-
3.1 Lämmönjohtavuuden laskenta-	6.5 Lämmönjohtavuuden laskenta-
laskentaohjeiden mukaisesti, vertailu ja	6.6 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
vertailu	6.7 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
3.2 Lämmönjohtavuuden laskenta-	6.8 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
laskentaohjeiden mukaisesti	6.9 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
4 LÄMMÖNJOHTAVUUSLASKENNAN TULOKSET	6.10 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
4.1 Lämmönjohtavuuden laskenta-	6.11 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
laskentaohjeiden mukaisesti	6.12 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden
4.2 Lämmönjohtavuuden laskenta-	6.13 Oikein valittujen lämmönjohtavuuden

MERK
Ohjeet ja
sääntöjä
ja
muut
asiantun-
nus-

EESTI STANDARD EVS-EN 12524:2006

EHITUSMATERJALID ja -TOOTED
Soojus- ja niiskustehnilised omadused

Building materials and products
Hygrothermal properties – Tabulated design
values

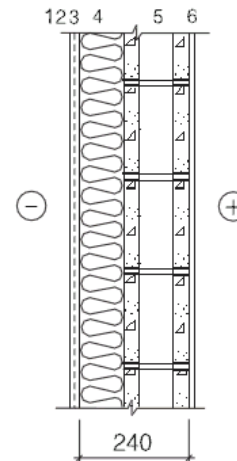
EVS EESTI STANDARDIKESKUS



Peamised lekkkohad

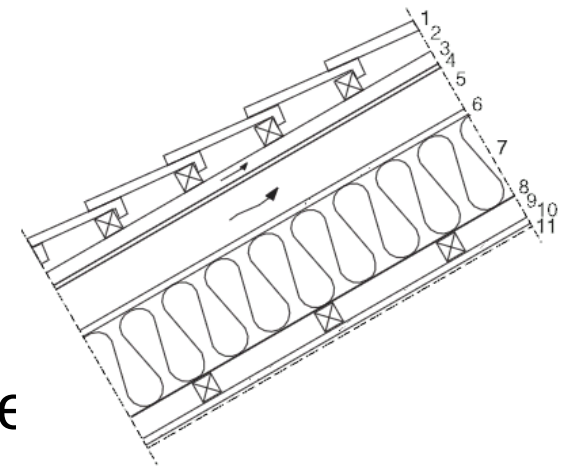
- Erinevate tarindite liitekohad:
sõlmede lahendused on olulised (ei piisa 1-D joonisest)!

- Katuslae ja välisseina liitekohad
- Vahelae ja välisseina liitekohad
- Põranda ja välisseina liitekohad
- Installatsiooni läbiviig pistikute ja lülitite;
- Küttekollete ja korstna liitekohad
- Õhuleke läbi akende liitumiste juures.



Kihid

- Välispind – värviline faktuurkrohv või auruläbilaskev värv
- Lubikrohv 15 mm
- Tsingitud traatvõrk
- Soojustus – jäik mineraalvilliplaat 100 mm
- Betoon-õõnesplokkidest sein 140 mm
- Sisekrohv



Kihid

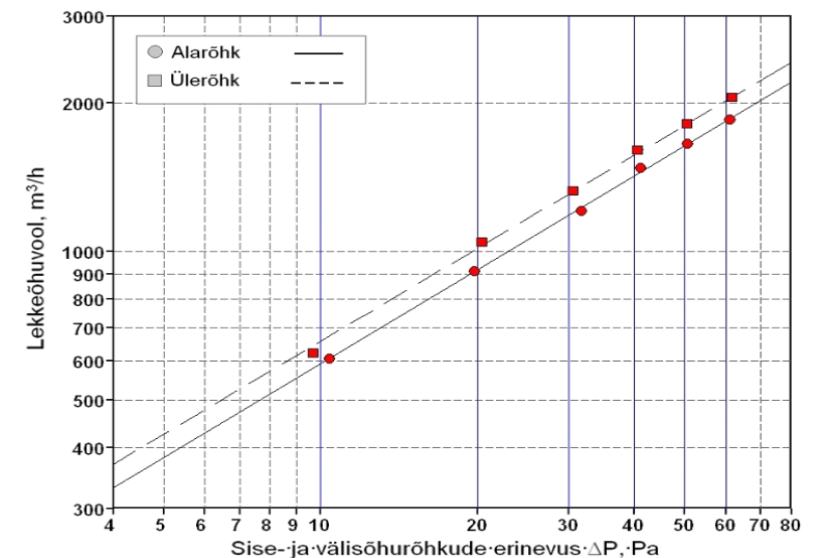
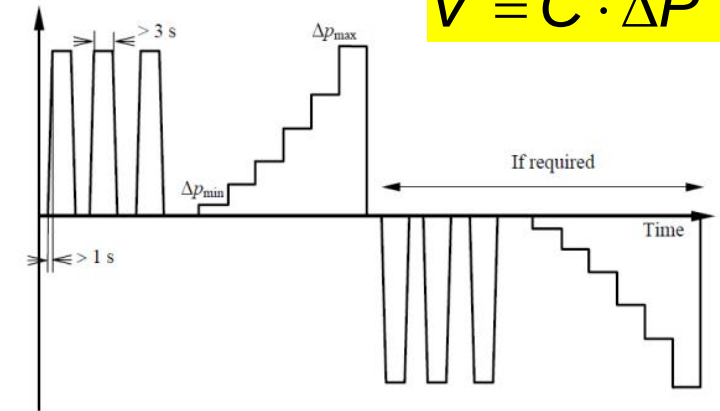
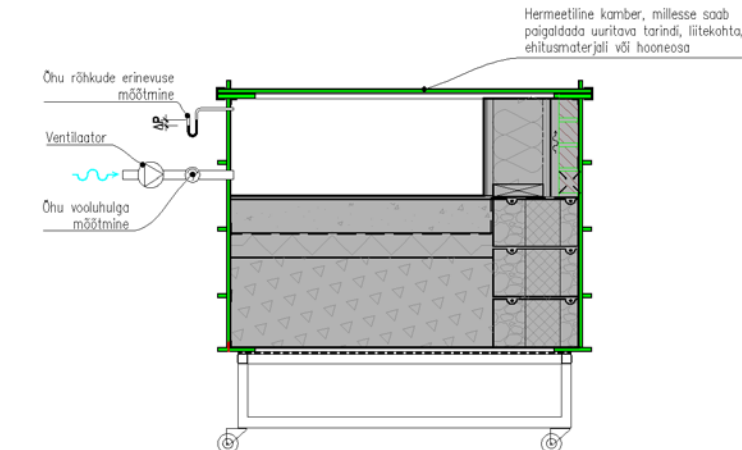
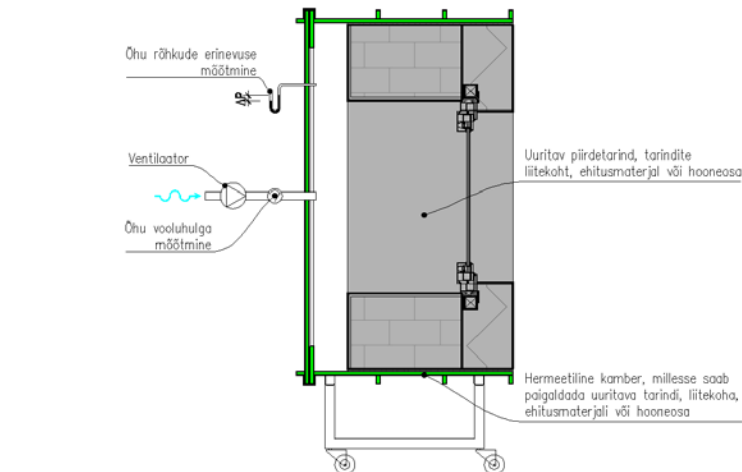
- Kivikate (keraamilised või tsementkivid)
- Roovlatid
- Tuulutuspilv; sarika kohal vaheliist
- Aluskate
- Tuulutuspilv 100 mm sarika pealispuude (50 x 100 mm) vahel
- Tuuletõkkeplaat 13 mm
- Sarikad 50 x 200 mm, vahel mineraalvilliplaadist soojustus
- Õhutõke (ehituspaber) või aurutõke (plastkile)
- Latid 45 x 45 mm, samm 300 mm
- Ehitusplaat või sisevoodrilaud
- Lae viimistlus



Hoonepiirete liitekohtade õhulekke mõõtmine

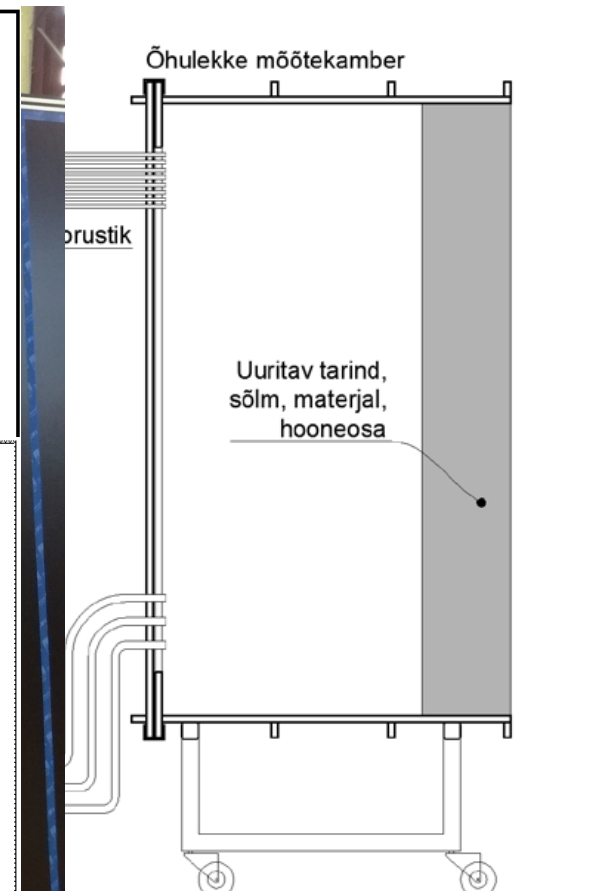
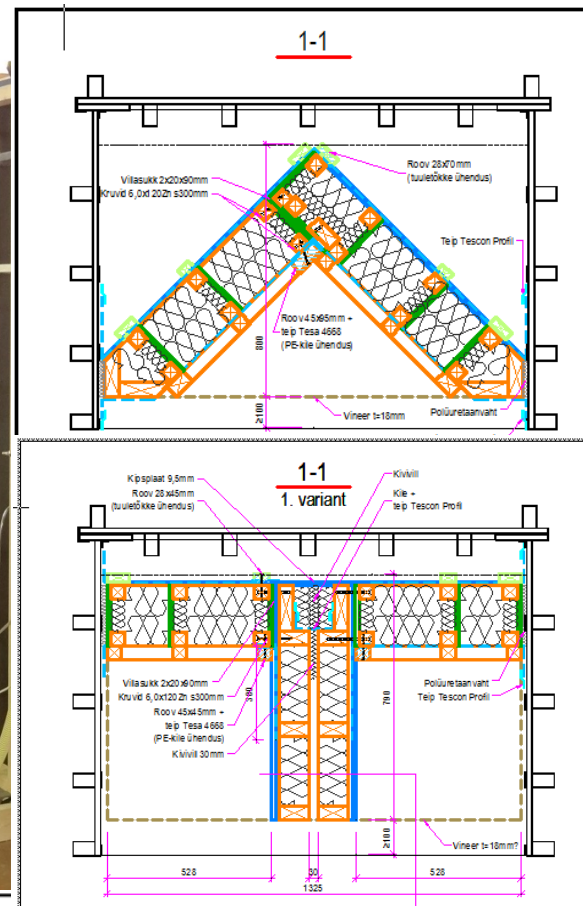
- EVS-EN 12114: Thermal performance of buildings - Air permeability of building components and building elements - Laboratory test method

$$\dot{V} = C \cdot \Delta P^n$$





- ## 2. Vahelagi + valissein
- (Kile pöranda RLP all)
-
- Technical cross-section diagram of a wall assembly (Vahelagi + valissein) showing various layers and components. The diagram includes labels for materials like insulation (Poliuretaanvaht), structural elements (Karkass, Kipsplaat), and fasteners (Kruvid). Dimensions are provided for various sections, including a total height of 2764 mm and a width of 678 mm. The wall is shown between two concrete slabs (Roo v 28 x 15 mm) with a central opening for a door or window frame.
- Labels and dimensions shown in the diagram:
- Poliuretaanvaht (nt. Soudal Flexfoam)
 - Teip Tescon Profi
 - Roo v 28x15mm
 - Tuuletõke lõpp al Windbreak
 - Kipsplaat 9,5mm
 - Karkass 45x195mm
 - Klaasvill 200mm
 - PE-kile 0,2mm
 - Karkass 45x55mm
 - Villasuke 2x20x90mm
 - Silepui 45x195mm
 - + kruvid 6,0x120zn s300mm
 - Kruvid 6,0x120zn s300mm
 - PLP PS 21mm
 - Teip Tescon Profi
 - Roo v 28 x15mm
 - List 4 x30mm
 - tuuletõkke ühendus
 - Kipsplaat 9,5mm
 - 2764
 - 678
 - 2764
 - PLP PS 21mm
 - Karkass 45x245mm
 - Klaasvill 250mm
 - Roo v 28 x10mm
 - Kruvid 6,0x150zn s300mm
 - Teip Tescon Profi
 - Poliuretaanvaht (nt. Soudal Flexfoam)





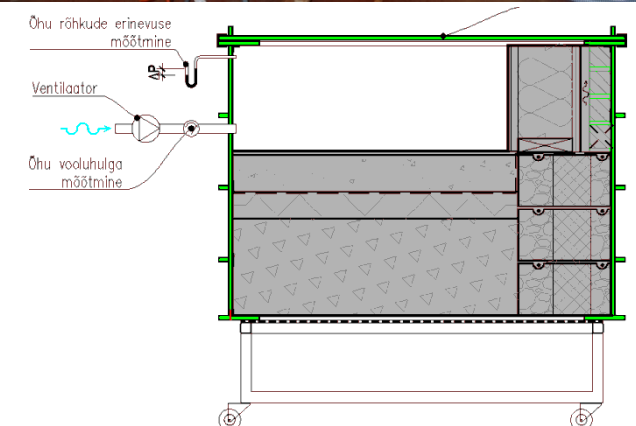
- ### 3. Välissein + aken
-





Hoonepiirete liitekohtade õhulekke mõõtmine

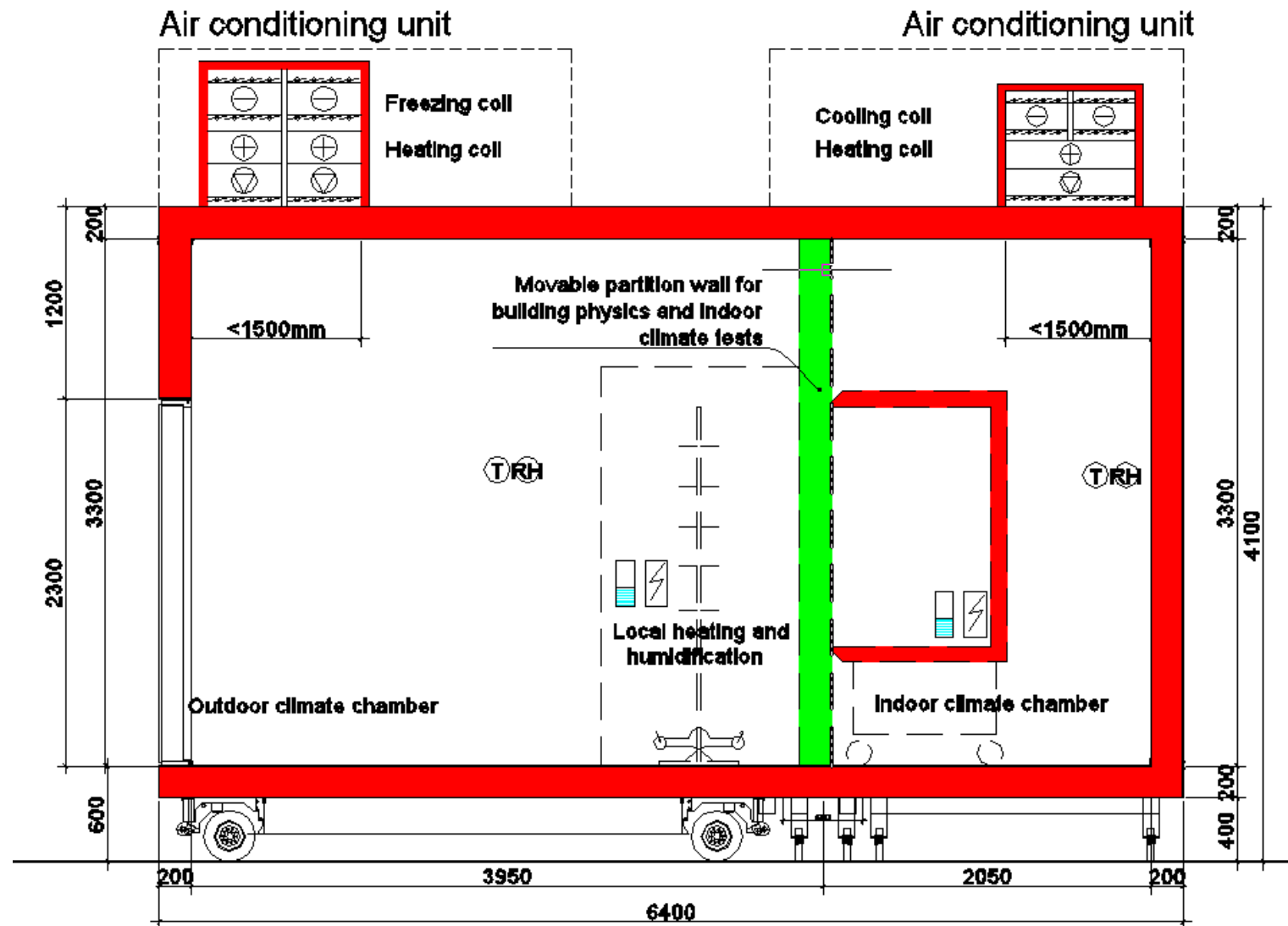
- EVS-EN 12114: Thermal performance of buildings - Air permeability of building components and building elements - Laboratory test method
 - **Uus mõõteseade TTÜ laboris: põranda/lae liitekohad**





Hoonepiirete liitekohtade õhulekke mõõtmine

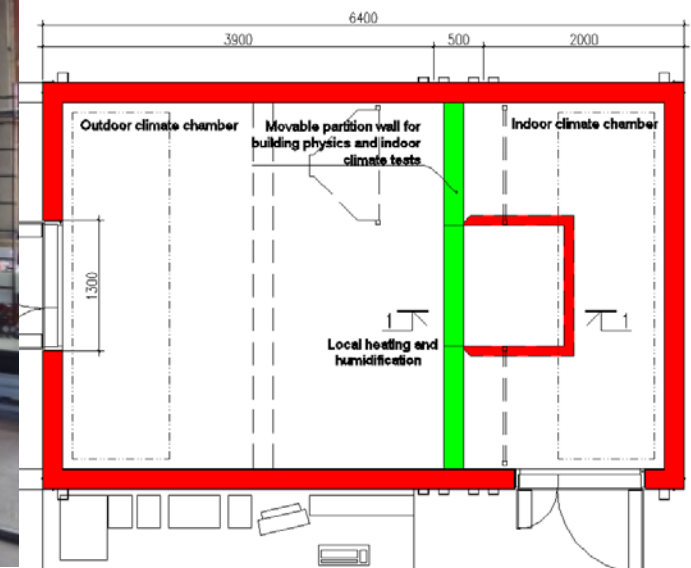
- **Uus mõõteseade TTÜ laboris:**
Ehitusfüüsika kliimakamber





Hoonepiirete liitekohtade õhulekke mõõtmine

- **Uus mõõteseade TTÜ laboris:
Ehitusfüüsika kliimakamber**



Võta kontakti, uurime välja!!!

Targo Kalamees, targo.kalamees@ttu.ee, 6202403

Ehitusfüüsika ja energiatõhususe õppetool

Tallinna Tehnikaülikool