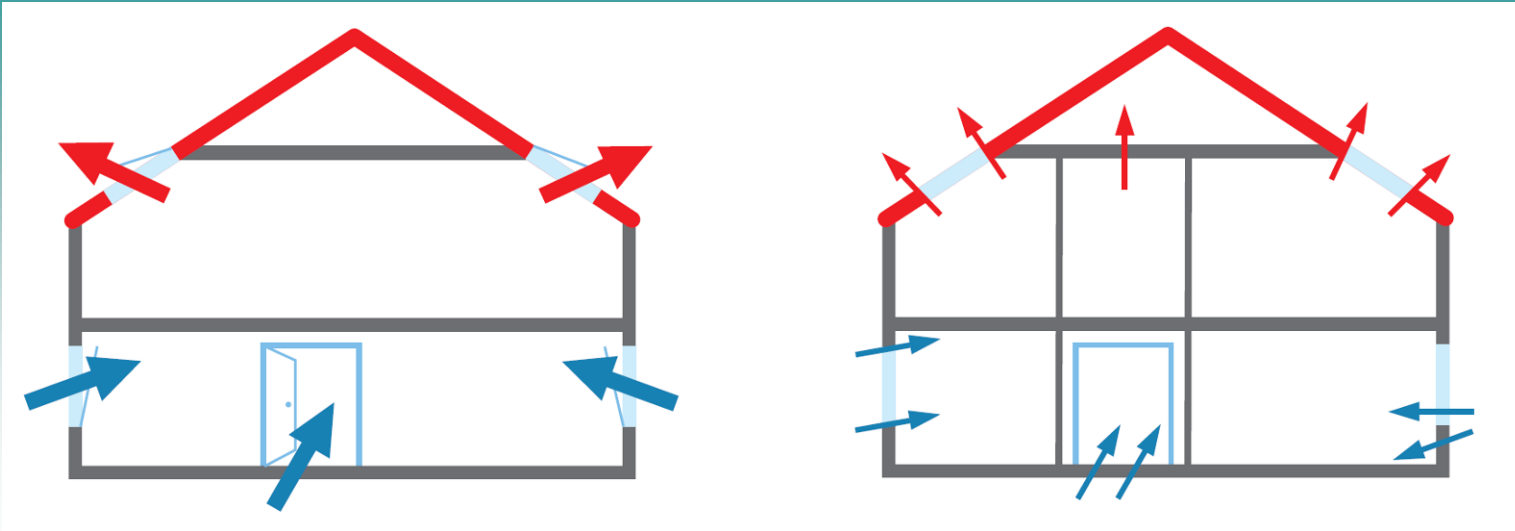


Zagrebački energetska tjedan 2015.

Međunarodna konferencija
„Zajedničkom provedbom energetske politike
EU do energetske sigurnosti
i održivog razvoja urbanih sredina“

Zrakonepropusnost

dr. sc. Ivica Kušević, dipl. ing. fizike
Institut IGH d.d., Zagreb
ivica.kusevic@igh.hr



*prisilno/namjerno
provjetravanje*

+

*nekontrolirano
propuštanje*

=

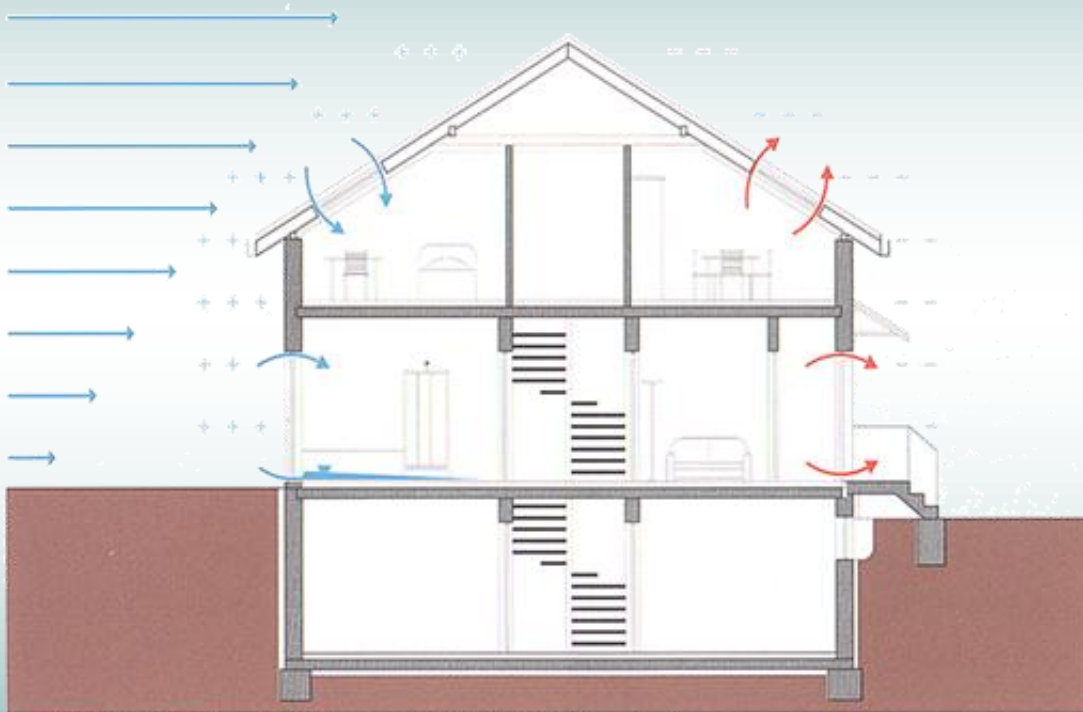
*ukupno
provjetravanje*

Zrakopropusnost zgrade:

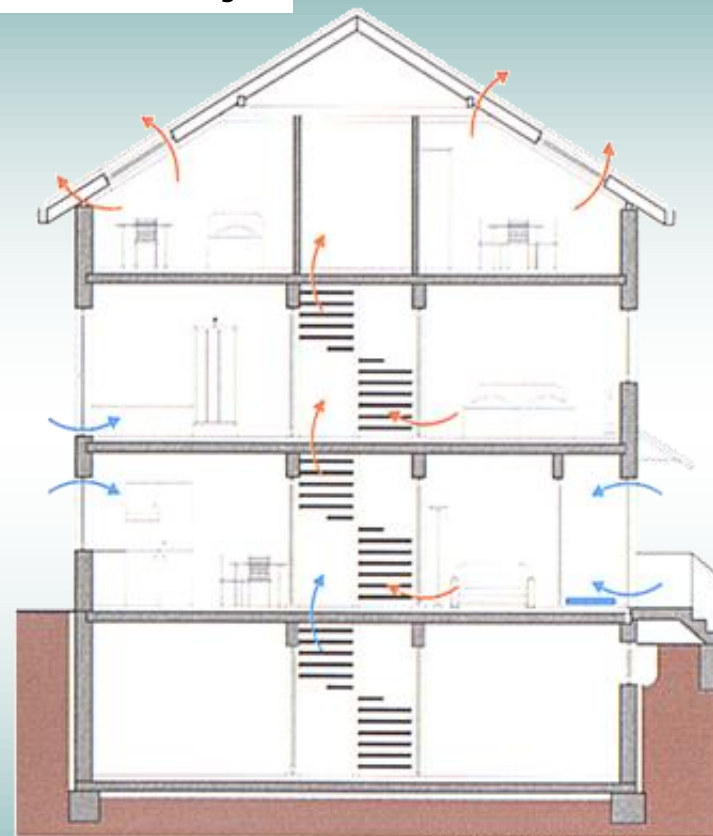
mjera **nekontroliranog** propuštanja zraka (curenje) kroz ovojnicu zgrade.

Strujanje zraka kroz ovojnicu zgrade – zašto se javlja?

Vjetar



Podizanje



Ilustracija: ebök

Ušteda energije za grijanje/hlađenje: curenje zraka = 0
 ⇒ zrakonepropusna ovojnica zgrade

Nepropusna ovojnica zgrade i ljudi unutar zgrade: CO₂,
 mirisi, hlapive tvari, vodena para, *radon*, kućna prašina
 ostaju unutar zgrade



⇒ neugoda ili ugroza zdravlja korisnika zgrade

ušteda energije ⇒ ⇐ zdravlje

Kompromis:

- smanjiti izmjenu zraka (trošak energije ↓) uz maksimalizaciju kvalitete zraka (zdravlje ↑)

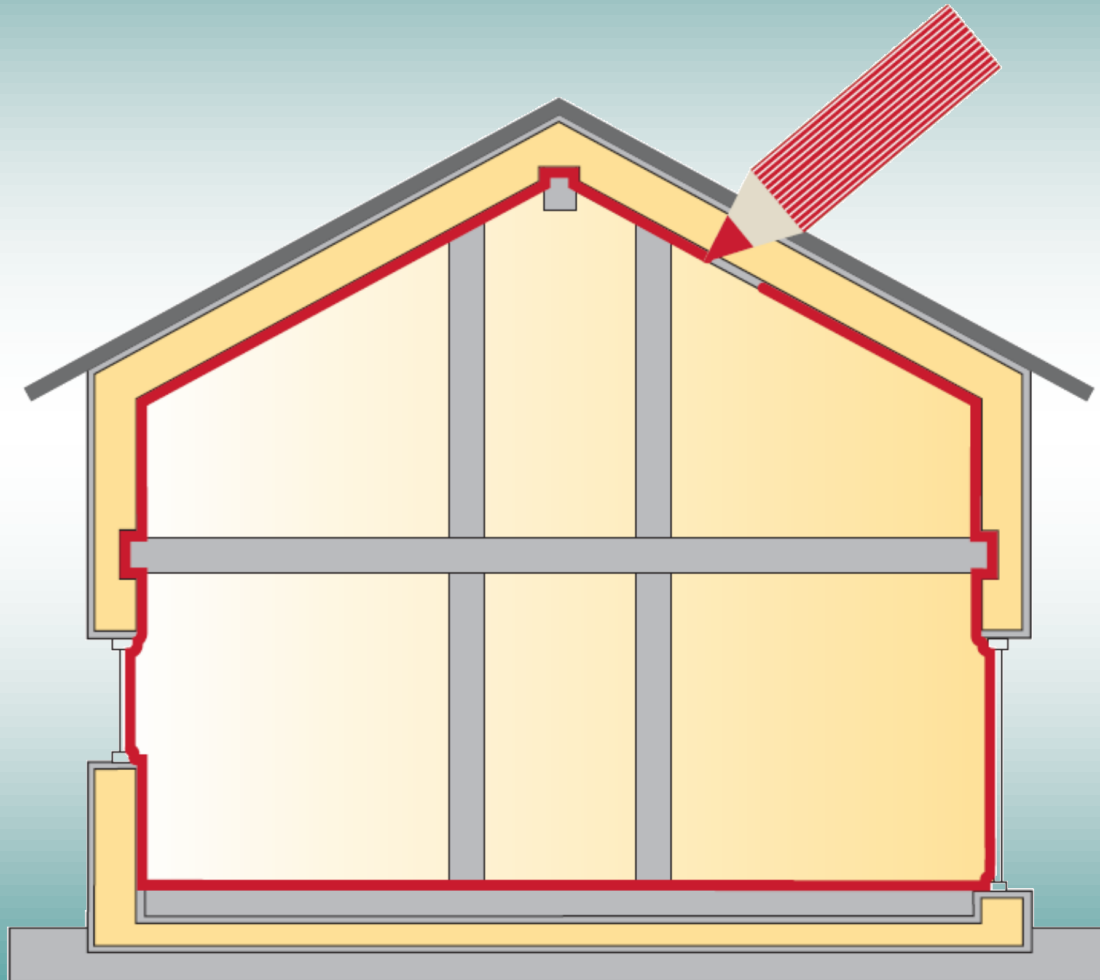
U praksi, ovisno o djelatnosti i broju ljudi unutar zgrade, potrebno 0,02 – 0,2 izmjena ukupnog volumena zraka / sat.

Najbolja danas inženjerska praksa energijske učinkovitosti u zgradarstvu:

→ zabrtvi ovojnici zgrade što je bolje moguće

→ izmjene zraka kontroliraj sustavima ventilacije / klimatizacije

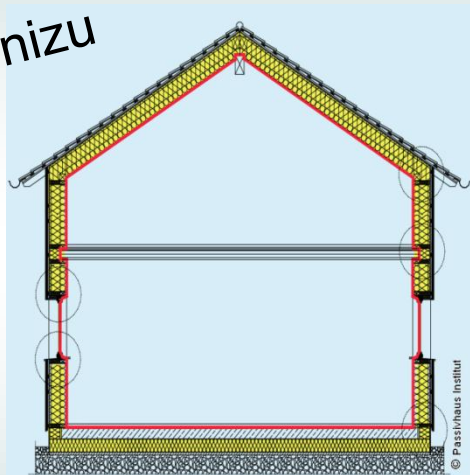
Zrakonepropusna ovojnica zgrade: „pravilo olovke”



Povećeti zrakonepropusnost: što smo dobili?

1) ušteda u energiji

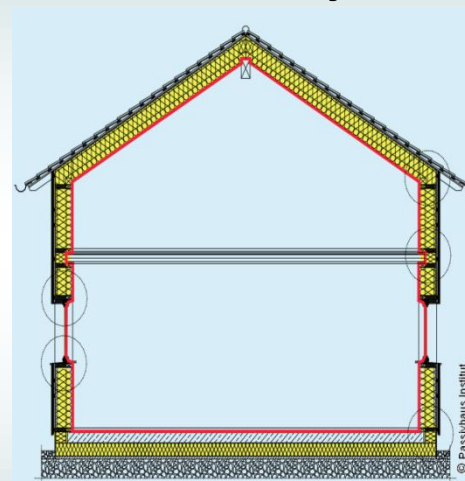
Primjer stvarne
kuće u nizu



Zrakonepropusnost $n_{50} = 0,4 \text{ h}^{-1}$

Potreba za toplinom: $13 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Identični objekt



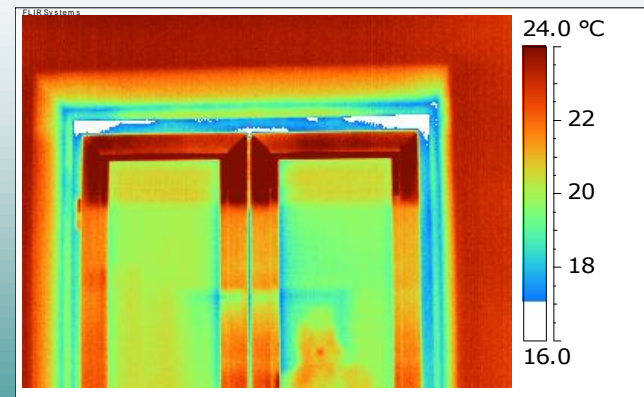
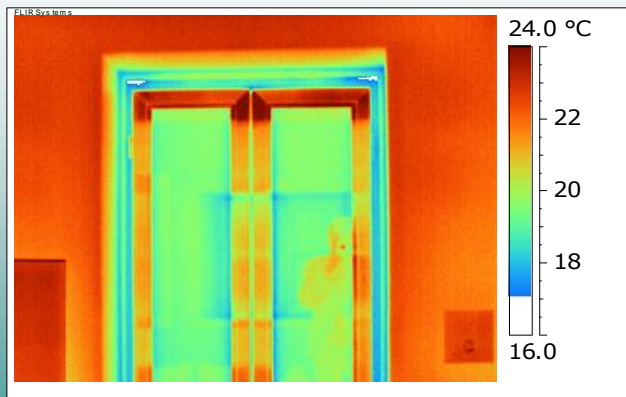
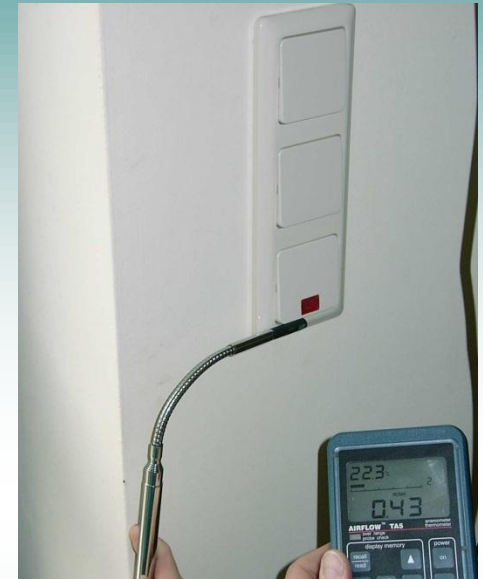
Zrakonepropusnost $n_{50} = 2,6 \text{ h}^{-1}$

Potreba za toplinom: $26 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Dvostruko više!!!

Zrakopropusnost zgrade - otkrivanje mjesta propuštanja zraka:

- mjerenje brzine protoka zraka
- propuštanje dima
- ultrazvučne sonde
- termografija

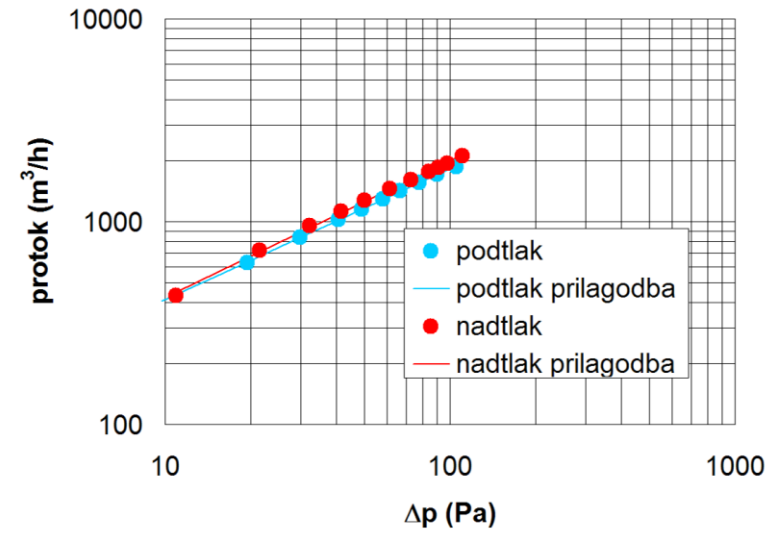


Zrakopropusnost zgrade – mjerenje stupnja zrakopropusnosti:

- direktno: mjerenjem koncentracije nekog umjetno uvedenog plina – zbog izmjene unutarnjeg i vanjskog zraka kroz ovojnicu zgrade pada i koncentracija plina s proteklim vremenom)
- indirektno: mjerenjem brzine protoka zraka kojeg je potrebno upuhati ili ispuhati u/iz zgrade za određenu nametnutu razliku tlaka i iz toga dobiti brzinu curenja zraka u uvjetima normalnog korištenja
→ “Blower Door Test”
(HRN EN 13829)



„Blower Door Test”

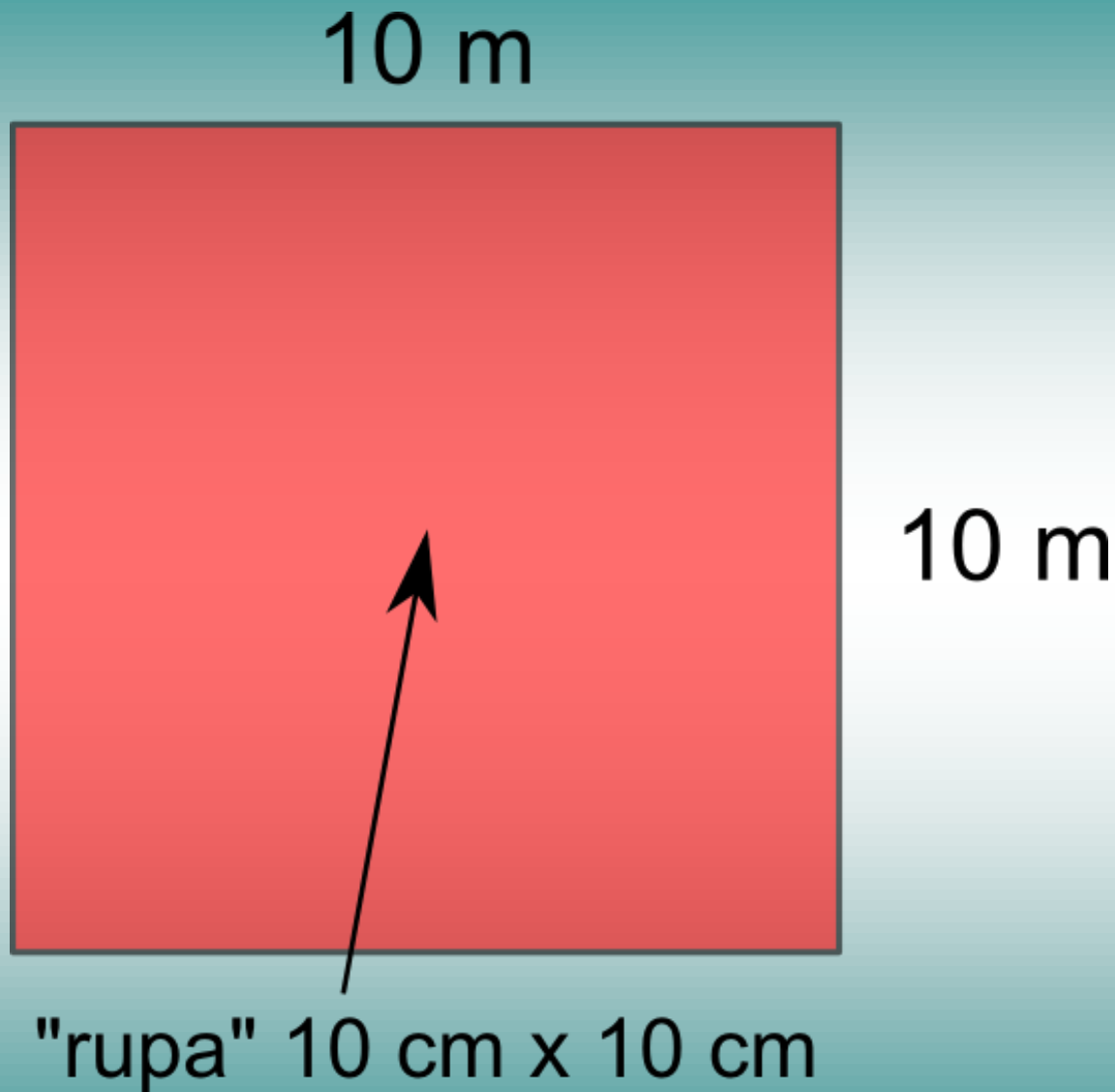


točka	podtlak		nadtlak		Jednadžba protoka: protok=C(Δp) ⁿ (m³/h)			
	Δp (Pa)	protok zraka (m³/h)	Δp (Pa)	protok zraka (m³/h)	podtlak	nadtlak	srednja vrijednost	
1	9,73	403,5	10,90	430,7				
2	19,40	627,4	21,48	724,0	C:	92,74	89,37	
3	29,83	836,4	32,17	950,9	u _C (95%):	2,61	7,30	
4	40,60	1022,7	41,43	1123,5	n:	0,6470	0,6749	
5	49,05	1149,8	49,95	1267,9	u _n (95%):	0,0073	0,0205	
6	58,05	1291,1	61,51	1455,0	C _L :	93,1	89,8	
7	66,65	1418,1	72,75	1611,3	u _{CL} (95%):	2,6	7,3	
8	78,14	1556,7	84,12	1766,8				
9	89,99	1704,0	90,96	1854,4	Δp=50 Pa:			
10	104,99	1857,9	97,83	1941,7	tok (m³/h):	1170	1259	1178
11			110,64	2115,0	u _{tok} (95%) (m³/h):	65	203	62
12								
13								
14								
15					n₅₀ (1/h):	2,78	3,00	2,82
16					u _{n50} (95%)(1/h):	0,21	0,51	0,19
17								
18					q ₅₀ (m³/(h·m²)):	3,414	3,674	3,451
19					u _{q50} (95%) (m³/(h·m²)):	0,255	0,619	0,235
--								

ELA (equivalent leakage area):

ekvivalent ploštine ovojnice kroz koju curi zrak kod određene razlike tlaka

- podtlak ELA(50 Pa)=357 cm² (= **0,01 %** ploštine grijanog dijela od 342,66 m²)
- nadtlak ELA(50 Pa)=383 cm² (= **0,011 %** ploštine grijanog dijela od 342,66 m²)



Princip mjerenja broja izmjena zraka prema normi HRN EN 13829 (Blower Door Test)

- kod nametnute razlike tlaka Δp izvan i unutar kuće izmjerimo protok zraka Q (npr. u m^3/h),
- uz izmjereni unutarnji obujam grijanog dijela zgrade V (npr. u m^3) izračunamo broj izmjena zraka $n=Q/V$ (u $1/\text{h}$),
- ili uz izmjerenu površinu oplošja grijanog dijela zgrade A_E izračunamo brzinu protoka zraka po jedinici ploštine $q=Q/A_E$ (u $\text{m}^3/(\text{hm}^2)$),
- dogovorimo se da se te veličine računaju kod razlike tlaka od $\Delta p=50 \text{ Pa}$: $n_{50}=Q_{50}/V$ i $q_{50}=Q_{50}/A_E$
- empirijski je broj izmjena zraka n kod $\Delta p=0$ otprilike $n=n_{50}/20$ (ovisi o učestalosti i brzini vjetra, visini zgrade...)

HRN EN ISO 13789:2007

koeficijent toplinskog gubitka provjetravanjem:

$$H_V = \rho_a c_p \dot{V}$$

\dot{V} - brzina protoka zraka

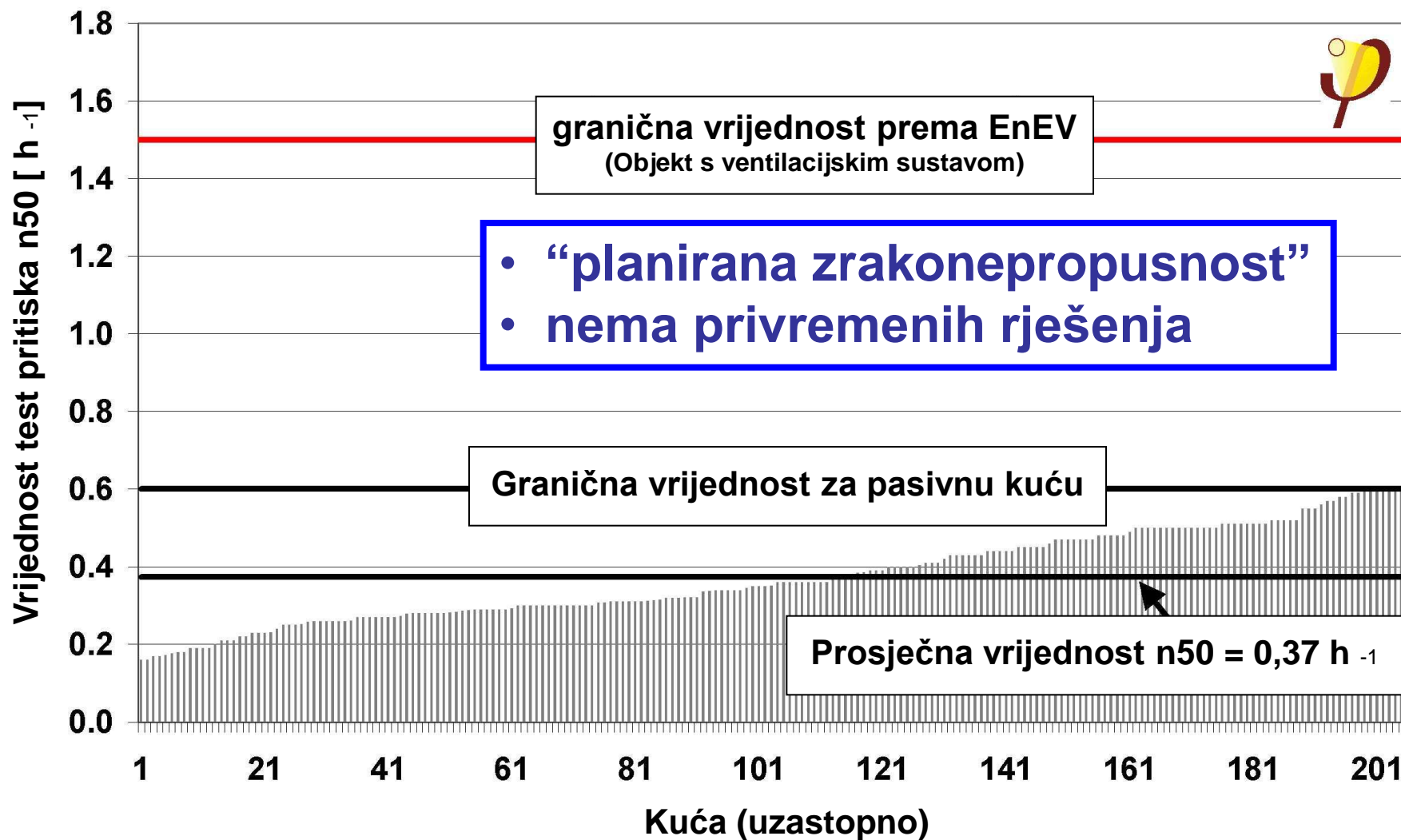
$\rho_a c_p$ - toplinski kapacitet zraka po jedinici obujma

$$\text{za } \dot{V} \text{ u m}^3/\text{s}, \rho_a c_p = 1200 \frac{\text{J}}{\text{m}^3\text{K}}$$

$$\text{za } \dot{V} \text{ u m}^3/\text{h}, \rho_a c_p = 0,33 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}}$$

Nacionalna regulativa: (normalizirani broj izmjena za zgradu obujma 300 m³ i oplošja 250 m², adaptirano prema Limbu, 2001)

zemlja	zahtjevi na zgradu	norm. n_{50} (1/h)
Belgija	$n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ s mehaničkom ventilacijom $n_{50} < 1 \text{ h}^{-1}$ s rekuperacijom	3,00
Francuska	$q_4 = 0,8 - 2,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$	11,00
Nizozemska	Razred 1 vent. sustava: n_{10} min. 0,4-0,72, n_{10} max. 1,4-2,24 Razred 2 vent. sustava: n_{10} max. 0,72-1,15	6,50
Norveška	samostojeće i kuće u nizu $n_{50} < 4 \text{ h}^{-1}$ ostale zgrade do dva kata $n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ ostale zgrade više od dva kata $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$	4,00
Švedska	$q_{50} < 0,8 \text{ l}/(\text{sm}^2)$ (ali nije uvjet)	2,88
Švicarska	nove zgrade $q_4 < 0,75 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, preporuka $q_4 < 0,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, obnovljene/promjena $q_4 < 1,5 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$, preporuka $q_4 < 1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$,	3,30
Vel. Britanija	$q_{50} < 10 \text{ m}^3/(\text{hm}^2)$ (ali nije uvjet)	8,30
SAD	$0,28 < n_4 < 1,6$	8,50
Slovenija	$n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ $n_{50} < 2 \text{ h}^{-1}$ s mehaničkom ventilacijom i rekuperacija	3,00
Njemačka	$n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ s mehaničkom ventilacijom	3,00
Hrvatska	$0,5 (0,2) < n_{50} < 3 \text{ h}^{-1}$ $0,5 (0,2) < n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$ s mehaničkom ventilacijom s rekuperacijom za $n_{50} > 0,7 \text{ h}^{-1}$	3,00



Postizanje zrakonepropusnosti...vrag je u detalju...

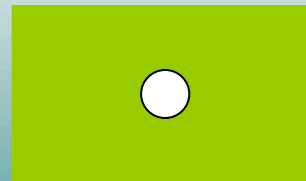
1. Brtvljenje površina

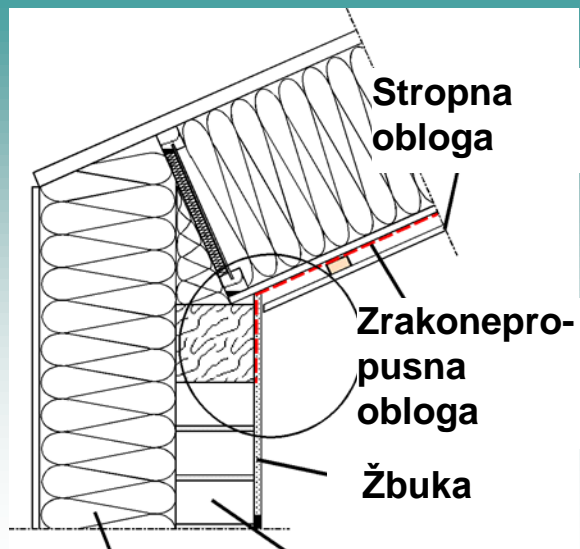


2. Brtvljenje spojeva



3. Brtvljenje prodora

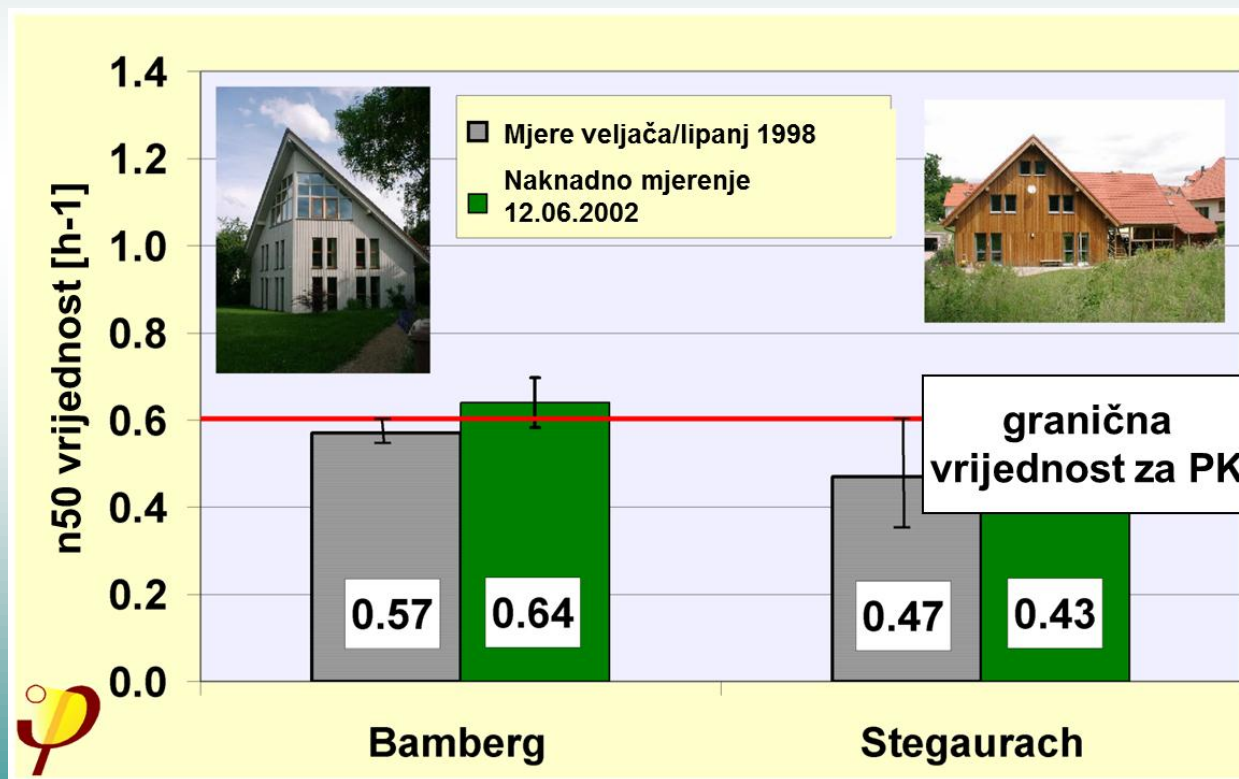






Trajnost zrakonepropusnosti zgrade - Passivhaus Institut:
 Studije vezane za trajnost zrakonepropusnosti pokazuju da
 čak ni nakon 10 godina nije bilo nikakvog pogoršanja.

Preduvjeti su odgovarajuće detaljno planiranje,
 profesionalni materijali i pravilno rukovanje.



Zahvaljujem na pažnji.

dr. sc. Ivica Kušević, dipl. ing. fizike
Institut IGH d.d., Zagreb
ivica.kusevic@igh.hr