

nZEB zgrada. Od optimalnog koncepta do rješenja

Zašto i kako provoditi Blower Door na nZEB zgradama?

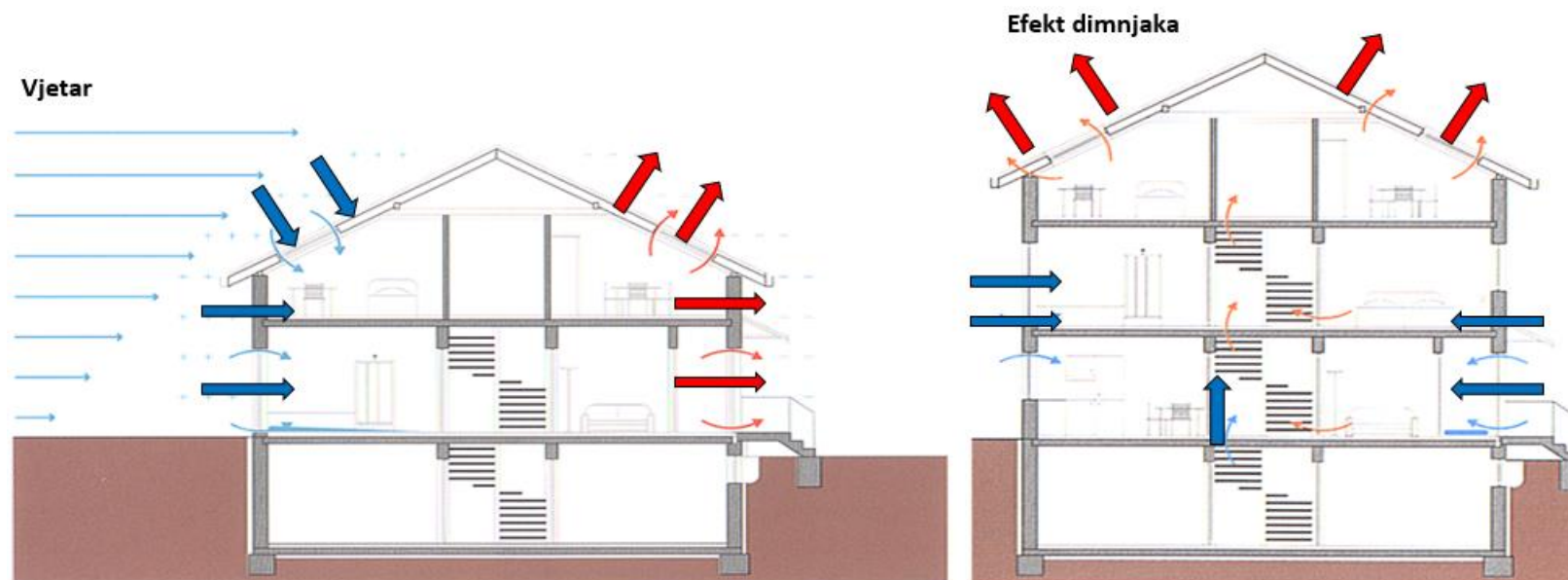
07/12/2020

Doc.dr.sc. Bojan Milovanović, mag.ing.aedif.



Zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade

- zapravo infiltracija unutrašnjeg toplog zraka koji izlazi iz zgrade ili ulazak hladnog vanjskog zraka u zgradu **kroz pukotine, šupljine i druga mjesta nastala slučajnim i nenamjernim propustima**, ali nikako kroz ventilacijski sustav zgrade.



Razlikovati zrakonepropusnost od paronepropusnosti

- dobro izvedena paronepropusna ovojnica je istovremeno i zrakonepropusna, ali obrnuto ne vrijedi nužno
 - primjer žbuke je takav da ona može biti zrakonepropusna, ali obično nije paronepropusna.
- **postavite cilj za n_{50} - na temelju energetske modele, te realnog sagledavanja mogućnosti ostvarenja prilikom gradnje**
 - (korišteni proizvodi, kompetencije izvođača i podizvođača, troškovi),

Ispitati pomoću tzv. **Blower door** testa.



- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama ([NN 128/15](#), [70/18](#), [73/18](#), [86/18](#), [102/20](#)):

...

Članak 30.

- (1) Ispunjavanje zahtjeva o zrakopropusnosti iz odredbi članka 26. stavaka 1., 3., i 4. ovoga propisa dokazuje se ispitivanjem na izgrađenoj novoj ili rekonstruiranoj postojećoj zgradi prema **HRN EN ISO 9972:2015**, metoda određivanja 1, prije tehničkog pregleda zgrade.

...

- (3) **Obvezna primjena** zahtjeva iz stavka 1. ovoga članka odnosi se **na zgrade gotovo nulte energije** i zgrade koje se projektiraju na:
 - $Q''_{H,nd} \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest $\leq 3 \text{ }^\circ\text{C}$ prema podacima iz Meteoroloških podataka, odnosno
 - $Q''_{H,nd} \leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest $> 3 \text{ }^\circ\text{C}$ prema podacima iz Meteoroloških podataka.

Za razliku tlakova od 50 Pa, izmjereni protok zraka, sveden na obujam unutarnjeg zraka, ne smije biti veći od vrijednosti:

- $n_{50} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ kod zgrada bez mehaničkog uređaja za ventilaciju, odnosno
- $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ kod zgrada s mehaničkim uređajem za ventilaciju.

n_{50} je broj izmjena zraka u jednom satu pri razlici tlakova od 50 Pa u odnosu na obujam unutarnjeg zraka.

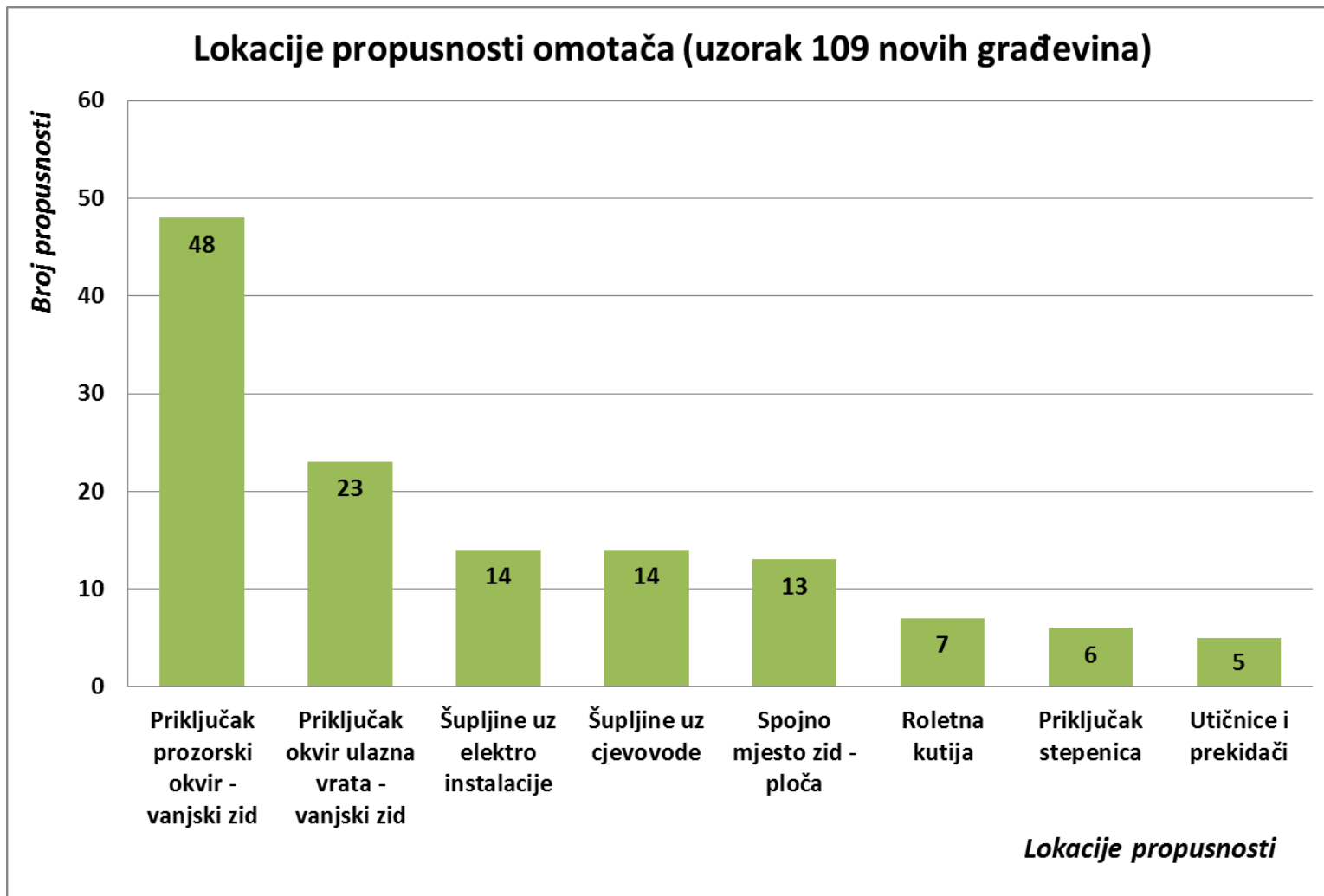
Članak 31.

- (1) Za stambene zgrade koje imaju više od jednog stana zahtjevi iz članka 26., 27., 28., 29. i 30. ovoga propisa **moraju biti ispunjeni za svaki stan**.
- (2) Za nestambene zgrade zahtjevi iz članka 26., 27., 28., 29. i 30. ovoga propisa odnose se na ovojnici grijanog dijela zgrade.

**BUILD TIGHT
VENTILATE RIGHT!**



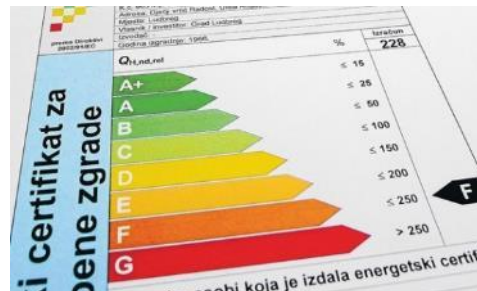
Uobičajene lokacije propuštanja



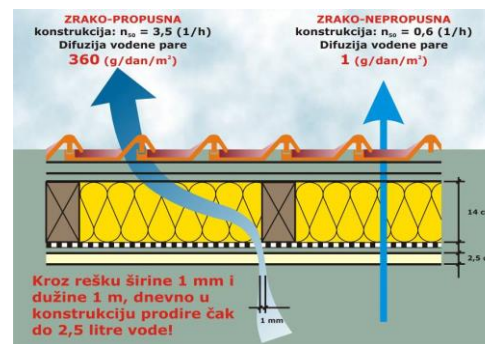
Izvor:
H. Böhmer, T. Brinkmann-Wicke, et al.
Luftdichtheitsmessung in der Praxis: Für Neubauten und energetische Gebäudemodernisierungen von Hannover Institut für Bauforschung e.V. (Herausgeber),

Posljedice (opasnosti) zrakopropusnih ovojnica zgrada

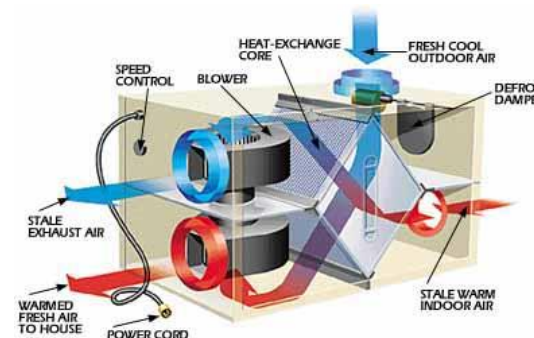
Povećani toplinski gubici



Kondenzacija vodene pare

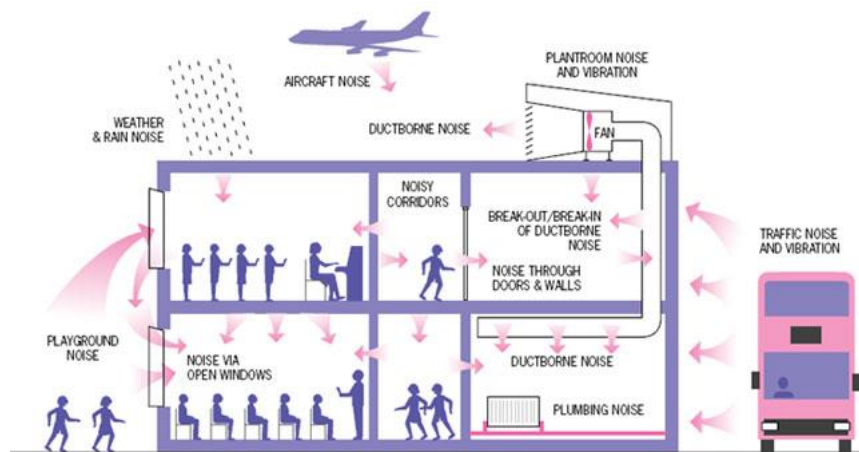


Manja učinkovitost mehaničkih sustava ventilacije (u odnosu na rekuperaciju topline)



Posljedice (opasnosti) zrakopropusnih ovojnica zgrada

Smanjenje zvučne izolacije



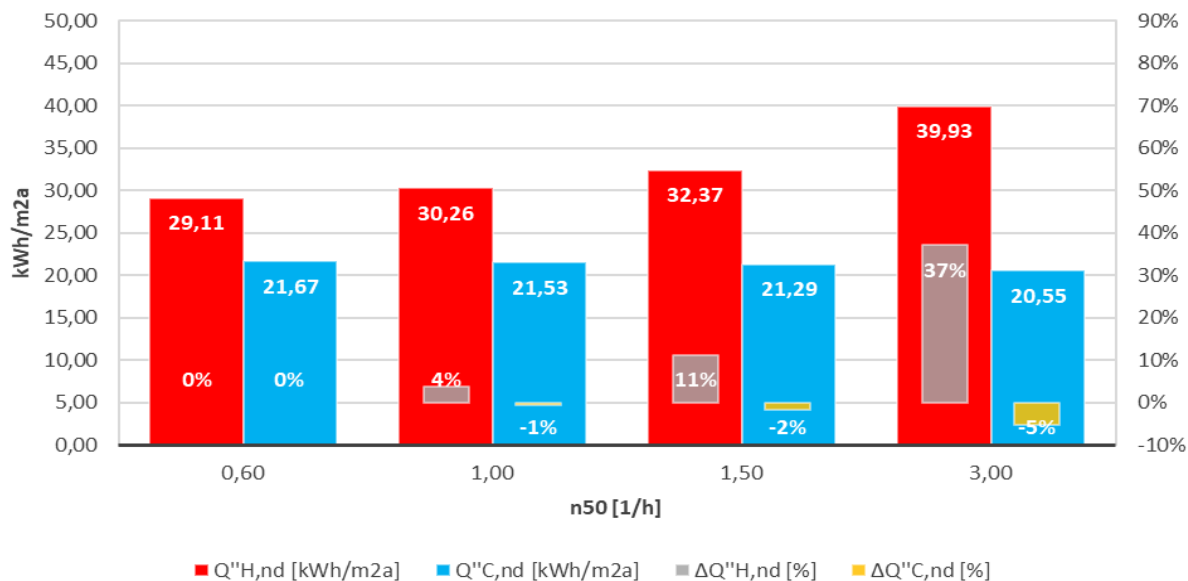
Narušena kvaliteta unutarnjeg zraka



Ostvariti zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu zgrade

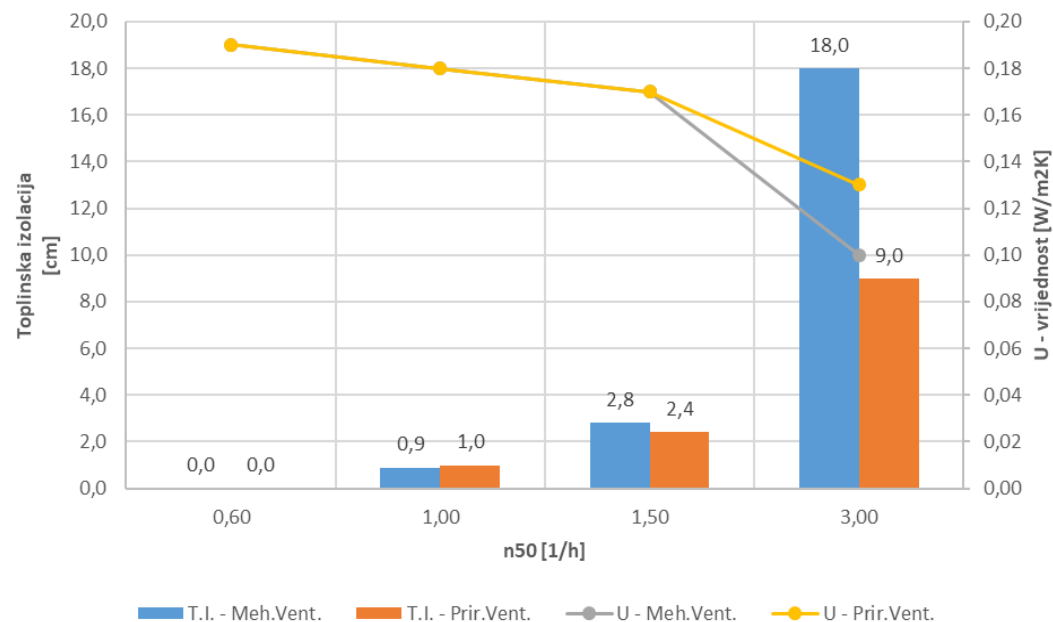
- Isplativa mjera i smanjuje mogućnost štete**

Porotherm 38 IZO PROFI + Lag.žbuka + Meh. vent. s povratom topline (84%) - Zagreb



Usporedba potrebne energije za grijanje i hlađenje za obiteljsku kuću smještenu u Zagrebu ovisno o zrakopropusnosti vanjske ovojnice zgrade (n₅₀) – s prikazom relativnog povećanja (smanjenja) u odnosu na n₅₀=0,60 1/h u %

Potrebna debljina toplinske izolacije za ostvarenje cca jednake Q''H,nd - za različite vrijednosti n₅₀ // PTH 38 IZO PROFI + lag.žbuka - Zagreb



Usporedba potrebne debljine toplinske izolacije vanjskih zidova (potrebne U-vrijednosti zidova) za ostvarenje jednake potrebne energije za grijanje kao u slučaju PTH 38 IZO PROFI + Terca i n₅₀=0,60 1/h, za obiteljsku kuću smještenu u Zagrebu i vrsti ventilacije

Gubici energije putem eksfiltracije zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade

❖ Belgija i Njemačka

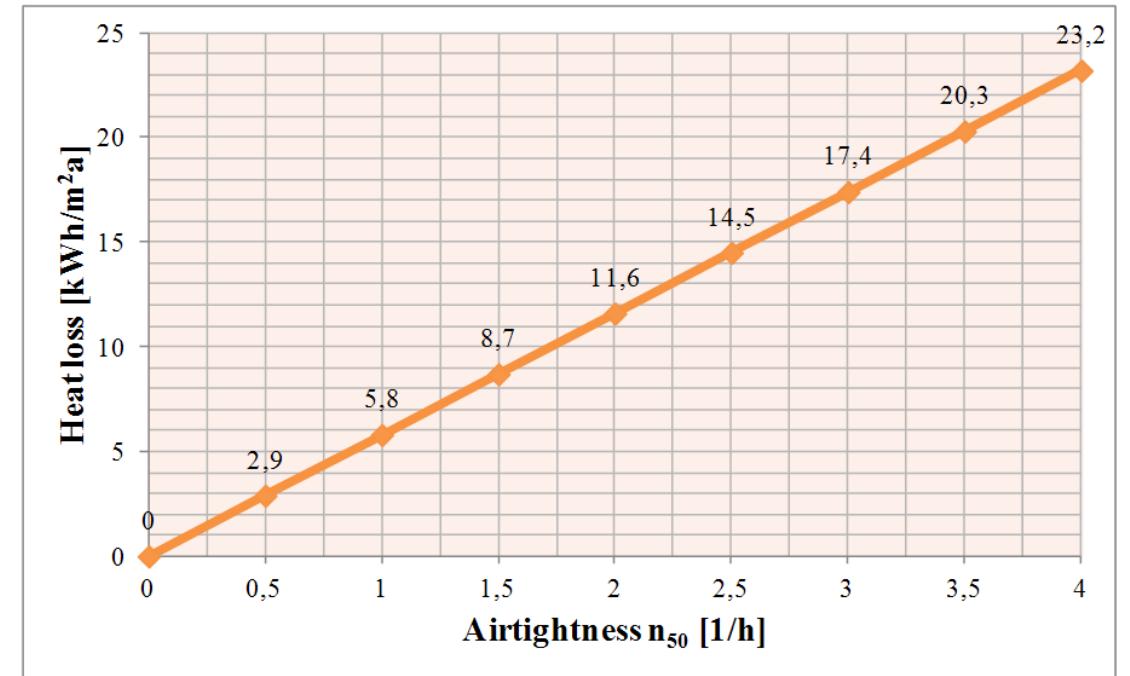
Zrakopropusnost vanjske ovojnice odgovorna za **10% toplinskih gubitaka u zgradi**, odgovara instalaciji fotonaponskih panela

❖ Francuska

Udio je procijenjen na **2 do 5 kWh/m²a za jediničnu promjenu broja izmjena zraka u prostoriji (n₅₀)** energije potrebne za grijanje prostora.

❖ Skandinavija

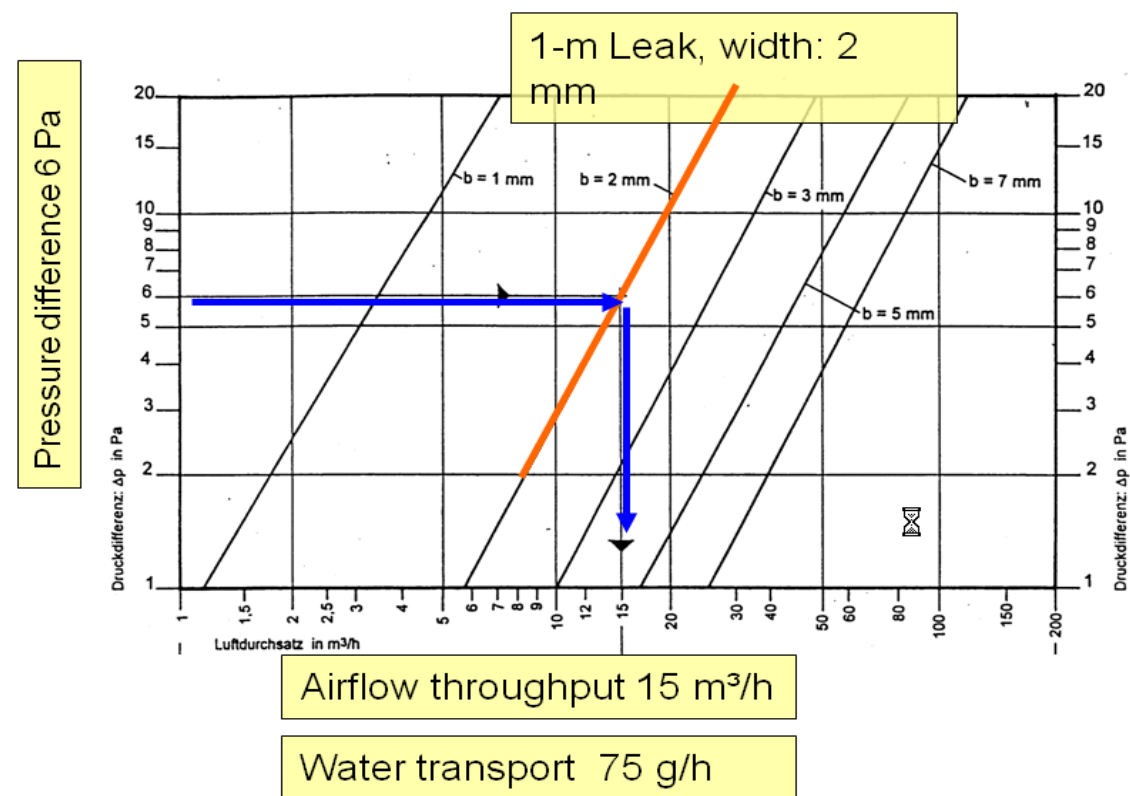
Udio je procijenjen na približno **10 kWh/m² a za jediničnu promjenu broja izmjena zraka u prostoriji n₅₀**.



Source: IEE Passnet project

- Infiltracija zraka se događa uslijed razlike tlakova na vanjskoj ovojnici zgrade

Nomogram za proračun toka zraka kroz mjesta propuštanja



ŠTETA!

Nepravilna izvedba paro- i zrakonepropusne krovne konstrukcije s donje strane



Ostvariti zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu zgrade

NZEB mora imati imaju **KONTINUIRANU** zrakonepropusnu ovojnicu.

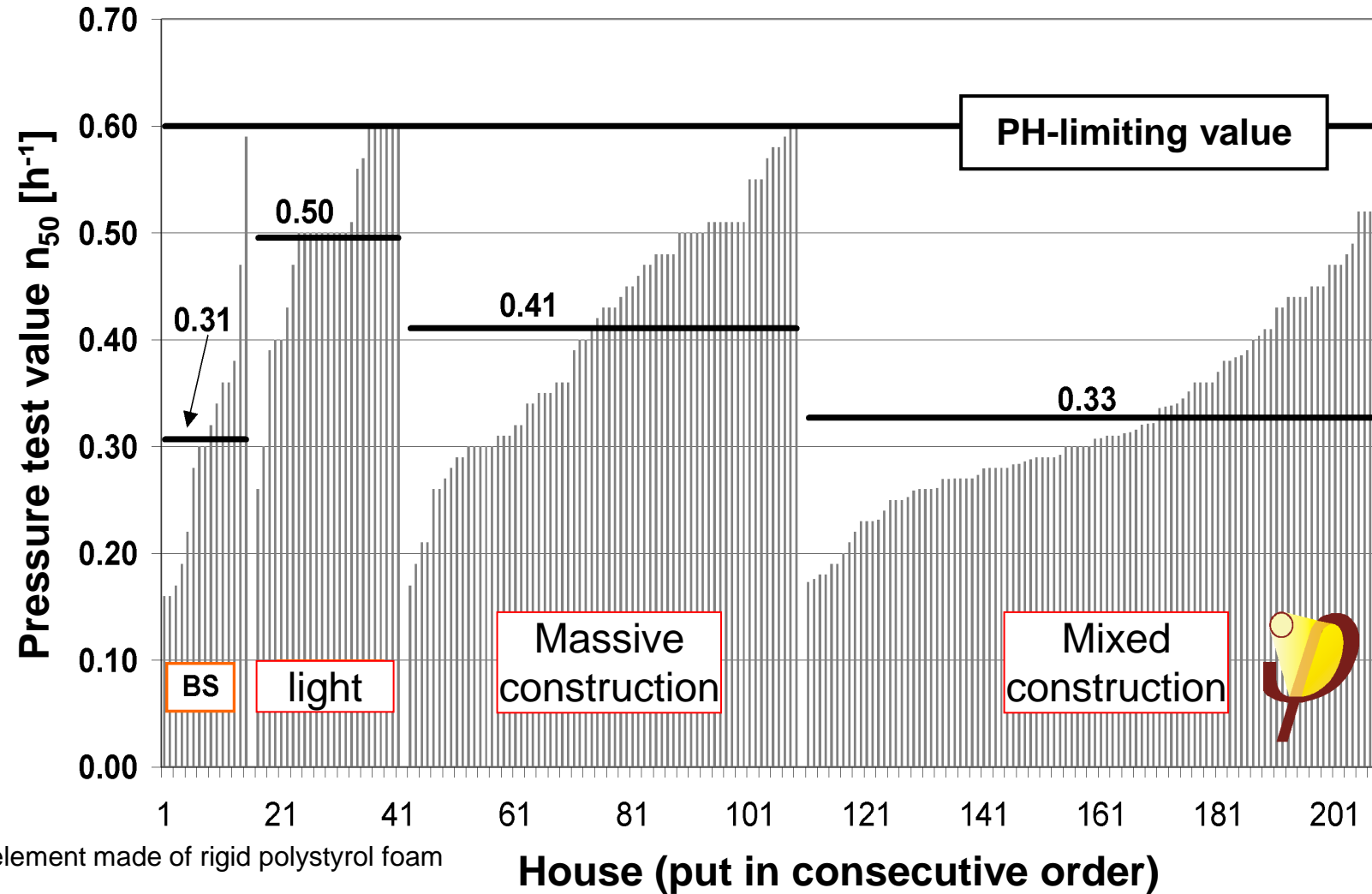
- Tajna kontinuiteta je identificiranje materijala i proizvoda koji **ne propuštaju zrak**
- rješavanje problema spojeva i pukotina na odgovarajući način

Potrebne vještine za ostvarenje kontinuiteta!



Traženu zrakonepropusnost moguće je postići s različitim tipovima gradnje

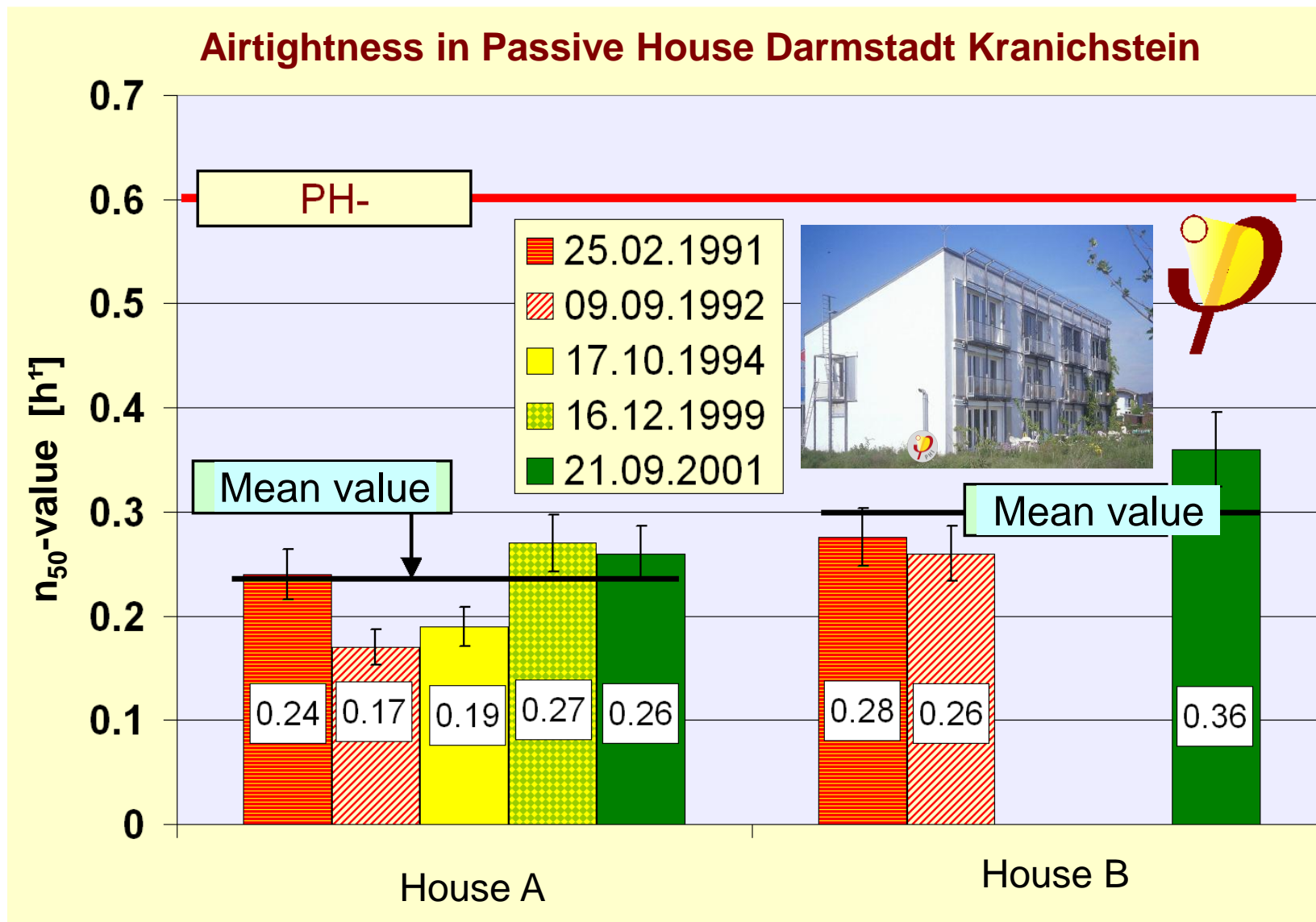
Izvor: Peper, S.: Airtightness in Passive Houses – Experiences from over 200 realised objects; Conference proceedings of the 4th Passive House Conference; Passive House Service GmbH; Kassel and Darmstadt 2000.



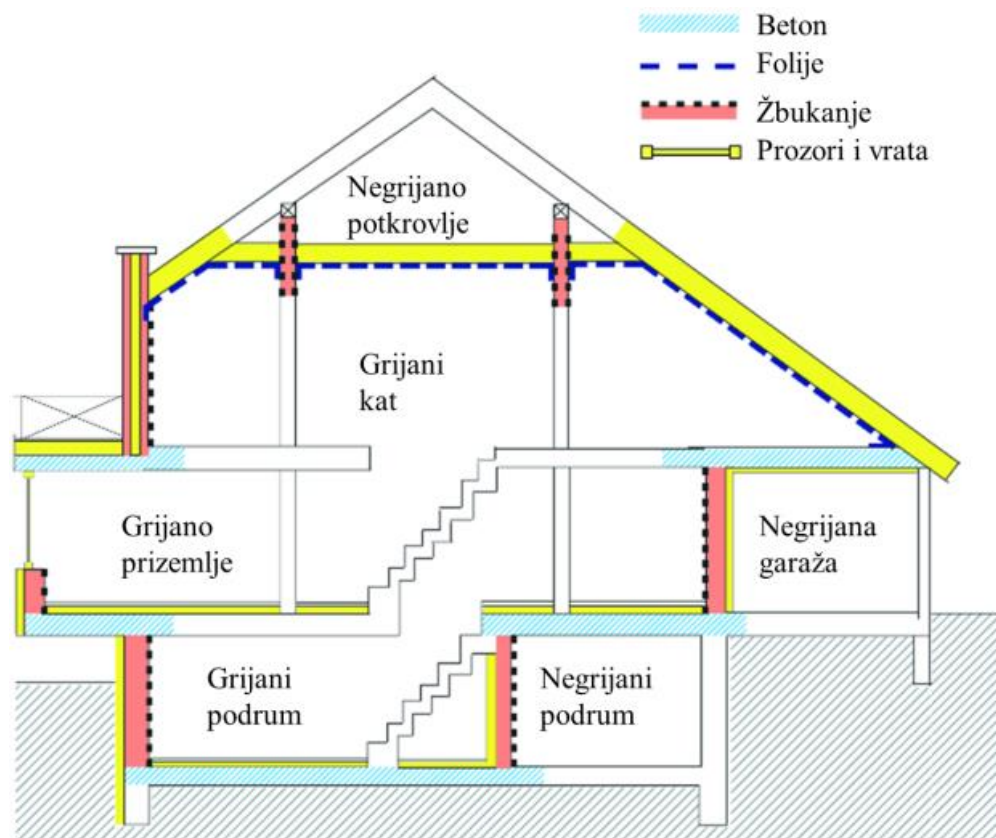
BS = Formwork element made of rigid polystyrol foam

Da li je zrakonepropusnost trajna?

Izvor: Søren Peper, Oliver Kah, Wolfgang Feist: About the long-term durability of airtightness concepts in passive houses – field measurements, final report. IEA SHC TASK 28 / ECBCS ANNEX 38. Passive House Institute, Darmstadt 2005 (in German only)



Zrakopropusnost je potrebno planirati i projektirati!

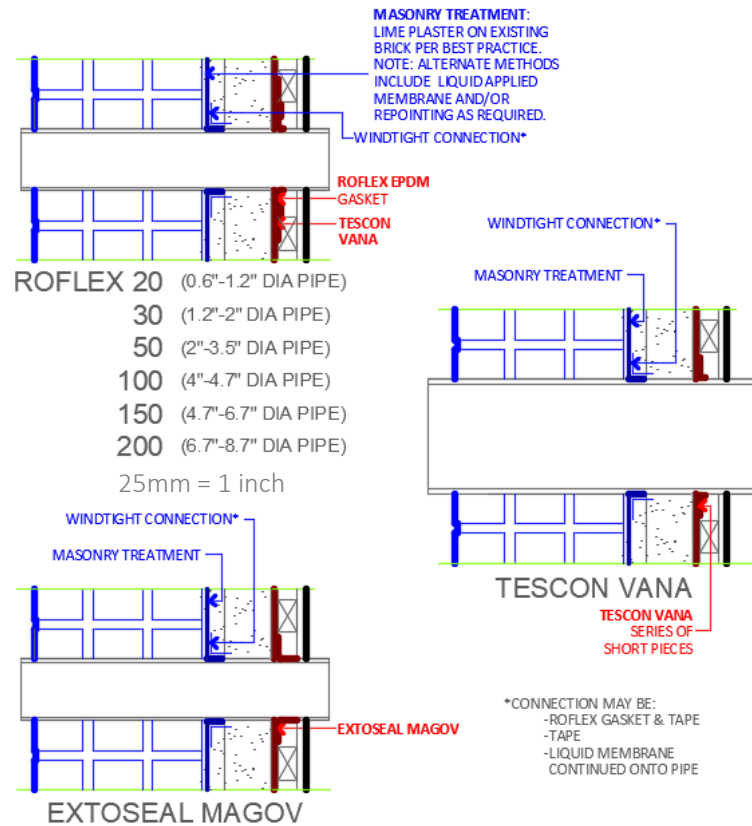


Projektiranje **JEDINSTVENOG** zrakonepropusnog sloja na cijeloj vanjskoj ovojnici zgrade

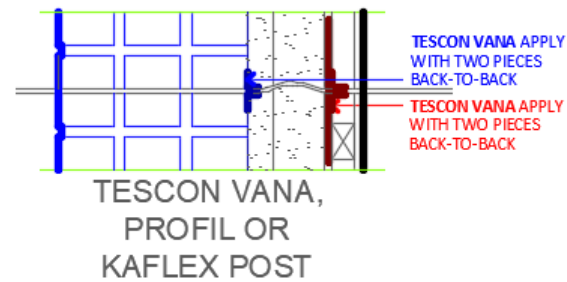
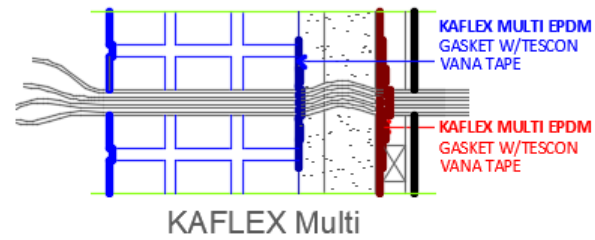
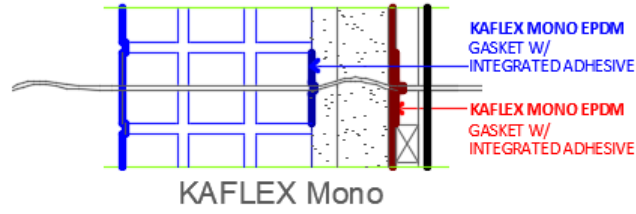
n_{50} max. 1.50 h^{-1}



Detalji rješavanja kontinuirane toplinske i zrakonepropusne ovojnice (bez TM i infiltracije)



Pipe penetrations



Cable penetrations

IN RED - INBOARD AIR SEALING COMPONENTS

AIR SEALING COMPONENTS:

MEMBRANE OPTIONS:
DB+
INTELLO PLUS
SOUTEX MENTO 1000
LIQUID APPLIED MEMBRANES

SHEATHING OPTIONS:
OSB
PLYWOOD

CAULKING ADHESIVE OPTIONS:

CONTEGA HF
CONTEGA LINE
TAPE OPTIONS:
TESCON VANA
TESCON PROFIL

CONCRETE

GUTEX MULTITHERM WOOD FIBER INSULATION BOARD

IN BLUE - OUTBOARD AIR SEALING COMPONENTS

OTHER BUILDING COMPONENTS:

MEMBRANE OPTIONS:
SOUTEX MENTO 1000
SOUTEX MENTO PLUS
DA

CONCRETE

BRICK

CAULKING ADHESIVE OPTIONS:

CONTEGA HF

TAPE OPTIONS:
TESCON VANA
TESCON VANA 75, 100, 150 & 200
TESCON PROFIL
CONTEGA EKO
EXTONSEAL ENCOR, FINOC, MAGOV
GUTEX MULTITHERM WOOD FIBER INSULATION BOARD

IN GREYSCALE - OTHER COMPONENTS

DRAWING PROFILE LINE

INSULATION OPTIONS:

DENSE PACK: CELLULOSE OR FIBERGLAS

RIGID: GUTEX, MINERAL WOOL OR FIBERGLAS

BATT: FIBERGLAS, DENIM, SHEEPS WOOL OR MINERAL WOOL

STRUCTURE

EXISTING FOUNDATIONS

Source: www.foursevenfive.com

1.

Provjera
zrakopropusnosti
ovojnice

Blower Door
test

2.

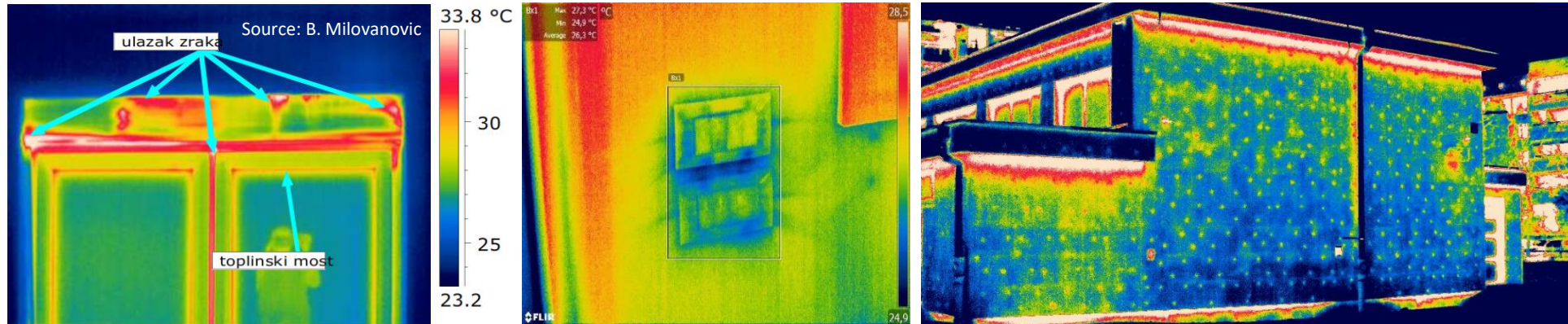
Infracrvena
termografija
za određivanje
mjesta infiltracije
zraka i određivanje
mjesta toplinskih
mostova

3.

Određivanje
koeficijenta
prolaska
topline kroz
prozirne i
neprozirne
elemente

Kako kontrolirati kvalitetu NZEB-a

■ Infracrvena termografija



■ Blower door



Karakterizacija zrako(ne)propusnosti zgrade

❖ direktno:

- ❖ jako teško (npr. mjerenjem koncentracije nekog umjetno uvedenog plina i čekati)

❖ indirektno:

- ❖ izmjeriti protok zraka koji je potrebno upuhati ili ispuhati za određenu nametnutu razliku tlaka i iz toga dobiti curenje zraka u uvjetima normalnog korištenja → “Blower Door Test”



Blower door + IC termografija
=
kvalitetna ocjena ovojnice zgrade



Povućena norma!

HRN EN 13829:2002

Metoda A se koristi za **ispitivanje** zrakopropusnosti **zgrade u upotrebi**, s ovojnicom koja predstavlja uvjete za sezonu grijanja ili hlađenja, bez dodatnog brtvljenja...

Metoda B se koristi za **ispitivanje** zrakonepropusnosti **ovojnice**. U ovom slučaju, određeni otvori se zatvaraju ili zabrtve.

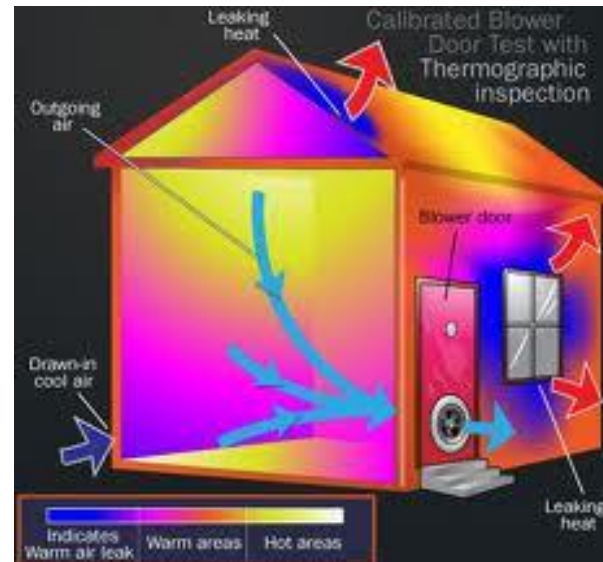
HRN EN ISO 9972:2015

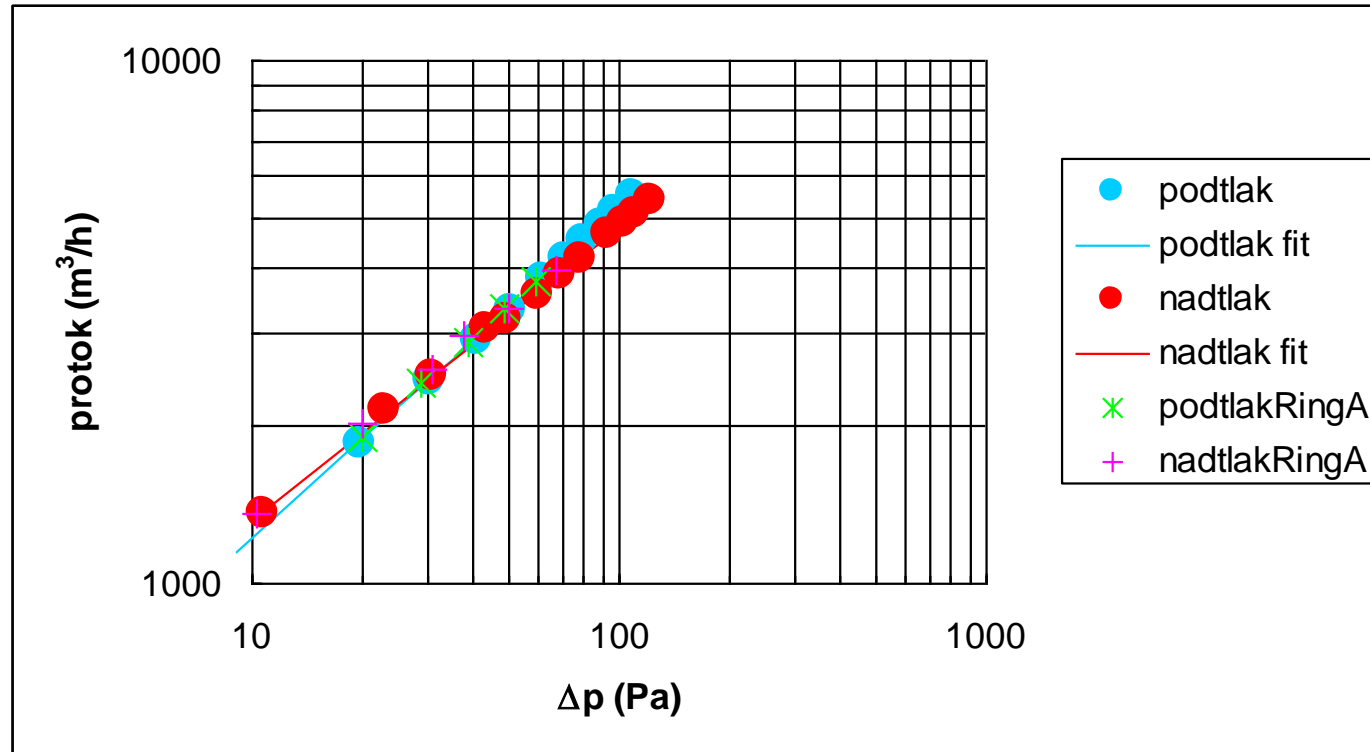
Metoda 1 se odnosi na ispitivanje zgrade u uporabi gdje su vrata, prozori i otvori za prirodnu ventilaciju zatvoreni, a otvori mehaničke ventilacije i klima uređaja zapečaćeni...

Metoda 2 služi za ispitivanje ovojnice tako da se svi otvori, vrata i prozori, zatvore, a otvori za prirodnu i mehaničku ventilaciju te otvori klima uređaja, zabrtve.

Metoda 3 služi za specifične svrhe. Zatvaranje i brtvljenje se vrši prema nacionalnim dodacima standarda.

- U svrhu ispitivanja zrakonepropusnosti prema spomenutoj normi, mnoge više-zonske zgrade mogu se smatrati jedno-zonskim zgradama otvaranjem unutarnjih vrata ili ostvarenjem jednakih tlakova u susjednim zonama





$$\dot{V}_{\Delta p_r} = C_L (\Delta p_r)^n$$

- $\dot{V}_{\Delta p_r}$ - protok zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade [m³/h]
- Δp_r - razlika tlakova unutrašnjeg i vanjskog zraka [Pa]
- n - eksponent tečenja ($0.5 < n < 1$). Tipična vrijednost je 0.66
- C_L - koeficijent tečenja zraka [$m^3 h^{-1} Pa^{-n}$]

METODA BLOWER DOOR – postupak ispitivanja

Protok zraka kroz vanjsku ovojnicu zgrade pri razlici tlakova $\dot{V}_{\Delta p_r}$ podijeljena s volumenom grijanog zraka u zgradi V daje **broj promjena ukupnog volumena zraka pri specifičnoj razlici tlakova Δp_r** .

točka	podtlak		nadtlak		Jednadžba protoka: protok= $C(\Delta p)^n$ (m ³ /h)	podtlak	nadtlak	srednja vrijednost
	Δp (Pa)	protok zraka (m ³ /h)	Δp (Pa)	protok zraka (m ³ /h)				
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				
5	49,05	1149,8	49,95	1267,9	n:	0,6470	0,6749	
6	58,05	1291,1	61,51	1455,0	$u_n(95\%)$:	0,0073	0,0205	
7	66,65	1418,1	72,75	1611,3				
8	78,14	1556,7	84,12	1766,8	C_L :	93,1	89,8	
9	89,99	1704,0	90,96	1854,4	$u_{CL}(95\%)$:	2,6	7,3	
10	104,99	1857,9	97,83	1941,7				
11			110,64	2115,0	$\Delta p=50$ Pa:			
12					tok (m ³ /h):	1170	1259	1178
13					$u_{tok}(95\%)$ (m ³ /h):	65	203	62
14								
15					n_{50} (1/h):	2,78	3,00	2,82
16					$u_{n50}(95\%)(1/h)$:	0,21	0,51	0,19
17								
18					q_{50} (m ³ /(hm ²)):	3,414	3,674	3,451
19					$u_{q50}(95\%)$ (m ³ /(hm ²)):	0,255	0,619	0,235

NAPOMENA!

- **RAZLIKA** između broja izmjene zraka „ n ” pri normalnim uvjetima i broja izmjene zraka „ n_{50} ” pri razlici tlakova od 50 Pa!!

Broj izmjena zraka „ n ” pri normalnim uvjetima (tipično 4 Pa razlika tlakova zraka) → vrijednost zrakopropusnosti u softveru za proračun gubitaka topline provjetranjem

$$n = \frac{n_{50}}{20}$$

$$n = \frac{n_{50}}{30}$$

Djelomično zaklonjena zgrada

$$n = \frac{n_{50}}{10}$$

Jako izložena zgrada

Procjena prosječne godišnje
veličine infiltracije zraka
temeljem poznate vrijednosti n_{50}

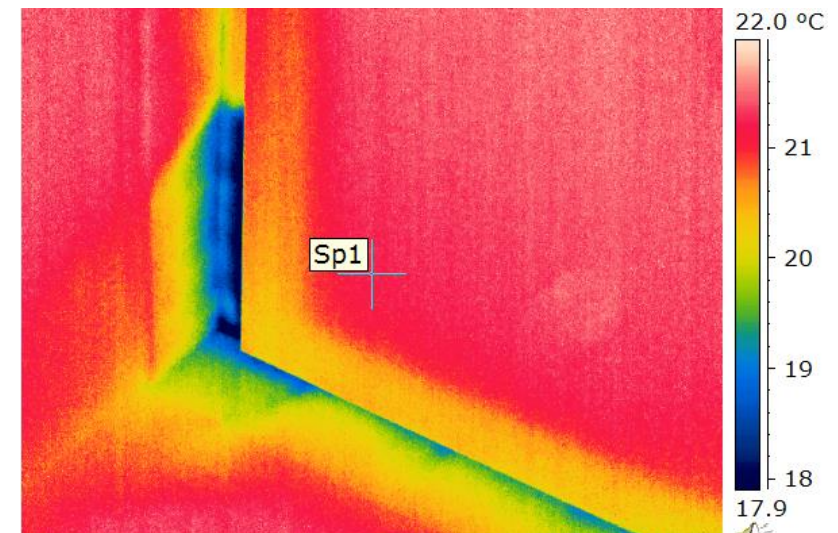
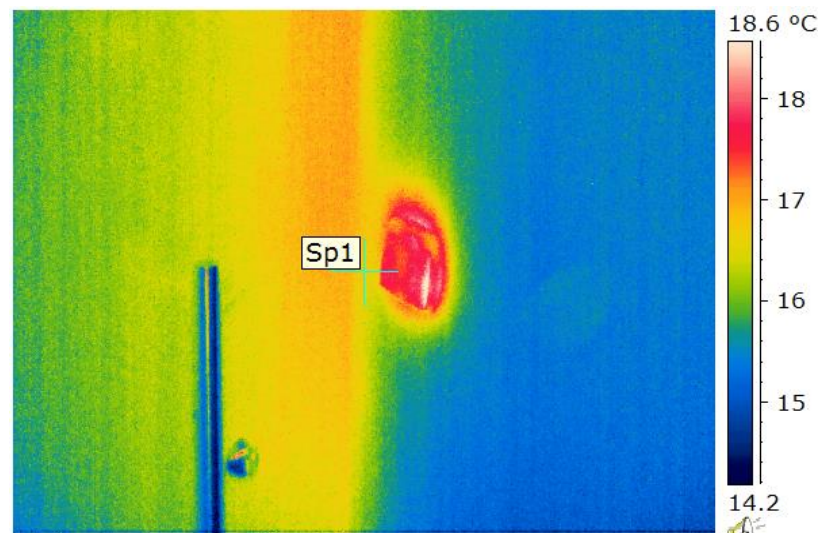
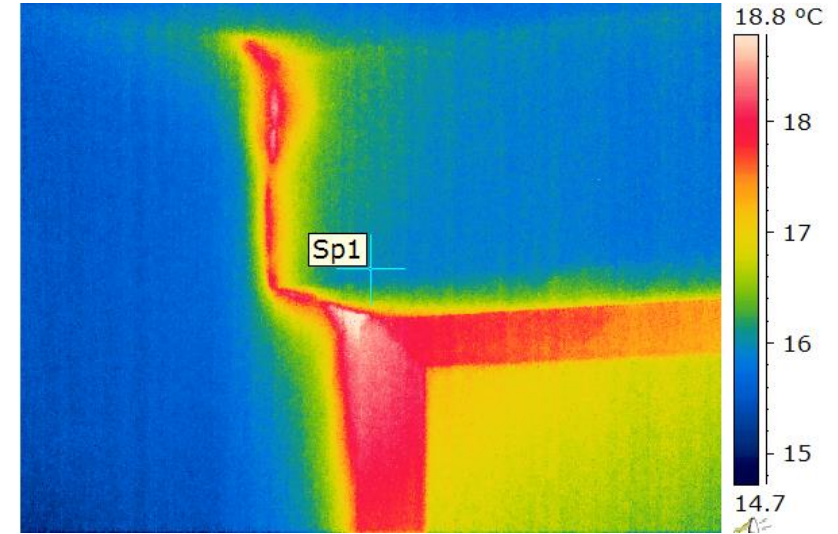
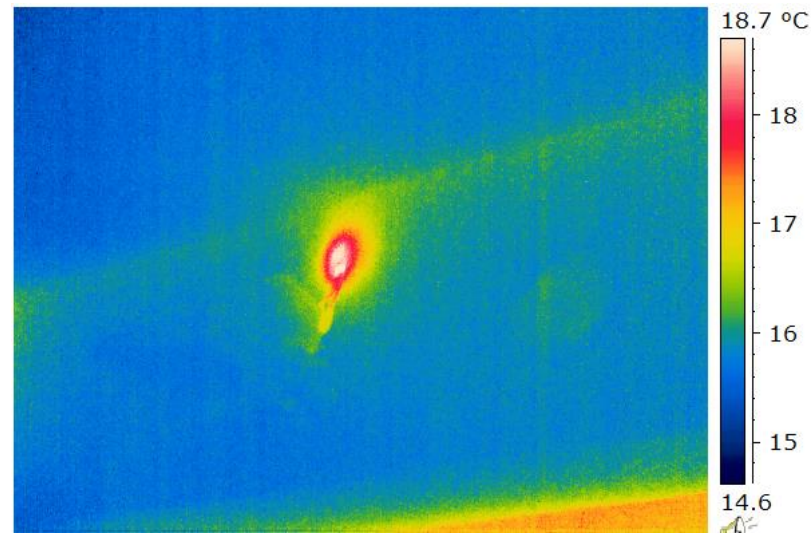
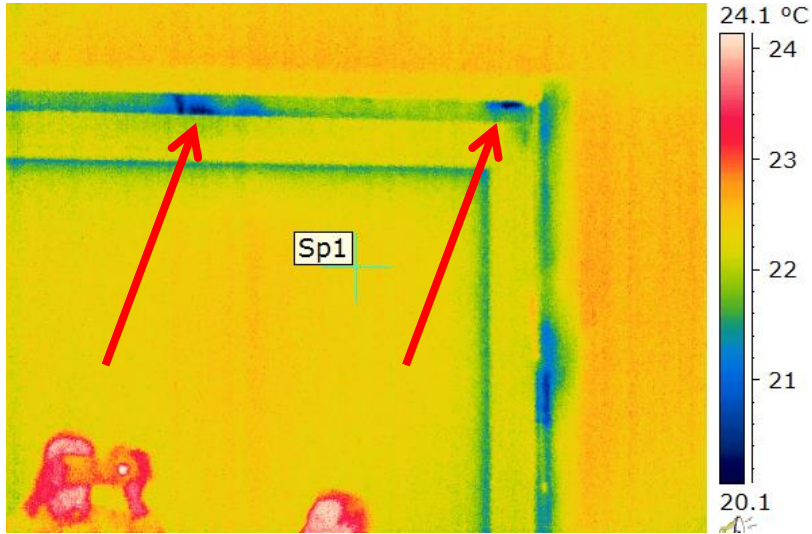
- **Obiteljska kuća smještena u blizini Zagreba**
 - Ukupna površina vanjske ovojnice zgrade $A_e=342.66 \text{ m}^2$
 - Ukupna korisna površina je 173.63 m^2
 - Obujam grijanog zraka $V=420.03 \text{ m}^3$.

- **Projektirana vrijednost (PHPP)**
 - $Q''_{H,nd} = 11,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
 - Zrakopropusnost $n_{50} = 0,50 \text{ 1/h}$





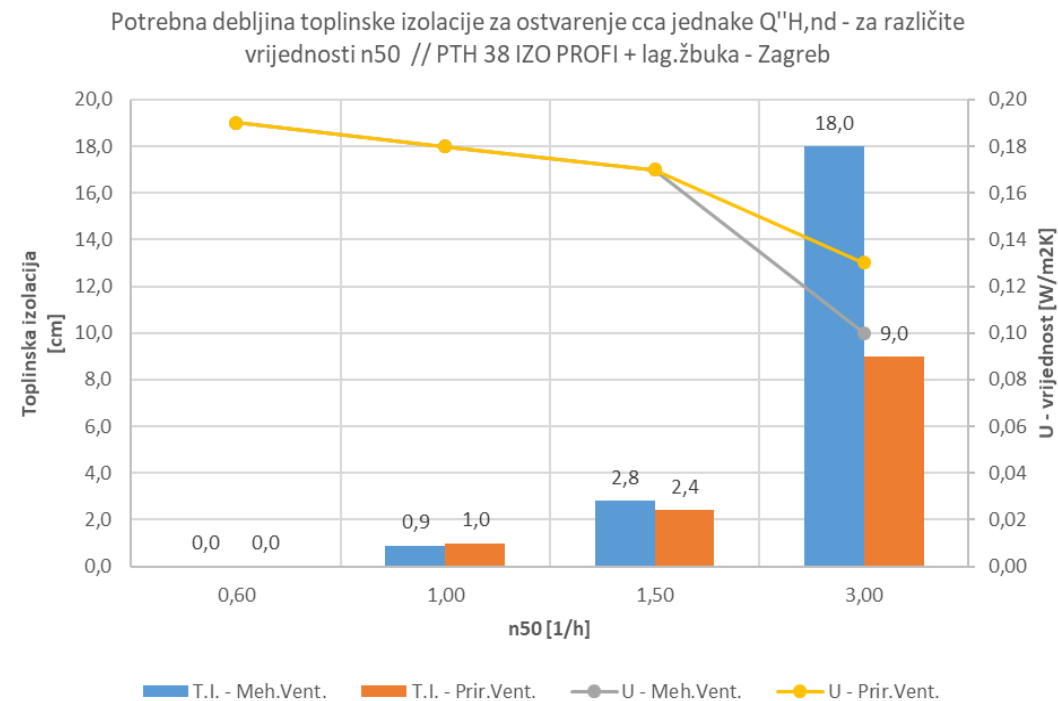
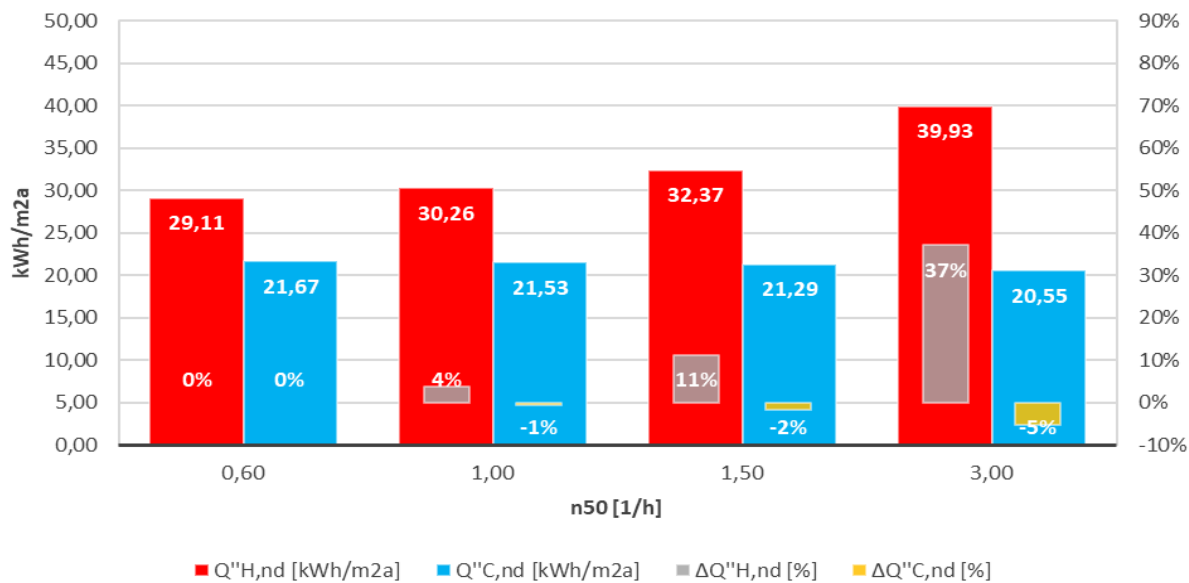
Mjesta infiltracije



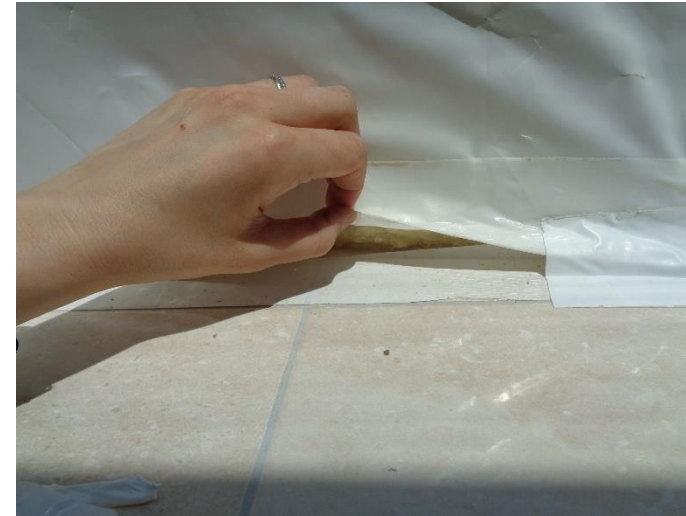
	Podtlak	Predtlak
Protok zraka pri $\Delta p=50$ Pa [m ³ /h]	1259	1170
n ₅₀ [1/h]	3.00	2.78
w ₅₀ [m ³ /hm ²]	3.674	3.414
ELA [cm ²]	628	583
ELA [% ploštine vanjske ovojnice zgrade]	0.018	0.017

• Isplativa mjera i smanjuje mogućnost građevinske štete

Porotherm 38 IZO PROFI + Lag.žbuka + Meh. vent. s povratom topline (84%) - Zagreb

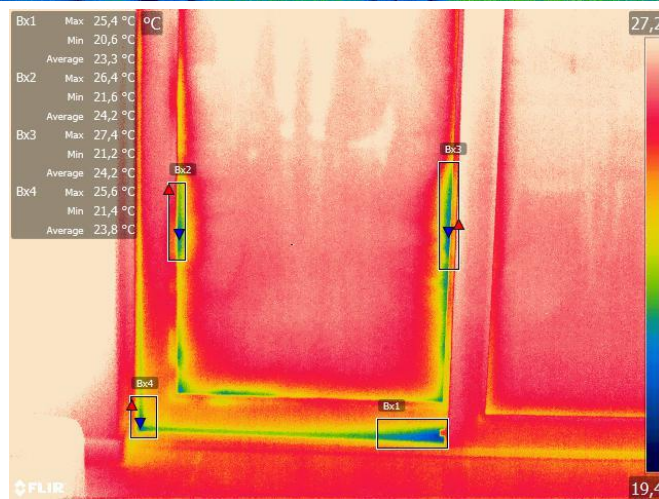
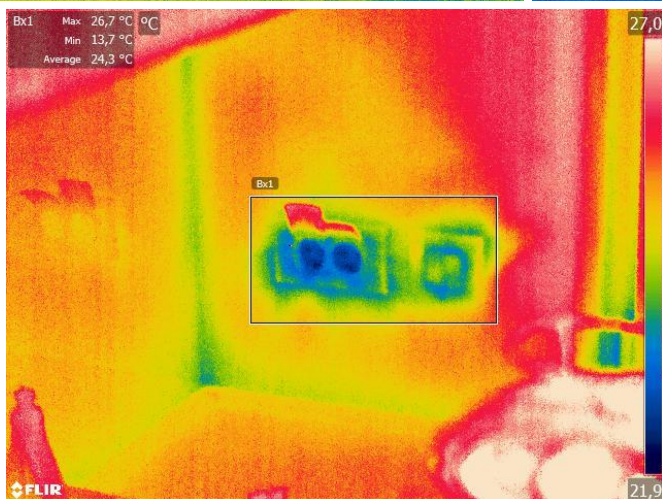
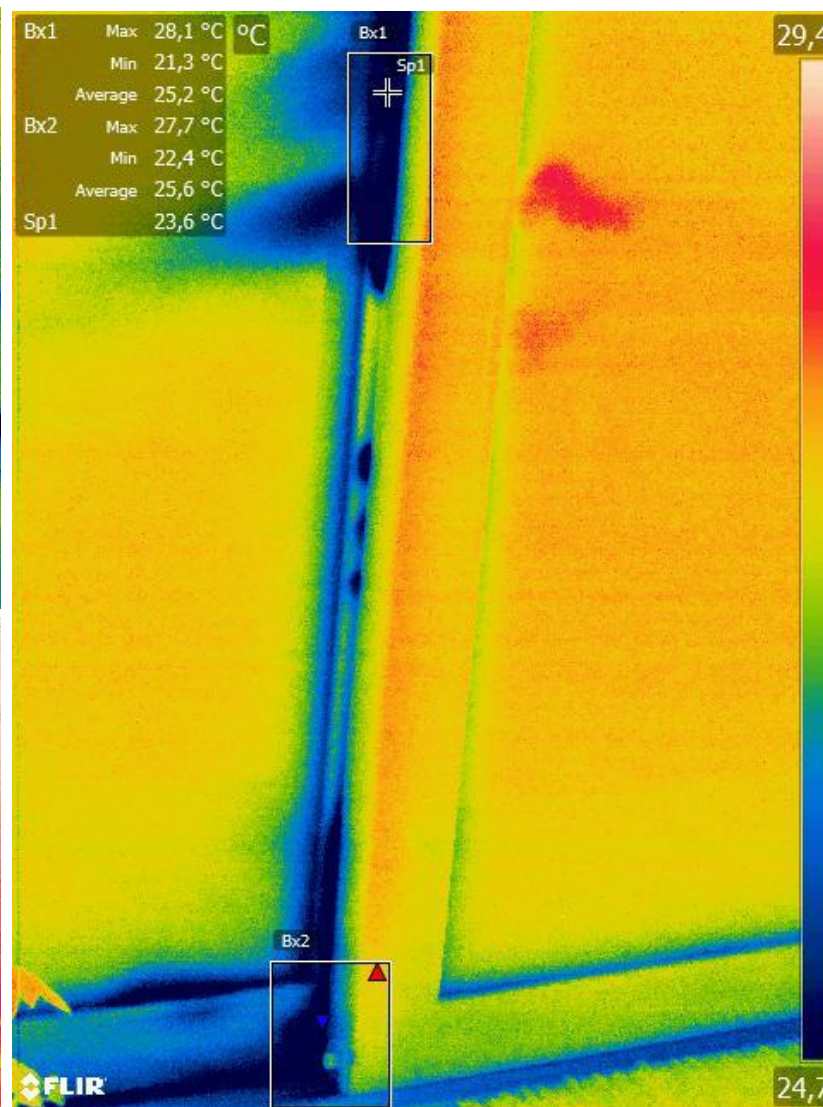
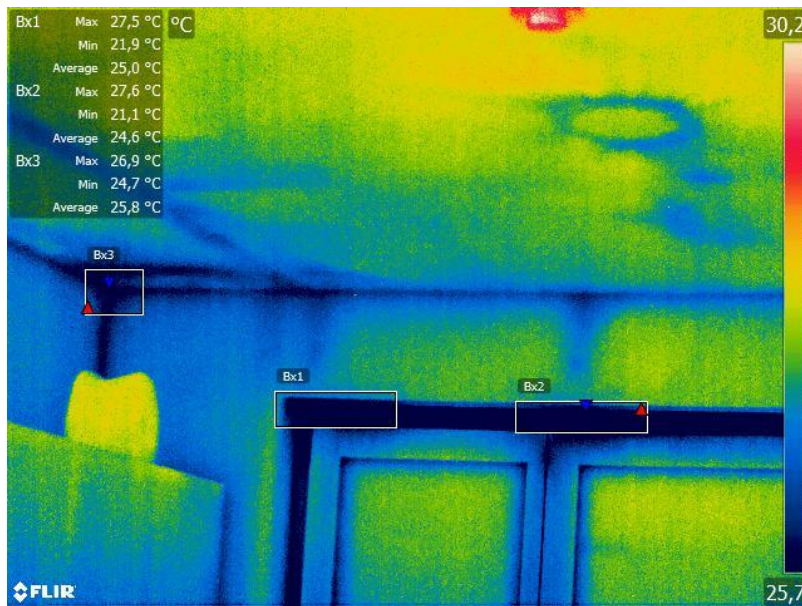
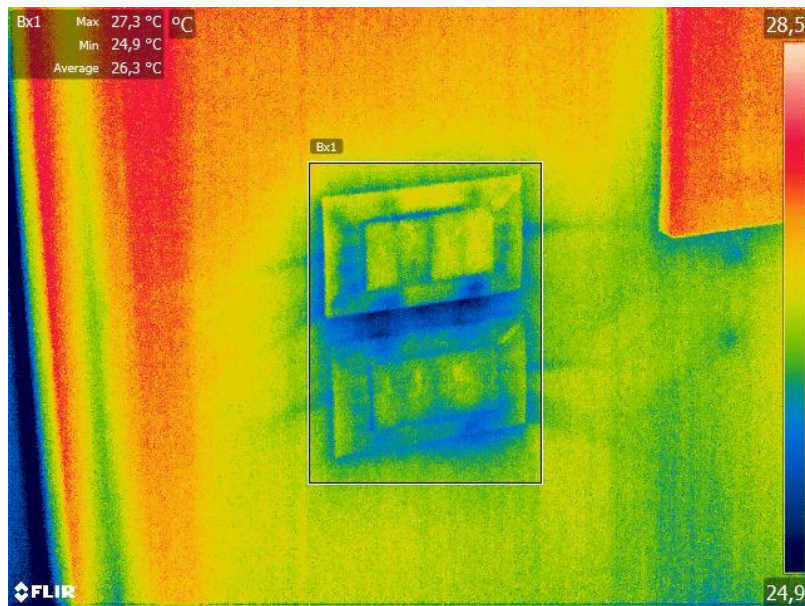


Primjeri zrakopropusne ovojnice

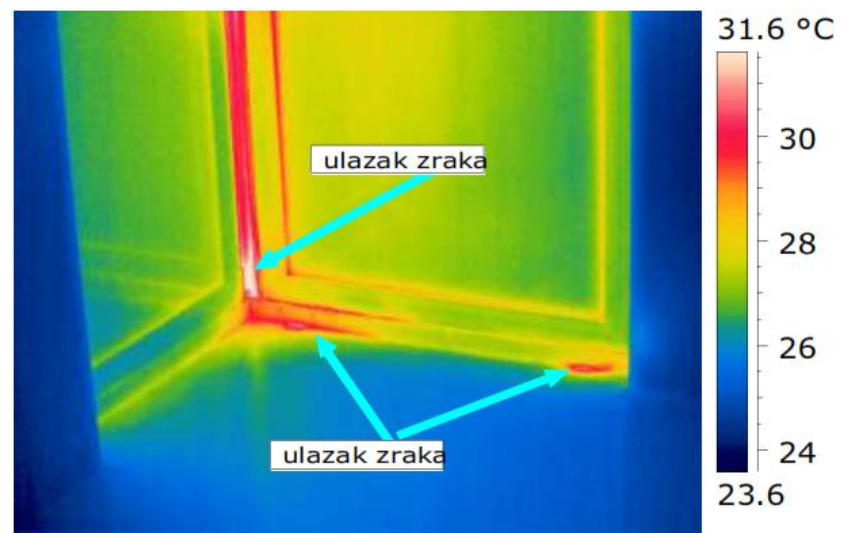
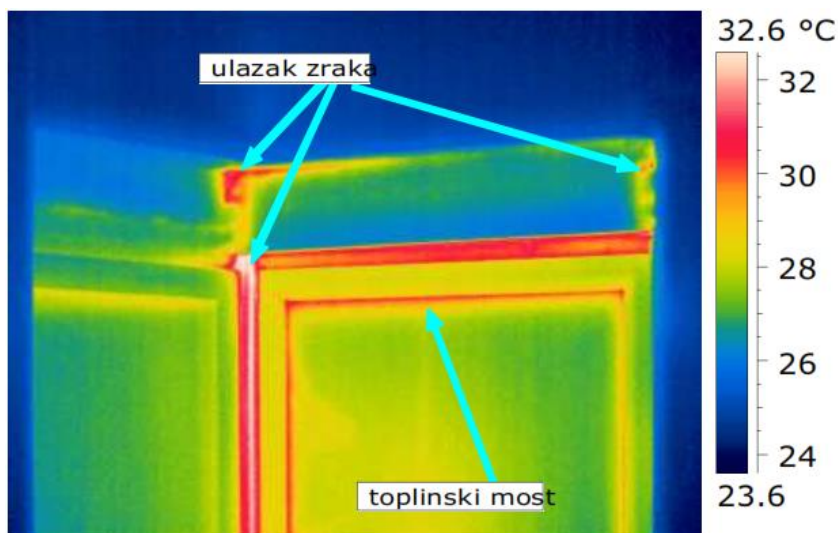
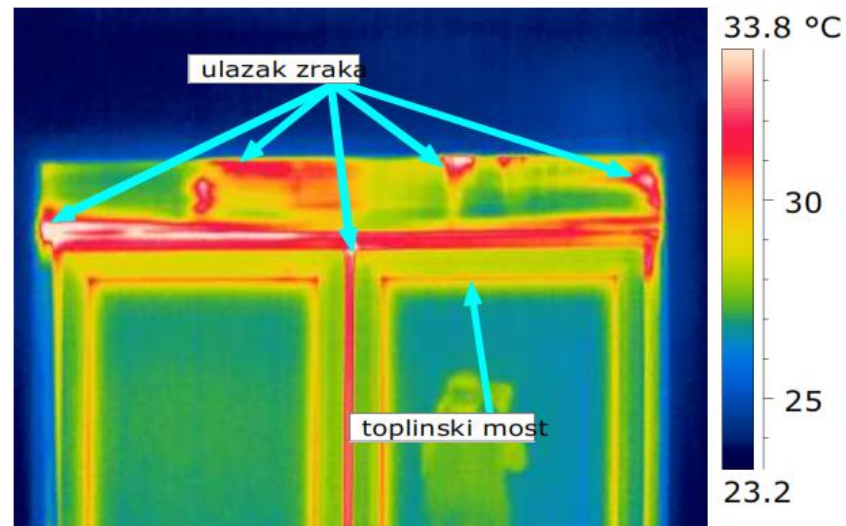
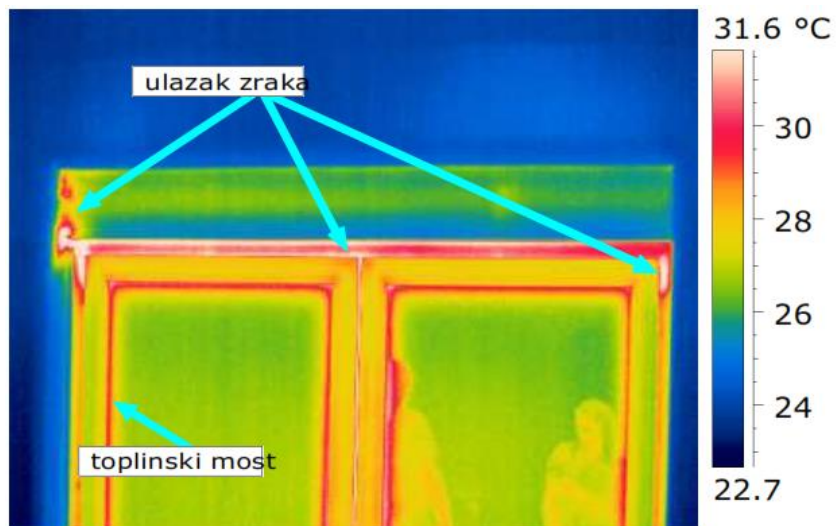




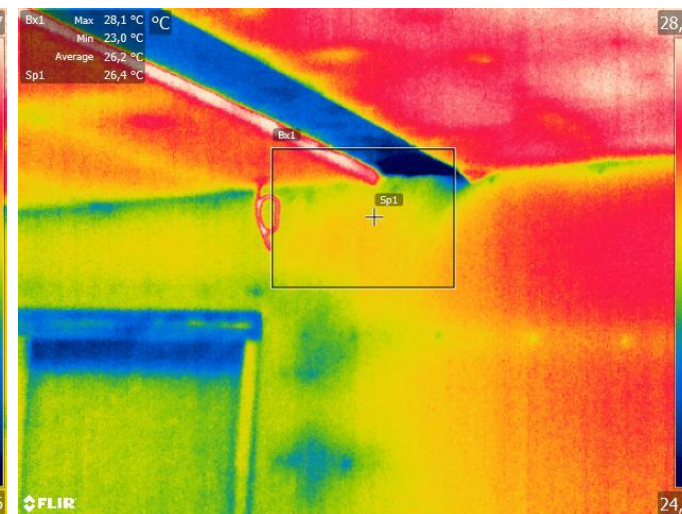
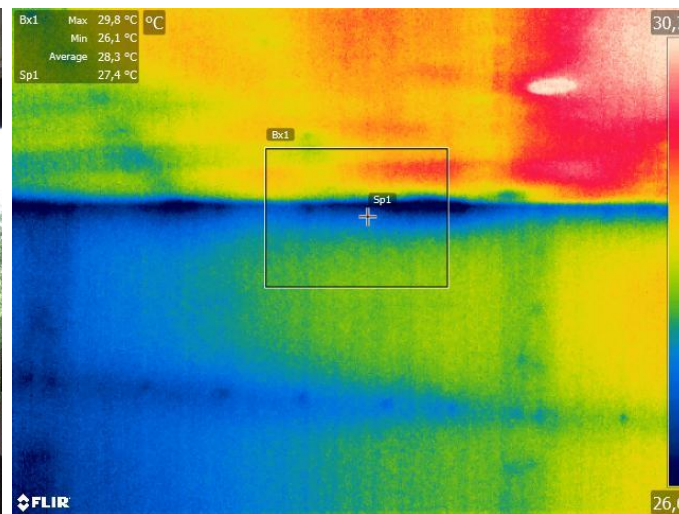
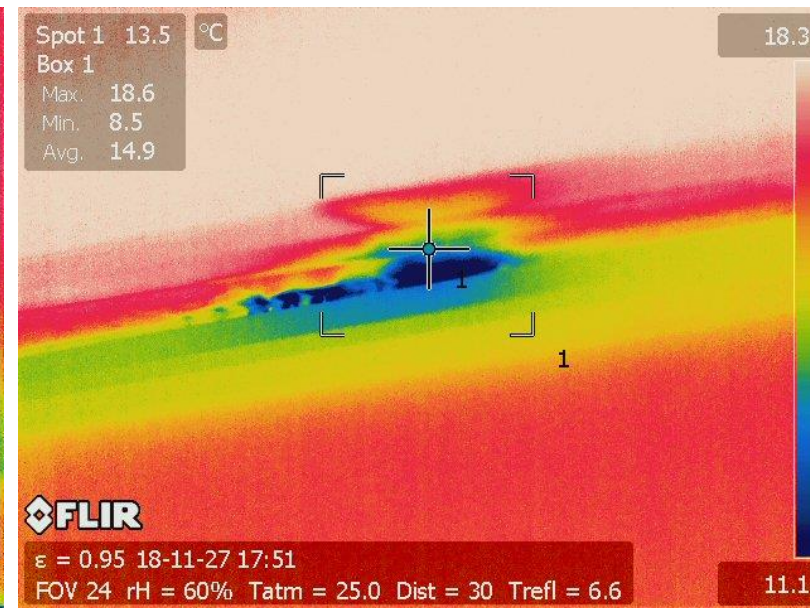
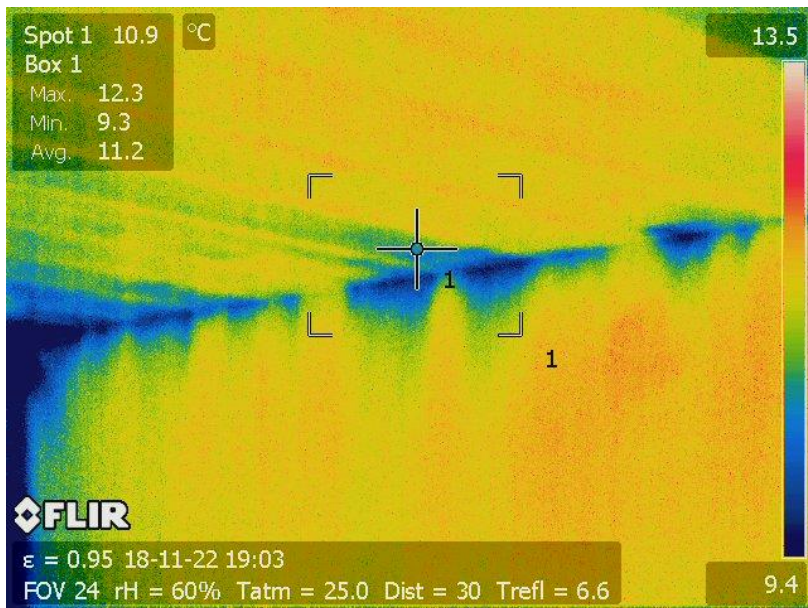
Zide s ventiliranom fasadom i GK pločama iznutra



Rezultati ispitivanja



Drvena kuća - NZEB



Zrakopropusni materijali



Neožbukana
opeka ili
blokovi



Neke vrste OSB
ploča



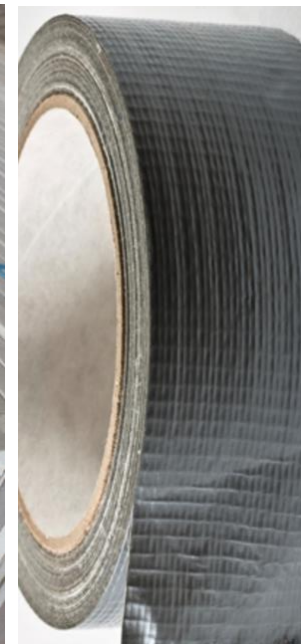
Ploče izolacije i
vanjska obloga



Neke vrste
ekspandirajućih
pjena



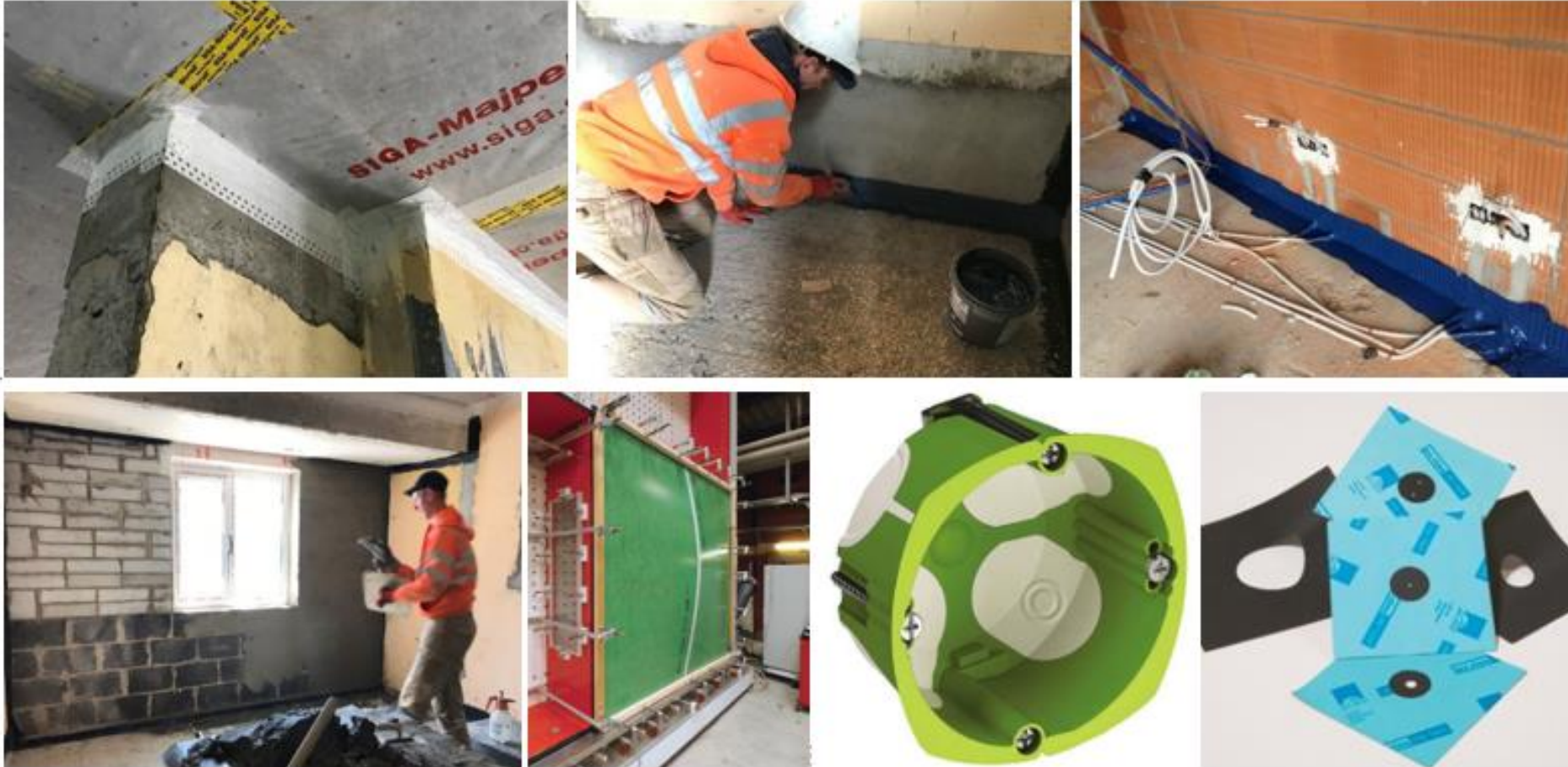
Gipskartonske
ploče



Obične trake,
selotejp, itd.

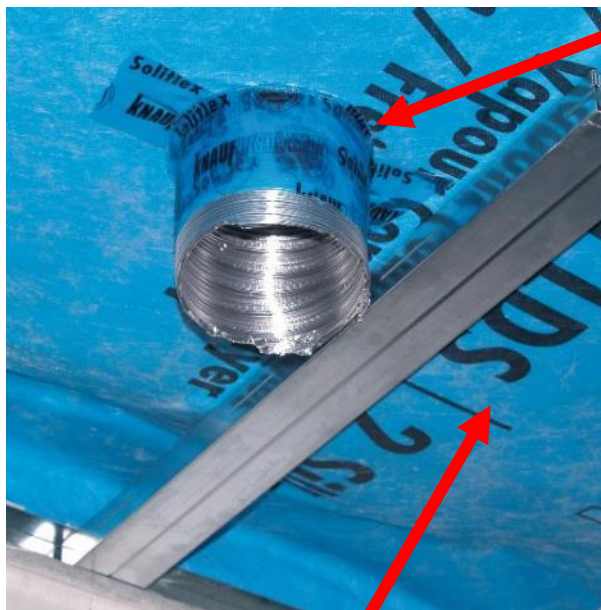
Proizvodi kojima **JE** moguće ostvariti
zrakonepropusnost vanjske ovojnice zgrade

KNAUFINSULATION



Zrakopropusnost - Brtvljenje

Brtviti proboje, spojeve i preklope



Parnu branu treba okrenuti na pravu stranu

To **nisu obične** ljepljive trake i kitovi !!!



„Obične” folije, ljepljive trake i kitovi - uzrokuju ŠTETE !!!

KNAUFINSULATION



Komunicirati važnost zrakonepropusnosti na gradilištu

AIRTIGHT BUILDING



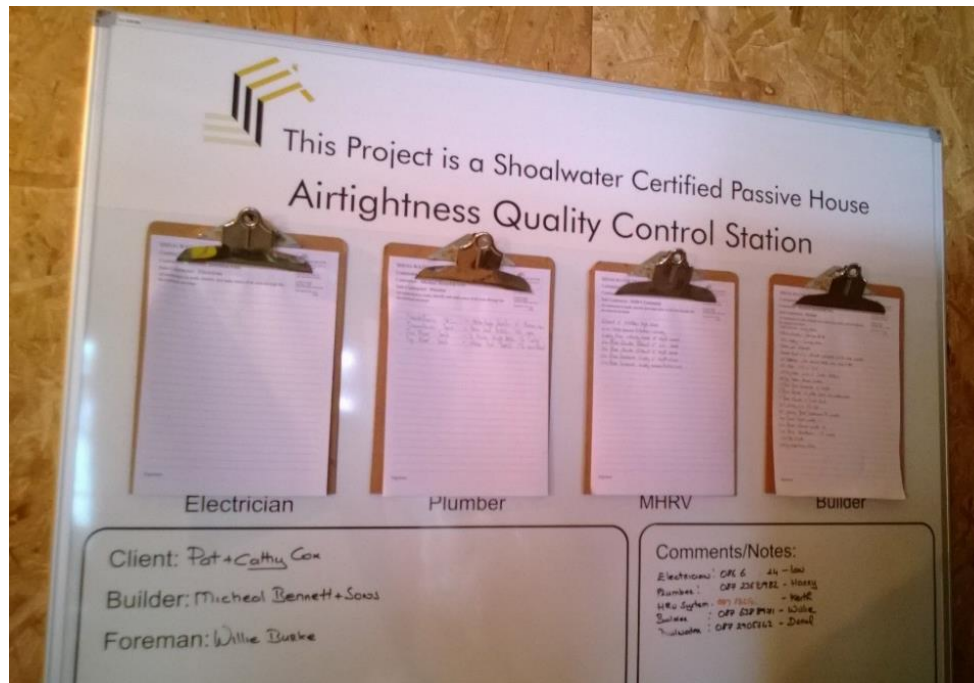
NO DRILLING
AIRTIGHT
CONSTRUCTION



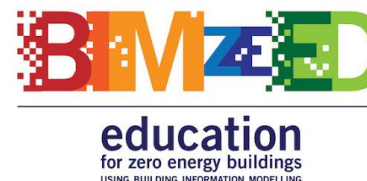
NO CUTTING
AIRTIGHT
MEMBRANES

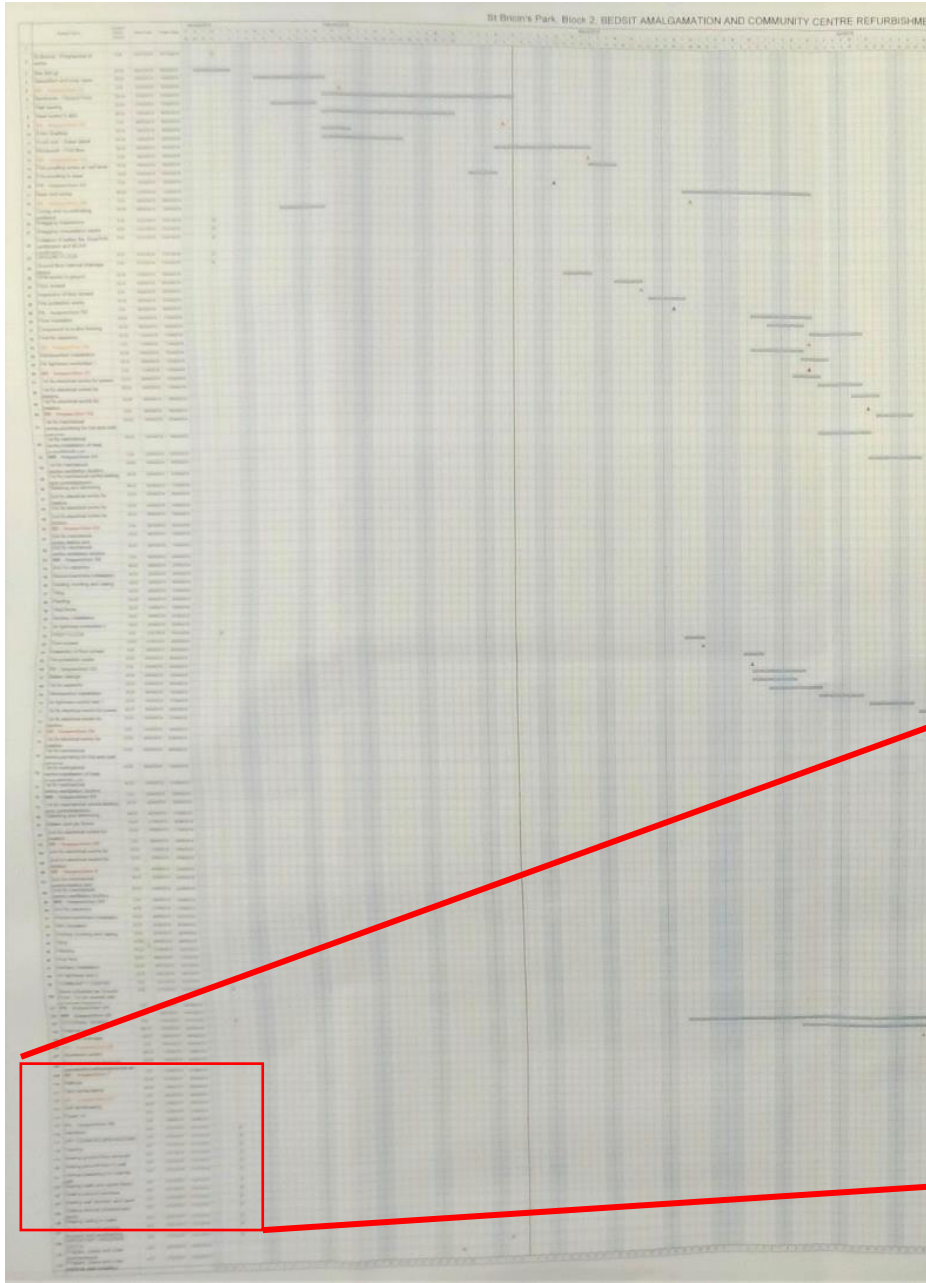


REPORT ALL PENETRATIONS TO SUPERVISOR



Innovative approach by Irish contractor where all penetrations by different trades are recorded on clipboards to be sealed by project airtightness champion





100	Same schedule as Ground Floor - To be revised with proposed drawings	0.00	31/01/2018	31/01/2018
101	FS - Inspection 04	0.00	02/05/2018	02/05/2018
102	ME - Inspection 05	0.00	04/07/2018	04/07/2018
103	EXTERNAL WORKS	8.00	31/01/2018	31/01/2018
104	External insulation	304.00	27/03/2018	22/05/2018
105	External drainage	120.00	10/04/2018	30/04/2018
106	SE - Inspection 06	0.00	25/04/2018	25/04/2018
107	Aluminium works	160.00	17/05/2018	13/06/2018
108	External service ducts for gas/electric/cable/telephone etc	64.00	14/06/2018	25/06/2018
109	EE - Inspection 7	0.00	27/06/2018	27/06/2018
110	Railings	120.00	01/05/2018	22/05/2018
111	Hard landscaping	96.00	14/06/2018	29/06/2018
112	SE - Inspection 07	0.00	09/05/2018	09/05/2018
113	Soft landscaping	56.00	27/06/2018	05/07/2018
114	Power on	8.00	21/05/2018	21/05/2018
115	FS - Inspection 05	0.00	13/06/2018	13/06/2018
116	Handover	8.00	31/01/2018	31/01/2018
117	AIR TIGHTNESS BREAKDOWN	8.00	31/01/2018	31/01/2018
118	Flooring	8.00	31/01/2018	31/01/2018
119	Sealing ground floor services	8.00	31/01/2018	31/01/2018
120	Sealing ground floor to wall	8.00	31/01/2018	31/01/2018
121	Internal plastering for internal wall	8.00	31/01/2018	31/01/2018
122	Sealing walls and upper floors	8.00	31/01/2018	31/01/2018
123	Sealing around windows	8.00	31/01/2018	31/01/2018
124	Sealing wall services and opes	8.00	31/01/2018	31/01/2018
125	Sealing around windows and doors	8.00	31/01/2018	31/01/2018
126	Sealing ceiling to walls	8.00	31/01/2018	31/01/2018
127	Sealing around services through roof penetrations	8.00	31/01/2018	31/01/2018
128	IMPORTANT ORDERING DATES	0.00	01/01/2018	01/01/2018
129	Prepare, check and order door/windows	8.00	05/03/2018	05/03/2018
130	Prepare, check and order external wall insulation	8.00	27/02/2018	27/02/2018



Pravi trenutak za ispitivanje zrakopropusnosti



NAPOMENA!!

Ispitivanje provesti prije izvođenja završnih radova (visoki "Rochbau")

*Zračna barijera je još vidljiva;
idealno vrijeme za ispitivanje
Blower Doorom!*



Mjerenje prije završnog žbukanja i gletanja, **omogućava jednostavnije i jeftinije popravke te brtvljenje mjesta infiltracije** u odnosu na popravke nakon završetka završnih radova ili nakon početka upotrebe zgrade.





KNAUFINSULATION



nZEB Roadshow
Bulgaria | Croatia | Romania | Greece | Italy



education
for zero energy buildings
USING BUILDING INFORMATION MODELLING

KLJUČNO!

**EDUKACIJA INŽENJERA I ARHITEKATA
(IZVOĐAČA, NADZORA,...)**

VRLO VAŽNO OBRAZOVANJE I VJEŠTINE RADNIKA!



HVALA NA PAŽNJI!

bmilovanovic@grad.hr

