

HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva Opatija, 2019.

Zrakonepropusnost i infracrvena termografija kao važne mjere za postizanje kvalitete

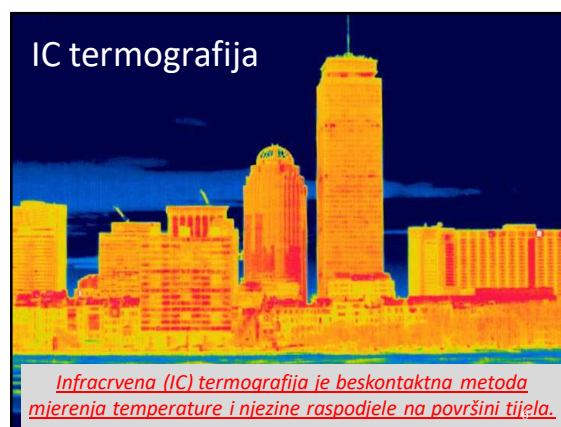
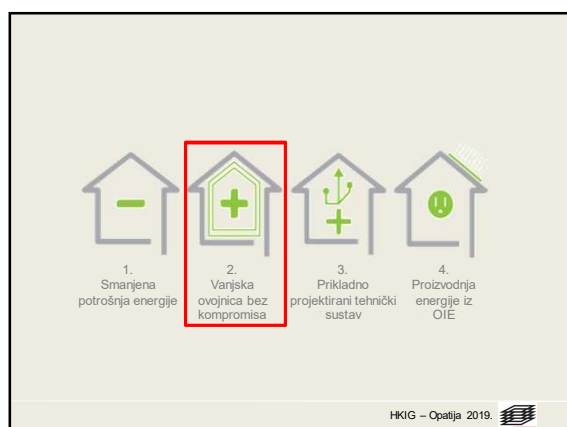
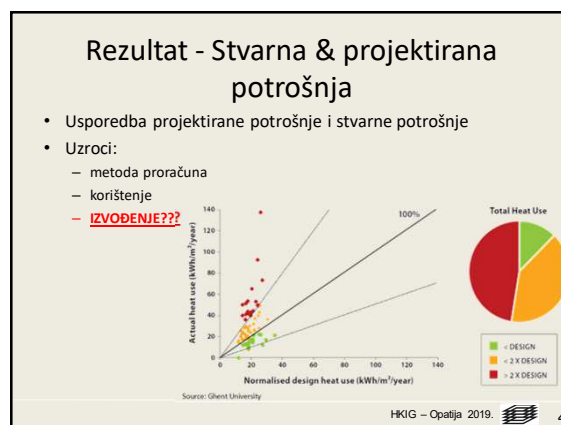
Bojan Milovanović

Doc.dr.sc. Bojan Milovanović, dipl.ing.građ.,
Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Zagreb



izgradimo li ono što projektiramo?

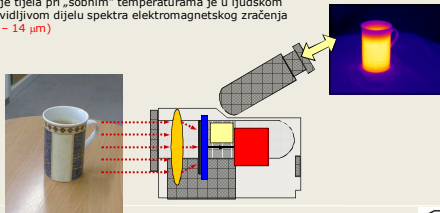
HKIG – Opatija 2019.



Infracrvena termografija

- energija zračenja s površine tijela s pomoću osjetnika se konvertira u ljudskom oku vidljivi dio spektra (0,4 – 0,7 μm)

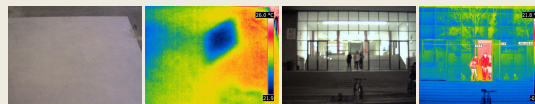
- Zračenje tijela pri „sobnim“ temperaturama je u ljudskom oku nevidljivom dijelu spektra elektromagnetskog zračenja ($\lambda = 8 - 14 \mu\text{m}$)



HKIG – Opatija 2019.

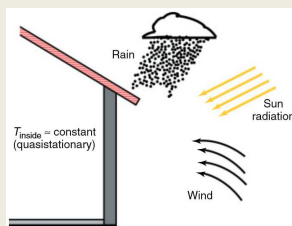
Raspodjela temperature na površini objekta mjerenja

- određena je procesima u samom objektu mjerenja.
- Znajući fiziku procesa i raspodjelu temperature površine, moguće je odrediti stanje objekta mjerenja.
 - Iznos i raspodjela temperature na površini
 - posredno daju informaciju o stanju same površine i
 - odraz su strukture i unutrašnjeg stanja promatranog objekta ispod te površine



HKIG – Opatija 2019.

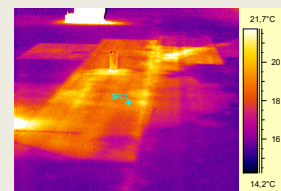
Bitan je i „kontekst“ mjerenja!



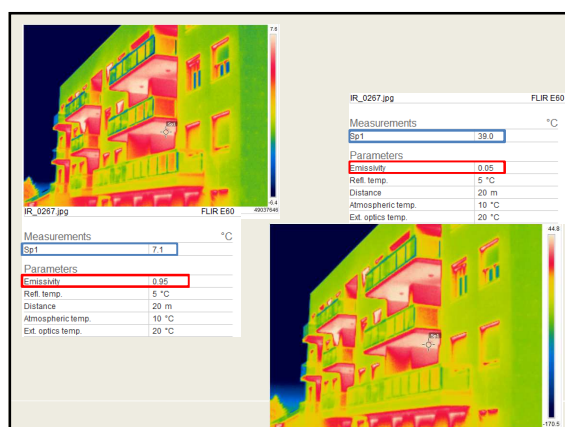
HKIG – Opatija 2019.

Rezultat termografskog mjerenja

- Vlaga na ravnom krovu ili samo zrak ispod hidroizolacijske membrane
 - Kada je snimanje provedeno (ujutro ili na večer)?
 - Kakva su toplinska svojstva materijala?



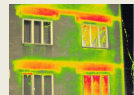
HKIG – Opatija 2019.



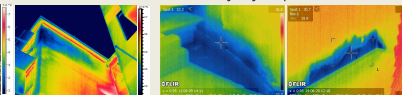
IC termografija u zgradarstvu

- najčešće se u području građevinarstva koristi za:

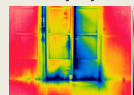
Otkrivanje mjesta gubitaka topline



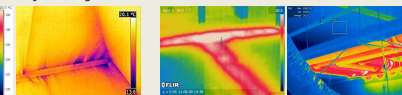
Otkrivanje mjesta povećane vlažnosti



Otkrivanje mjesta infiltracije hladnog zraka

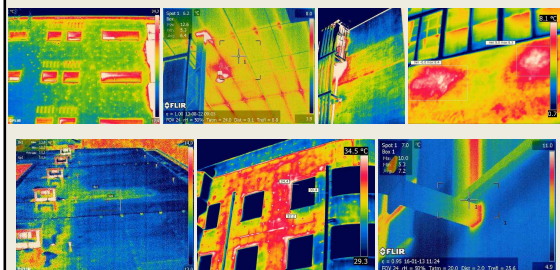


Kontrola sustava HVAC



HKIG – Opatija 2019.

Toplinski mostovi



HKIG – Opatija 2019.

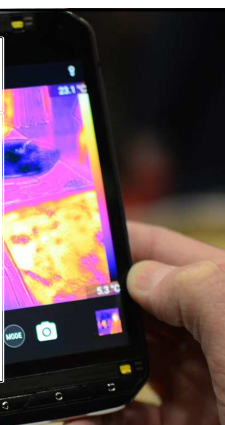
Oprema

- MW ili LW kamera
- Mogućnost podešavanje ključnih parametara
 - Emisivnost
 - Reflektirana temperatura
 - Relativna vlažnost zraka
- Geometrijska rezolucija barem 320x240
- Temperaturna rezolucija (NETD) $<0,10^{\circ}\text{C}$



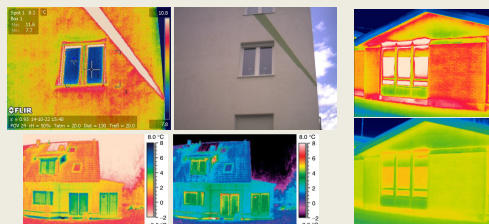
PROBLEM!

- Cijena termografskih mjernih uređaja sve je prihvatljivija,
 - zbog novih tehnoloških rješenja i povećane primjene,
- POSLJEDICA:
 - termografskim uređajima često koriste i **nedovoljno educirane osobe**.
 - Rezultati navedenog često su **nezadovoljavajuća obrada i netočna interpretacija rezultata termografskih mjerenja**.



OPREZ!

- Termogram **nije jednostavno** interpretirati...
 - Crvena boja nije nužno loše područje
- ... ali je na žalost moguće **vrlo jednostavno** manipulirati termogramima



HKIG – Opatija 2019.

Sustavno obrazovanje termografista



Na Građevinskom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu se održava

program izobrazbe termografista za LEVEL 1 s međunarodnim certifikatom



www.grad.hr/gfitec



HKIG – Opatija 2019.

Matija Antun Reljković
Satir iliti divji čovik (1762.)

**XIII. OD GAZDALUKA STVOR KUĆA, MARVE
DRŽANJE, ORANJE, KAZANI I DRUGA**

Najpri: tebi kuća ne valjade, to vas svaki i od sebe znade;
jer iznutra niti baš izvana, nije ona ničim umazana,
neg izvana kroz brvna se vidi, kako starac u zapečku sidi;
pak se **ni ond' ne more ugriti, jer pendžeri nisu zatvoriti,**
neg onako stoje odjajeni cile zime i cile jeseni.

Pustu šumu zalud pokvariste i na vatru kod kuće složiste.

Što u zimi ti drva navoziš, polovicu da u fati složiš,
mogao bi za novce prodati i srčali-pendžere kupiti,
pak bi bolje kroz srću vidio i **u sobi u toplu sidio,**
a ne bi se toliko mučio, neg bi laglje drvaca skućio.



HKIG – Opatija 2019.

Primjeri



HKIG – Opatija 2019.



HKIG – Opatija 2019.

ZRAKOPROPUSNOST ZGRADE - PROPISI

- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama (NN 128/15, 70/18, 73/18, 86/18):
 - ...
 - Članak 30.
- (1) Ispunjavanje zahtjeva o zrakopropusnosti iz odredbi članka 27. ovoga propisa dokazuje se ispitivanjem na izgrađenoj novoj ili rekonstruiranoj postojećoj zgradi prema HRN EN ISO 9972:2015, metoda određivanja A, prije tehničkog pregleda zgrade.
 - ...
- (3) Obavezna primjena zahtjeva iz stavka 1. ovoga članka odnosi se na zgrade gotovo nulte energije i zgrade koje se projektiraju na:
 - $Q'_{t,red} \leq 50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest $\leq 3^\circ \text{C}$ prema podacima iz Meteoroloških podataka, odnosno
 - $Q'_{t,red} \leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ kada srednja mjesečna temperatura vanjskog zraka najhladnijeg mjeseca na lokaciji zgrade jest $> 3^\circ \text{C}$ prema podacima iz Meteoroloških podataka.

HKIG – Opatija 2019.

21

ZRAKOPROPUSNOST ZGRADE - PROPISI

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.

BUILD TIGHT VENTILATE RIGHT

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

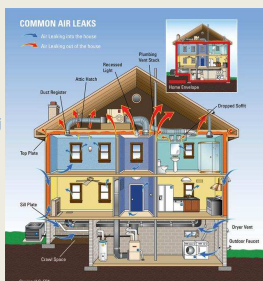


HKIG – Opatija 2019.

22

Što je zapravo zrakonepropusnost?

- Zrakopropusnost je strujanje zraka kroz omotač zgrade do kojega dolazi zbog poroznog omotača zgrade, propusnih zazora (fuga) ili zbog pukotina.
- Osim odgovarajuće toplinske izolacije potrebno je osigurati dovoljni stupanj zrakonepropusnosti
- (kako?) upotrebom materijala za unutrašnji površinski sloj (npr. membrane, folije, žbuke, sredstva za brtvljenje, trake za lijepljenje)...

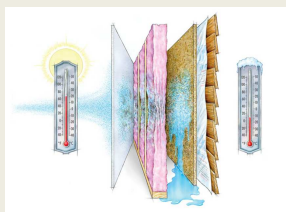


HKIG – Opatija 2019.

What's the
Big Deal
Anyway?

HKIG – Opatija 2019.

Smisao **kontrol**e vodene pare

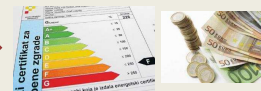


- **Spriječiti izlazak vodene pare** sadržane u zraku u vanjsku ovojnicu
- Stvoriti paropropusnu vanjsku površinu kako bi se omogućilo da ovojica „diše“ **prema van**
- Smanjiti rizik od kondenzacije i rasta **plijesni unutar ovojnice**
- Zaštititi konstrukciju zgrade od **propadanja**
- Smanjiti rizik od štetnih učinaka **plijesni na zdravlje**

HKIG – Opatija 2019.

Posljedice (opasnosti) **zrakopropusnih** zgrada

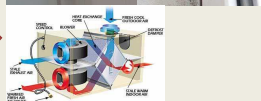
Povećani toplinski gubici



Kondenzacija vodene pare



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

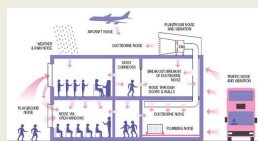


HKIG – Opatija 2019.

26

Posljedice (opasnosti) **zrakopropusnih** zgrada

Smanjenje zvučne izolacije



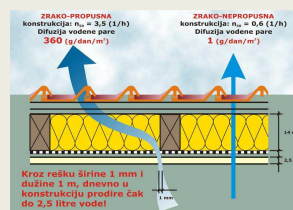
Narušena kvaliteta unutarnjeg zraka



HKIG – Opatija 2019.

27

Ulazak vodene pare u građevne dijelove zgrade



Source: Centrum passivho domu



HKIG – Opatija 2019.

Zrakopropusni materijali



Neožbukana opeka ili blokovi

Neke vrste OSB ploče

Ploče izolacije i vanjska obloga

Neke vrste ekspandirajućih pjena

Gipskartonske ploče

Obične trake, selotejp, itd.

HKIG – Opatija 2019.

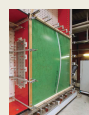
Zrakonepropusni materijali



Žbukana opeka

Specijalizirane trake i membrane

Specijalizirane tekuće membrane

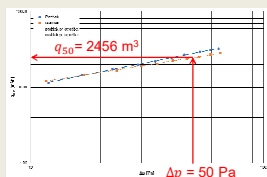


Certificirane zrakonepropusne ploče

Image: SmartPly

HKIG – Opatija 2019.

MJERENJE ZRAKOPROPUSNOSTI – METODA „BLOWER DOOR“

Mjerenje s
podtlakomMjerenje s
nadtlakom

$$n_{50} = \frac{q_{50}}{V} = \frac{2456}{364,5} = 6,74 \text{ [h}^{-1}\text{]}$$

Primjer loše izvedbe!

$$ELA_{pr} = 760,29 \text{ cm}^2 \approx 28 \times 28 \text{ cm!!}$$

A4 papir 21×29,7 cm

22.2.2018.

HKIG – Opatija 2019.

31

Primjer ispitivanja

- Obiteljska kuća smještena u blizini Zagreba

- 1. „Pasivna kuća“ u Hrvatskoj

- 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 $n_{50} = 0,50 \text{ 1/h}$



HKIG – Opatija 2019.

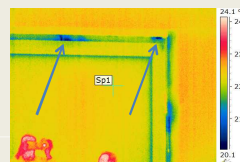
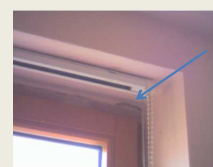
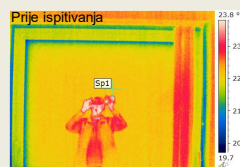
Rezultati

	Podtlak	Predtlak
Protok zraka pri $\Delta p = 50 \text{ Pa}$ [m³/h]	1259	1170
n_{50} [1/h]	3.00	2.78
w_{50} [m³/hm²]	3.674	3.414
ELA [cm²]	628	583
ELA [% ploštine vanjske ovojnice zgrade]	0.018	0.017

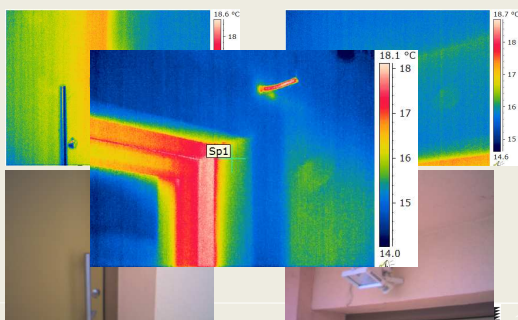
HKIG – Opatija 2019.

Prozor u sobi u prizemlju

Prije ispitivanja

Tijekom ispitivanja -
ispuhivanje

Instalacije



Primjer ispitivanja

Prva ECO-SANDWICH® obiteljska kuća
APOS Koprivnica
Autor: Ljubomir Mišćević, 2015.

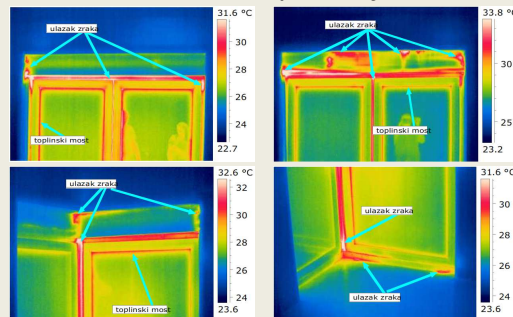


Rezultati ispitivanja

	Podtlak	Nadtlak	Srednja vrijednost
Koeficijent protoka zraka C_i :	169,9 (12,7)	125,5 (6,0)	-
EkspONENT protoka zraka n :	0,63 (0,02)	0,72 (0,01)	-
Koeficijent zrakopropusnosti C_{i1} :	167,6 (12,5)	124,3 (5,9)	-
Veličine kod razlike tlaka od $\Delta p=50$ Pa:			
Protok zraka kod 50 Pa (m^3/h):	1941 (286)	2105 (194)	2053 (161)
Broj izmjena zraka kod 50 Pa, n_{50} (1/h):	2,0 (0,3)	2,1 (0,2)	2,1 (0,2)
Zrakopropusnost omotača kod 50 Pa, q_{50} ($m^3/(h \cdot m^2)$):	2,6 (0,4)	2,9 (0,3)	2,8 (0,2)

HKIG – Opatija 2019.

Rezultati ispitivanja



HKIG – Opatija 2019.

- Prozor je osnovni element (dio) ovojnice zgrade

Ovisi o njegovoj ugradnji

Zid – svojstva u skladu sa zahtjevima projekta i regulativom
 Prozor – svojstva u skladu sa zahtjevima projekta i regulativom

Što je s prozorom ugrađenim u zid????

HKIG – Opatija 2019.

Ugradnja je ključna!

Prozori vrlo dobrih svojstava mogu biti dobri samo ukoliko su ispravno ugrađeni

- Ugradnja prozora mora riješiti nekoliko ključnih problema:
 - Nosivost,
 - Vodonepropusnost,
 - Zrakonepropusnost,
 - Kontroliranje prolaska vodene pare,
 - Minimizirati utjecaj toplinskih mostova.



HKIG – Opatija 2019.

Zrakonepropusna ugradnja prozora

- Različite tehnologije su dostupne



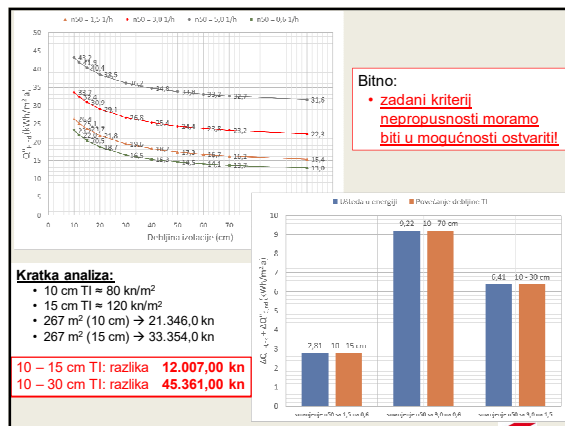
HKIG – Opatija 2019.

Primjer utjecaja zrakopropusnosti na toplinske gubitke kod NZEB

- Kuća je projektirana na **0,6 izmjena zraka u jednom satu**
- Ploština korisne površine $A_k = 175,34 \text{ m}^2$
- Lokacija Zagreb Maksimir



HKIG – Opatija 2019.



Vagnuti između ulaganja u
bolju zrakonepropusnost,
bolju termoizolaciju,
prozore...



HKIG – Opatija 2019.

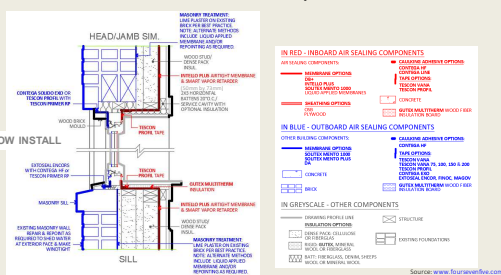
Kako je to u Njemačkoj,
Irskoj,...?

HKIG – Opatija 2019.



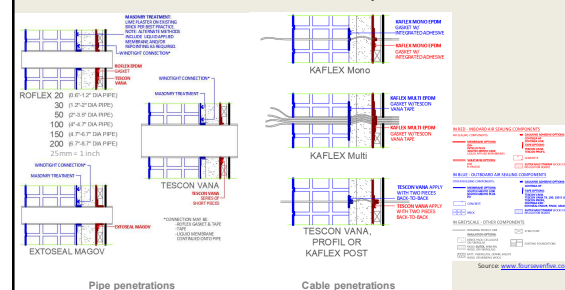
HKIG – Opatija 2019.

Insulation & Vapour Control Detailing for Historic Masonry



HKIG – Opatija 2019.

Insulation & Vapour Control Detailing for Historic Masonry



HKIG – Opatija 2019.

The German Contractor's Declaration



- New obligatory scheme
- Requires contractors to confirm in writing that the specific minimum energy performance requirements
 - for building envelope components,
 - space heating and hot water generation and distribution systems and
 - newly installed cooling and ventilation systems
 are met during the realisation of a renovation measure.
- Infringements lead to fines

© Fraunhofer IBP

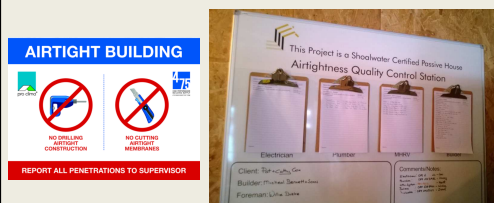
IEE/13/610/SIO2.675574

Fraunhofer IBP

Form details: Title, Marks, Company, Date, Declaration according to § 25a of the German Energy Saving Ordinance (EnEV) 2009, Building/renovation as of, Dear Madam, dear Sir, We hereby confirm that the modifications or installations of building components performed by us are in accordance with the requirements of the German Energy Saving Ordinance (EnEV) 2009. Checkboxes: external insulation layers installed, external insulation layers removed, internal insulation layers installed, internal insulation layers removed. Signature of the company.



Komuniciranje važnosti zrakonepropusne vanjske ovojnice



AIRTIGHT BUILDING

NO DRILLING WITHOUT CONSTRUCTION

NO CUTTING WITHOUT MEMBRANES

REPORT ALL PENETRATIONS TO SUPERVISOR

This Project is a Shoalwater Certified Passive House Airtightness Quality Control Station

Client: The Shoalwater Group

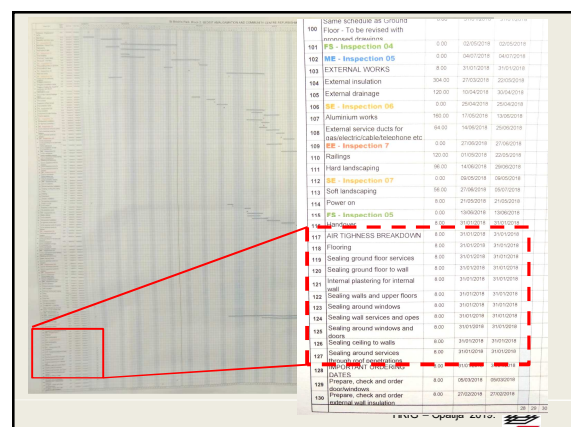
Builder: Michael Shoalwater

Foreman: John Smith

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

51

HKIG – Opatija 2019.



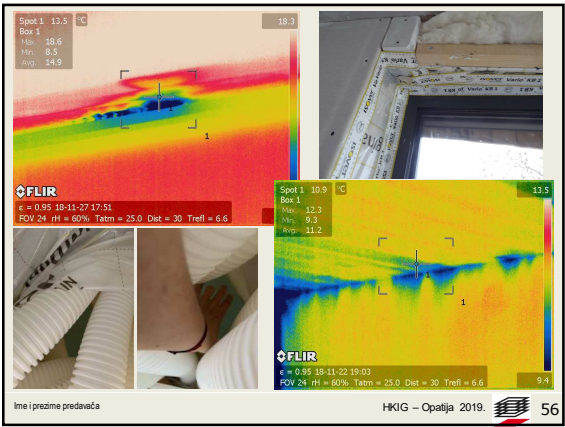
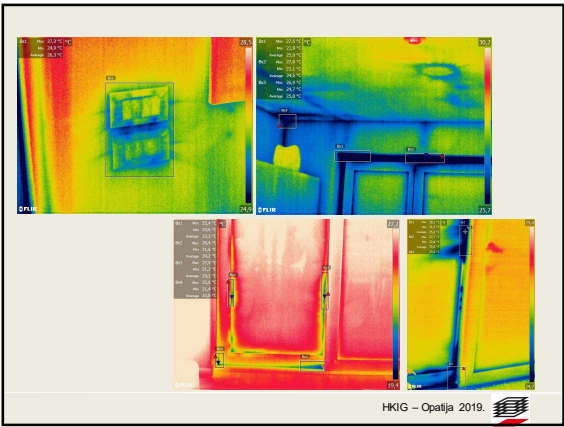
Task	Start	End	Duration
100 1000 - To be reviewed with environment department	0.00	02/03/2019	02/03/2019
101 PE - Inspection 04	0.00	04/03/2019	04/03/2019
102 ME - Inspection 05	0.00	05/03/2019	05/03/2019
103 EXTERNAL WORKS	0.00	05/03/2019	05/03/2019
104 External insulation	04/03	21/03/2019	21/03/2019
105 External drainage	12/03	12/04/2019	30/04/2019
106 SE - Inspection 06	0.00	26/04/2019	26/04/2019
107 Aluminum works	16/03	17/05/2019	17/05/2019
108 External service ducts for gas/electric/cable/television etc	16/03	16/05/2019	20/05/2019
109 SE - Inspection 7	0.00	27/05/2019	27/05/2019
110 Slings	12/03	27/05/2019	23/05/2019
111 Hard landscaping	16/03	14/06/2019	29/06/2019
112 SE - Inspection 07	0.00	28/06/2019	28/06/2019
113 Soft landscaping	16/03	27/06/2019	28/06/2019
114 Power on	0.00	27/06/2019	27/06/2019
115 PE - Inspection 05	0.00	19/06/2019	19/06/2019
116 JAB TIGHTNESS BREAKDOWN	0.00	02/07/2019	02/07/2019
117 Flooring	0.00	29/07/2019	29/07/2019
118 Sealing ground floor services	0.00	29/07/2019	29/07/2019
119 Sealing ground floor to wall	0.00	29/07/2019	29/07/2019
120 Internal plastering for internal wall	0.00	29/07/2019	29/07/2019
121 Sealing walls and upper floors	0.00	29/07/2019	29/07/2019
122 Sealing around windows	0.00	29/07/2019	29/07/2019
123 Sealing wall services and opens	0.00	29/07/2019	29/07/2019
124 Sealing around windows and doors	0.00	29/07/2019	29/07/2019
125 Sealing ceiling to walls	0.00	29/07/2019	29/07/2019
126 Sealing around doors	0.00	29/07/2019	29/07/2019
127 JAB TIGHTNESS CHECK	0.00	02/08/2019	02/08/2019
128 JAB TIGHTNESS CHECK	0.00	02/08/2019	02/08/2019
129 Prepare, check and order materials	0.00	27/08/2019	27/08/2019

HKIG – Opatija 2019.

Meanwhile in Croatia...

HKIG – Opatija 2019.





 **Fit-to-NZEB**
Innovative training schemes
for retrofitting to nZEB-levels
www.fit-to-nzeb.com

Koordinator:  **eNEffect**
Center for Energy Efficiency eNEffect – Bulgaria

HKIG – Opatija 2019.

Nadopuna EPBD II

(10) According to the Commission's impact assessment, renovation would be needed at an average rate of 3 % annually to accomplish the Union's energy efficiency ambitions in a cost-effective manner. Considering that every 1 % increase in energy savings reduces gas imports by 2.6 %, clear ambitions for renovation of the existing building stock are of great importance. Thus, efforts to increase the energy performance of buildings would contribute actively to the Union's energy independence and, furthermore, have great potential to create jobs in the Union, in particular in small and medium-sized enterprises. In that context, Member States should take into account the need for a clear link between their long-term renovation strategies and pertinent initiatives to promote skills development and education in the construction and energy efficiency sectors.

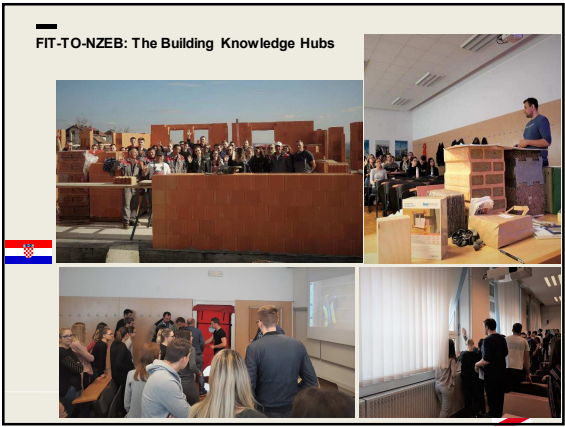
(6) In Article 10, paragraph 6 is replaced by the following:

"6. Member States shall link their financial measures for energy efficiency improvements in the renovation of buildings to the targeted or achieved energy savings, as determined by one or more of the following criteria:

(a) the energy performance of the equipment or material used for the renovation; in which case, the equipment or material used for the renovation is to be installed by an installer with the relevant level of certification or qualification.

Bojan Milošević

ija 2019.





Network for Using BIM
to Increase Energy Performance

www.net-ubiep.eu

Koordinator: 

HKIG – Opatija 2019.  61

Ciljevi projekta Net-UBIEP



- Net-UBIEP nastoji doprinijeti povećanju energetske učinkovitosti u zgradama promoviranjem korištenja BIM-a tijekom cjelokupnog životnog ciklusa zgrade.

– BIM – building information management



Better **management of the information** during the whole life cycle of the building is absolutely necessary in order to **avoid mistakes** and **have trustful information** at any time / when an intervention is necessary.

HKIG – Opatija 2019.  62

Ciljane skupine



- Tehnologija, ali i ljudi!**
- Svi sudionici u gradnji i korištenju zgrada moraju biti svjesni svoje uloge u prikupljanju, upravljanju i čuvanju potrebnih informacija vezanih uz energetske učinkovitost

Djelatnici javne uprave	Inženjeri (Građevinari/ Električari/Strojari/Architects)
Instalateri (Ugradnja/Održavanje)	Vlasnici/Stanari/ Upravitelji zgrada

HKIG – Opatija 2019.  63



Hvala na pažnji! Pratite nas 😊



Bojan Milovanović
bmilovanovic@grad.hr

Facebook: [@netubiephr](https://www.facebook.com/netubiephr) // [@fit2nzeb](https://www.facebook.com/fit2nzeb)

Pratite web stranicu
www.net-ubiep.eu
www.fit-to-nzeb.com

HKIG – Opatija 2019.  64