HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA
15. Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva Opatija, 2021.

Tehnologije za postizanje NZEB standarda

Bojan Milovanović

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

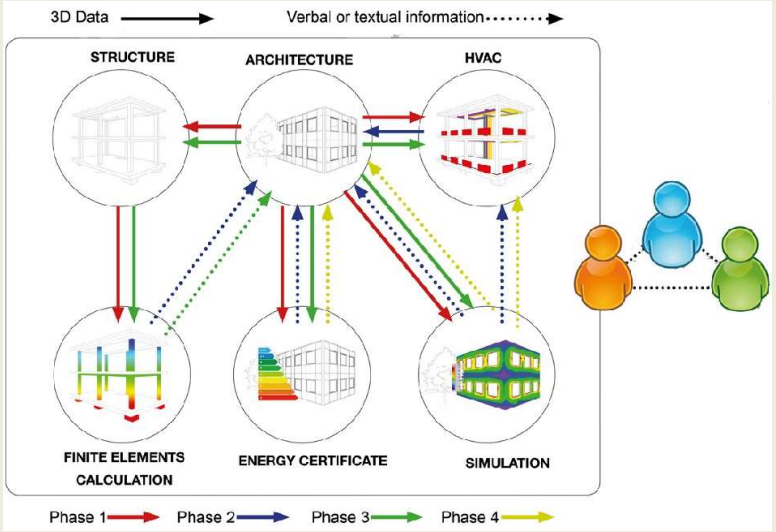
7 integriranih koraka

- **Rezultat – NZEB zgrada koja**
- troši malo energije za grijanje i hlađenje,
- istovremeno ugodna za život s optimalnim
  - temperaturama i vlažnosti zraka ,
  - razinom CO_2 u zraku te
  - temperaturama površina građevnih dijelova zgrade koje ne izazivaju osjećaj hladnoće

Dobar i prikladan projekt

- **Integralni pristup**
- **Simulacija i optimizacija**

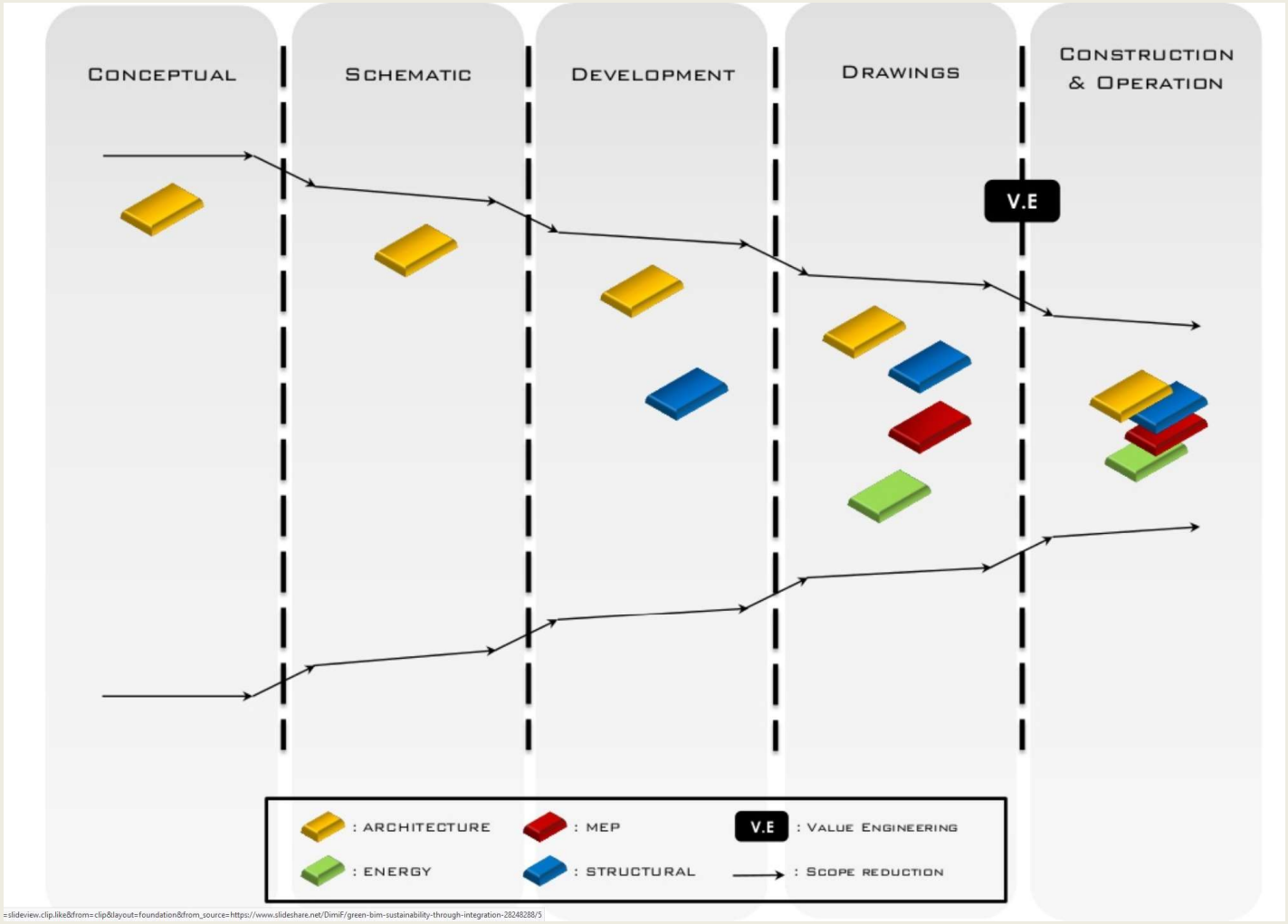
- **izrada izvedbenog projekta** - riješeni detalji:
  - kontinuiteta toplinske ovojnice zgrade
  - zrakonepropusne ovojnice zgrade.
- **Kvalitetna komunikacija** između svih projektanta – ali i izvođača - bez improvizacije.
- Tijekom projektiranja, simulirati potrebnu energiju pomoću softvera za modeliranje
  - kako bi se **optimizirale odluke** na putu do ostvarenja NZEB-a uz istovremeno smanjenje troškova.
  - Na **temelju rezultata računalnih modela odabrati optimalna rješenja te donijeti odluke koje će minimizirati potrošnju energije u zgradi uz istovremeno optimizirane troškove izgradnje**.



Izvor: Iva Kovacic et al., The "BIM-sustain" experiment - simulation of BIM-supported multi-disciplinary design„ Visualization in Engineering, 2013

DOMETI BIM-a
Proširenje na energetski model

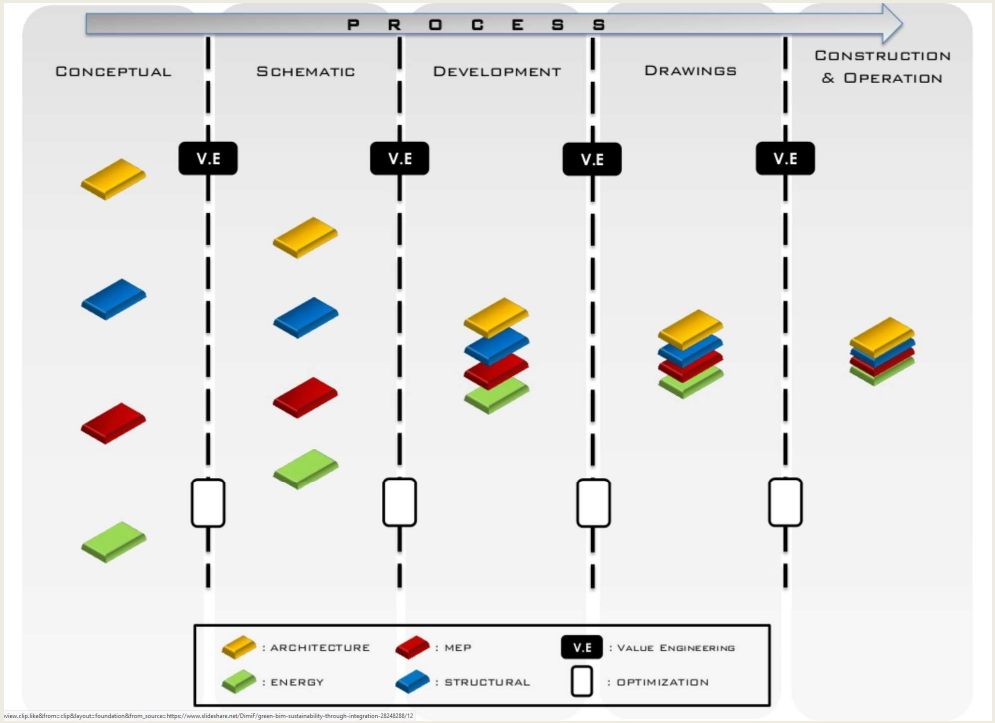
Tradicionalni proces



Integrirana provedba projekata

- Što prije donesemo odluku, to ćemo imati manje popravaka, veću kvalitetu izvedbe zgrada i niže troškove

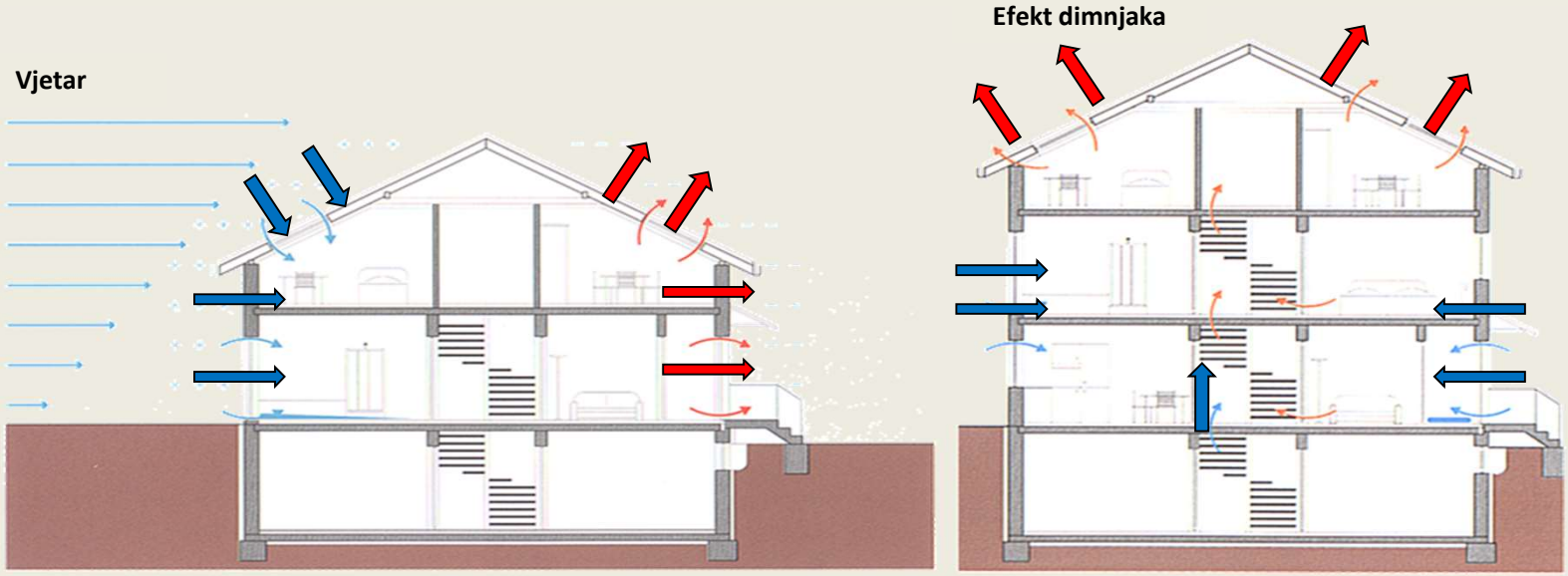
- BIM može predstavljati faktor "promjene igre"
- Brži i pouzdaniji način donošenja odluka u fazi projektiranja, pa time i tijekom izgradnje
- Kvalitetniji prijelaz na više energetski i troškovno učinkovite prakse



2. Ostvariti zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu zgrade

Zrakopropusnost vanjske ovojnice zgrade

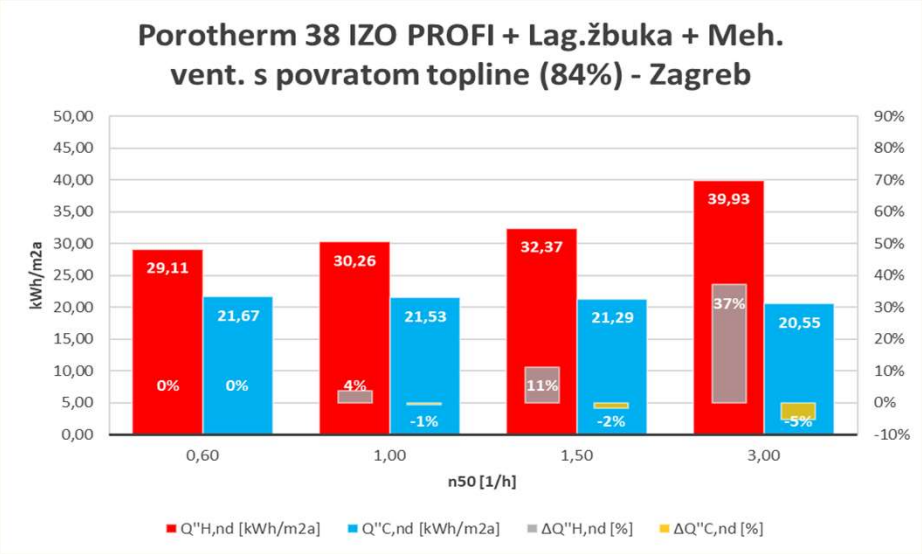
- zapravo infiltracija unutrašnjeg toplog zraka koji izlazi iz zgrade ili ulazak hladnog vanjskog zraka u zgradu kroz pukotine, šupljine i druga mjesta nastala slučajnim i nenamjernim propustima, ali nikako kroz ventilacijski sustav zgrade.



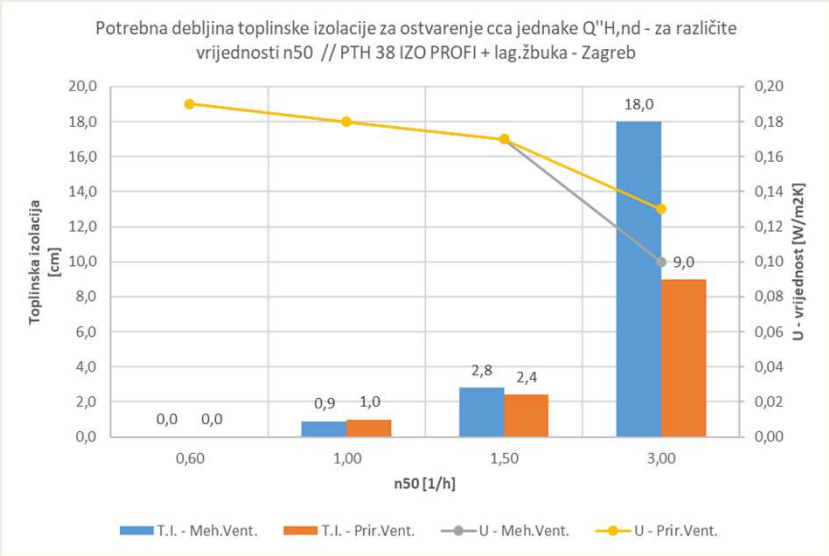
Izvor: ebök Tübingen

2. Ostvariti zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu zgrade

- **Isplativa mjera i smanjuje mogućnost štete**



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 n_{50}=0,60 1/h u %



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 n_{50}=0,60 1/h, za obiteljsku kuću smještenu u Zagrebu i vrsti ventilacije

Je li veća debljina izolacije rješenje?

2. 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!

2. Ostvariti zrakonepropusnu vanjsku ovojnicu zgrade

Razlikovati zrakonepropusnost od paronepropusnosti

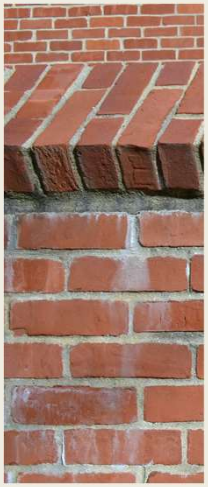
- dobro izvedena paronepropusna ovojnica je istovremeno i zrakonepropusna, ali obrnuto ne vrijedi nužno
- primjer žbuke je takav da ona može biti zrakonepropusna, ali obično nije paronepropusna.

- **postavite cilj za n_{50}** - na temelju energetskih modela, te realnog sagledavanja mogućnosti ostvarenja prilikom gradnje
  - (korišteni proizvodi, kompetencije izvođača i podizvođača, troškovi),

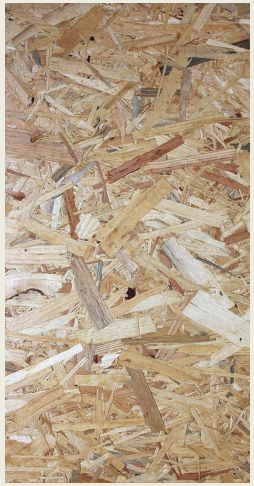
Ispitati pomoću tzv. Blower door testa.

- U RH je propisano da rezultat ispitivanja ne smije biti veći od:
  - **$n_{50} = 3{,}0\ h^{-1}$** kod zgrada bez mehaničkog uređaja za ventilaciju,
  - odnosno **$n_{50} = 1{,}5\ h^{-1}$** kod zgrada s mehaničkim uređajem za ventilaciju.

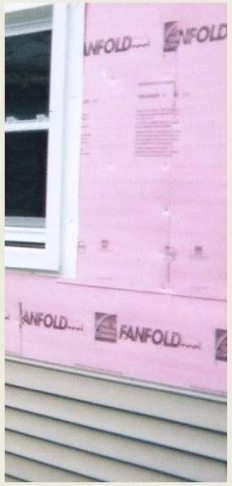
Zrakopropusni materijali



Neožbukana opeka ili blokovi



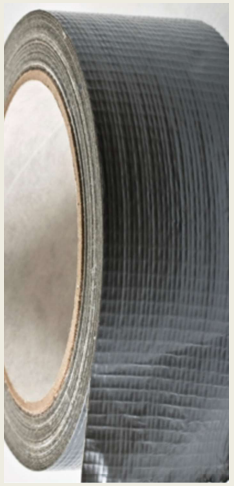
Neke vrste OSB ploča



Ploče izolacije i vanjska obloga

Neke vrste ekspandirajućih pjena

Gipskartonske ploče



Obične trake, selotejp, itd.

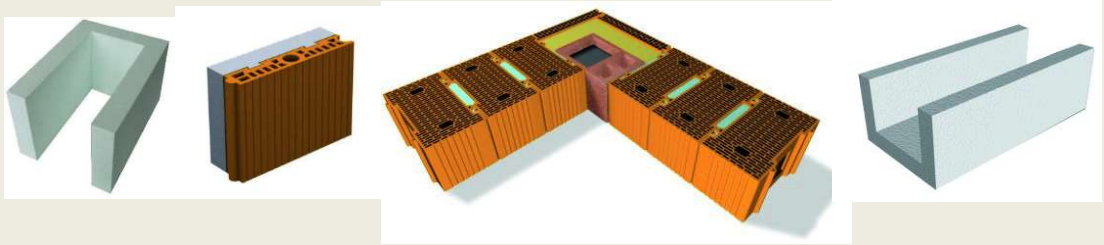
Proizvodi kojima JE moguće ostvariti zrakonepropusnost vanjske ovojnice zgrade

Proizvodi za energetski učinkovitu gradnju

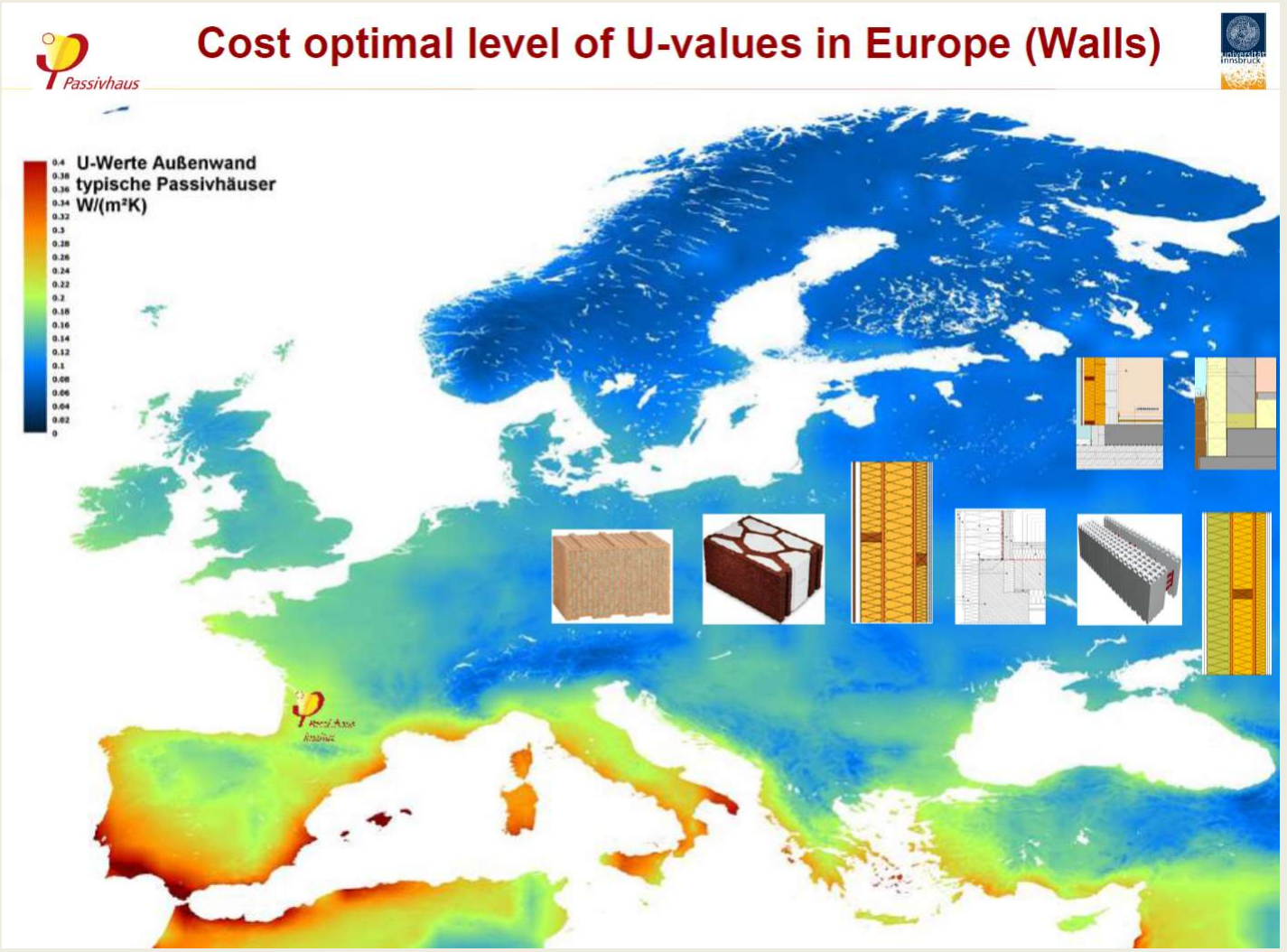
ELEMENTI OD OPEKARSKIH TERMO BLOKOVA

λ= 0,077 (W/mK)

POSEBNI PROIZVODI ZA OMEĐENO ZIĐE

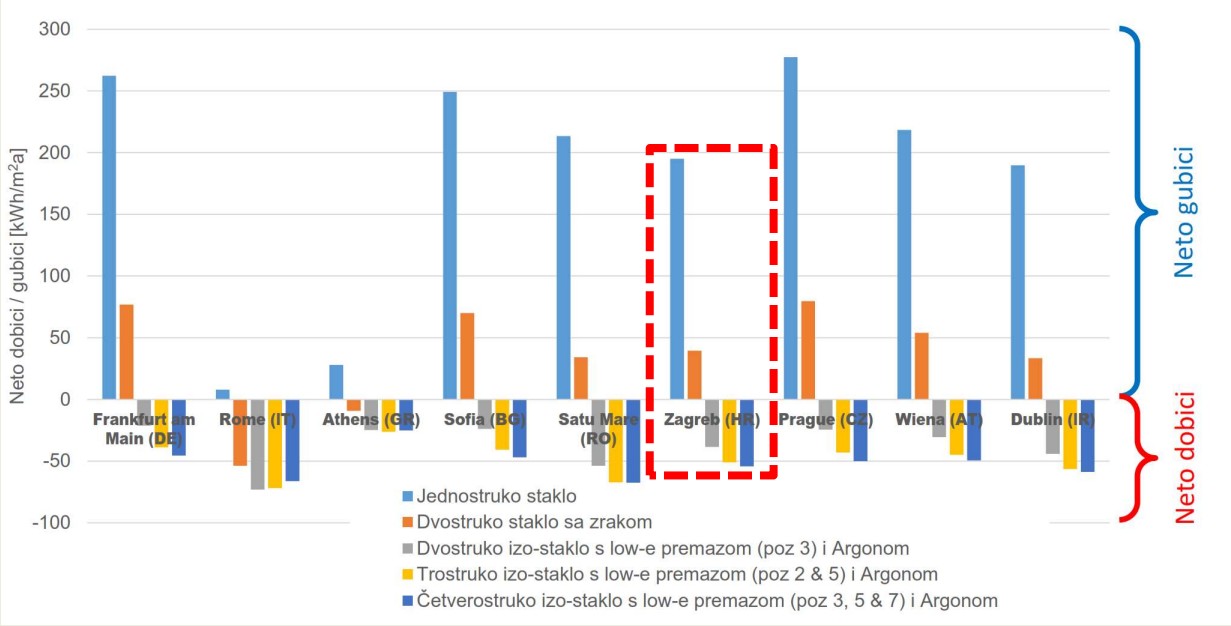


Cost optimal level of U-values in Europe (Walls)

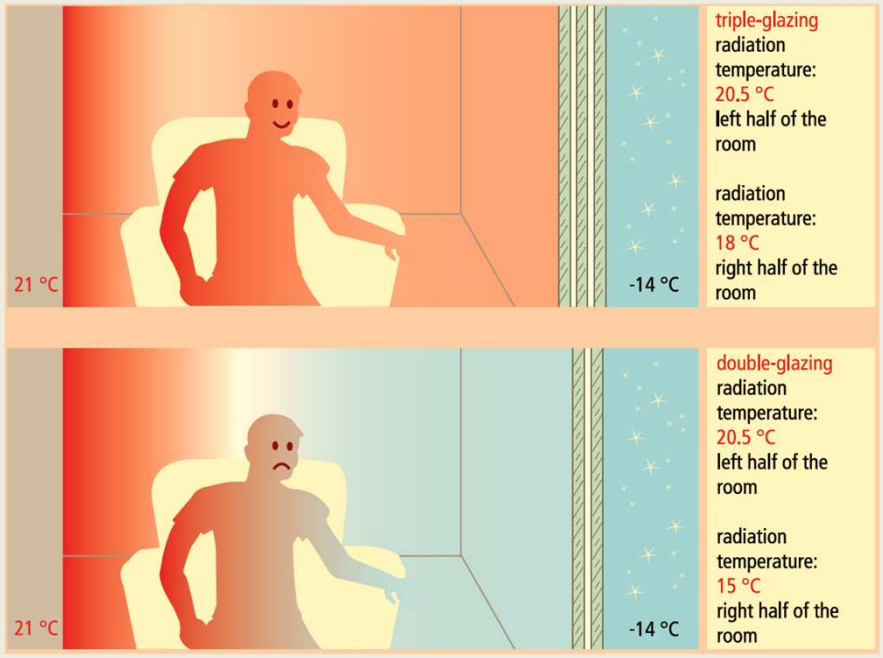


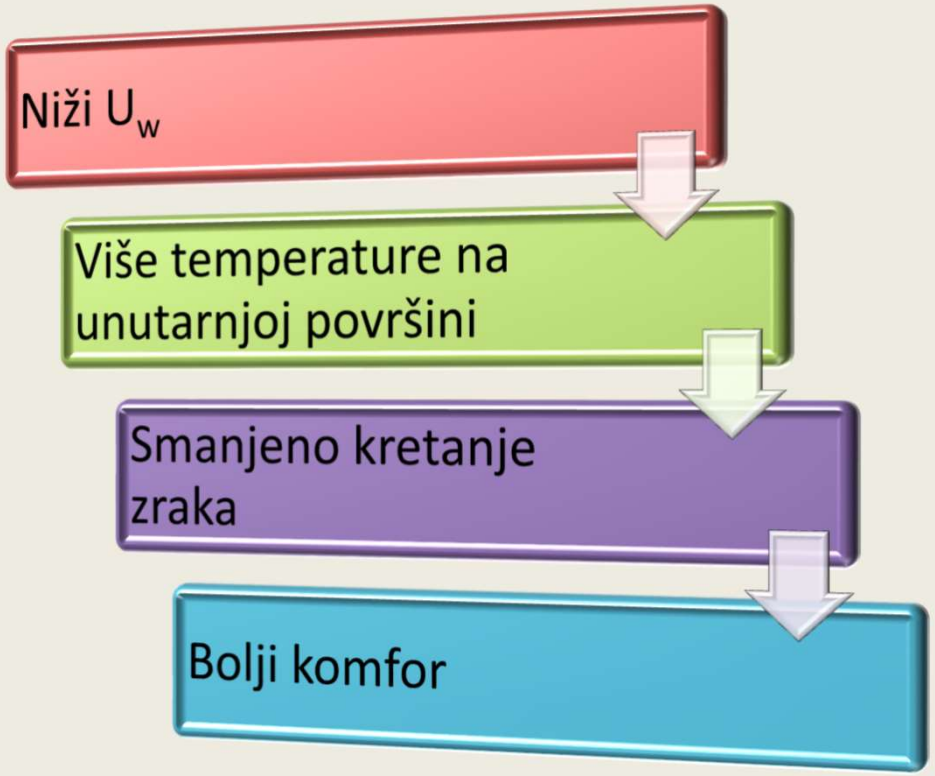
5. Prozori – element ovojnice zgrade

- Uravnoteženje toplinskih gubitaka i toplinskih dobitaka kroz prozore postiže se razmatranjem:
  - U_w – vrijednosti prozora (definira transmisijske gubitke topline) i
  - $g_\perp$ - vrijednosti stakla (definira solarne dobitke topline)

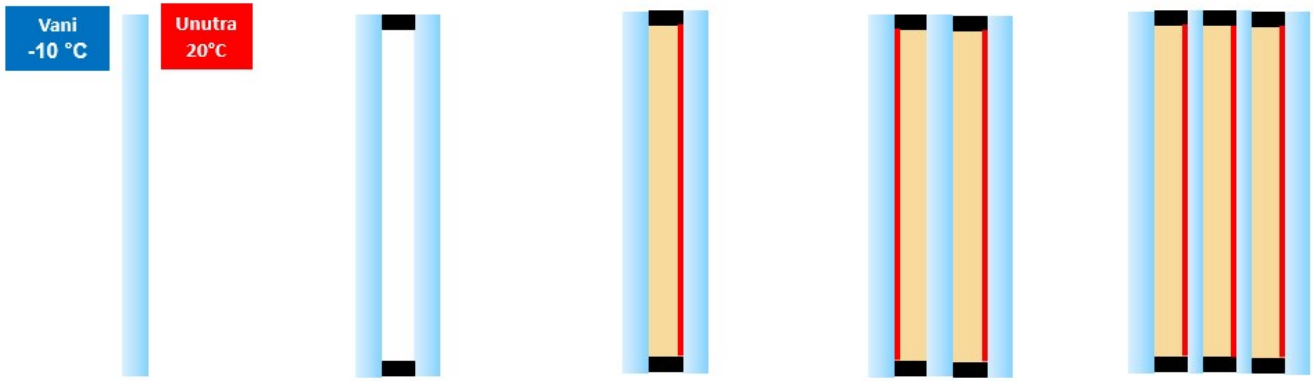


U_w - vrijednosti manje od 0.85 W/(m²K) zbog uvjeta komfora





5. Prozori – element ovojnice zgrade



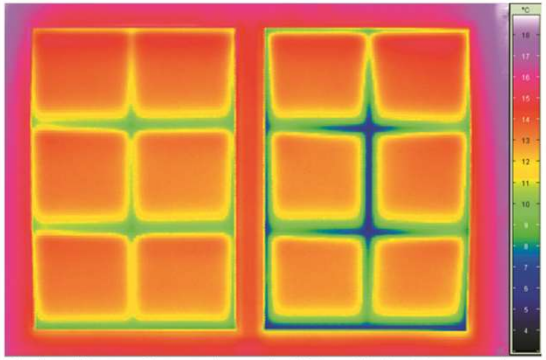
Staklo	Jednostruko staklo	Dvostruko staklo sa zrakom	Dvostruko izo-staklo s low-e premazom (poz 3) punjeno argonom	Trostruko izo-staklo s low-e premazom (poz 2 & 5) punjeno argonom	Četverostruko izo-staklo s low-e premazom (poz 3, 5 & 7) punjeno argonom
U-vrijednost stakla U_g [W/m²K]	5.8	2.7	1.1 – 1.3	0.53 – 0.75	0.36 – 0.44
Temperatura na unutarnjoj površini stakla (pri vanjskoj temp. -10 °C & 20°C unutra)	-2.6 °C	9.5 °C	14.9 – 15.7 °C	17.1 – 17.9 °C	18.3 – 18.6 °C
Stupanj propuštanja ukupne energije sunčeva zračenja, g-vrijednost	0.87	0.78	0.62 – 0.71	0.49 – 0.60	0.43 – 0.57

Rub stakla

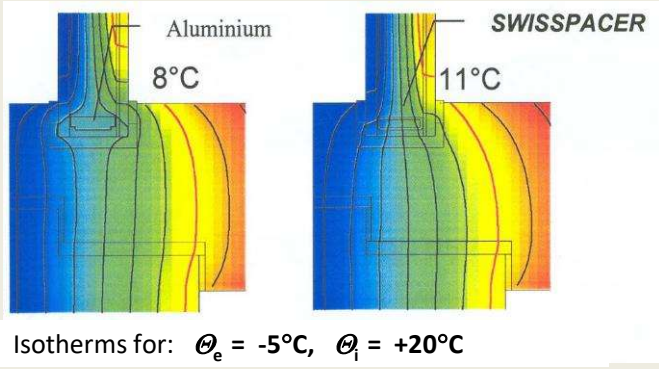
MALENA KOMPONENTA, VELIKI UTJECAJ!

- Važna za razmatranje
- Smanjuju gubitke energije po opsegu (rubu) dvostrukog (trostrukog ili četverostrukog) stakla,
- Smanjuje U_w – vrijednost prozora i fasada.

Image source:
- Swisspacer

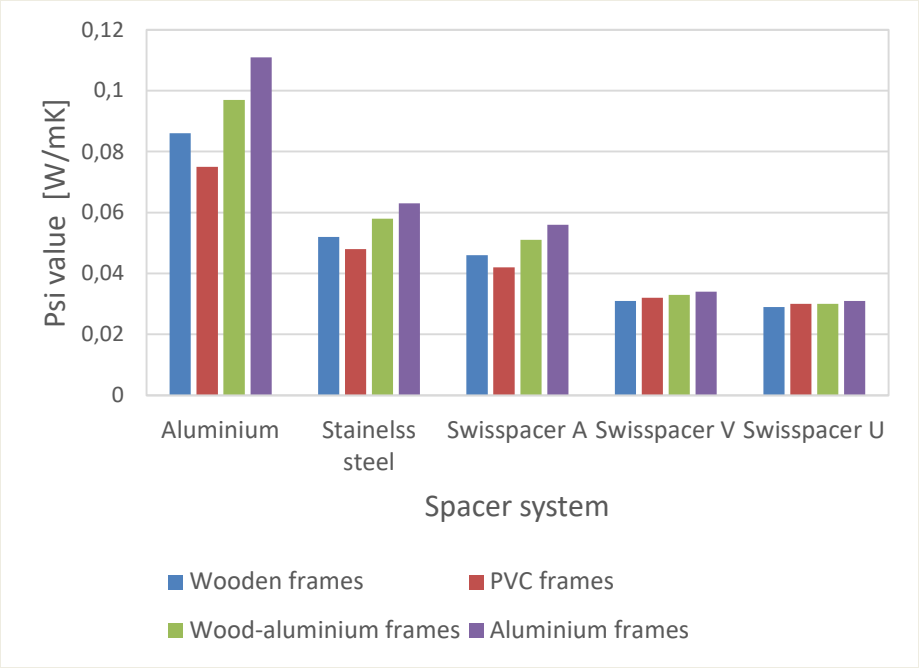


Window with composite spacer bar / Window with aluminium spacer bar

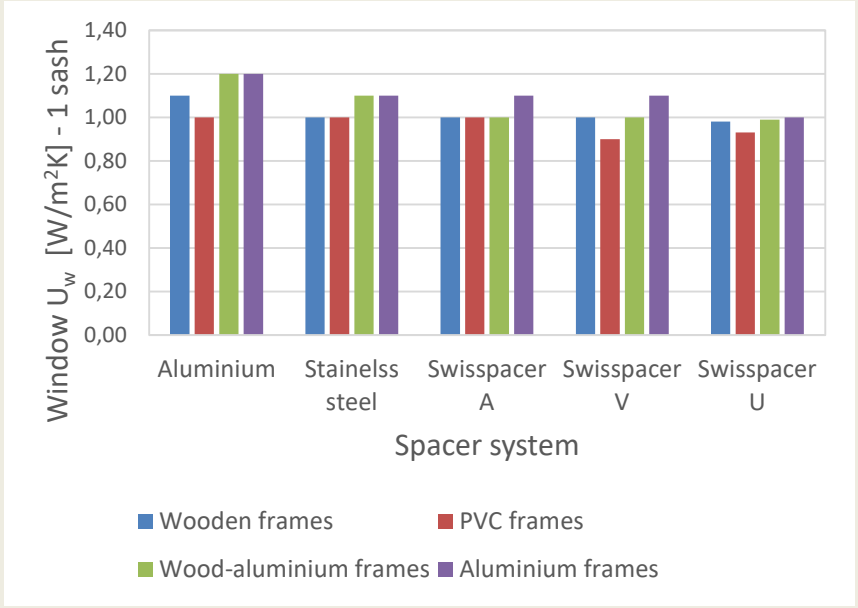


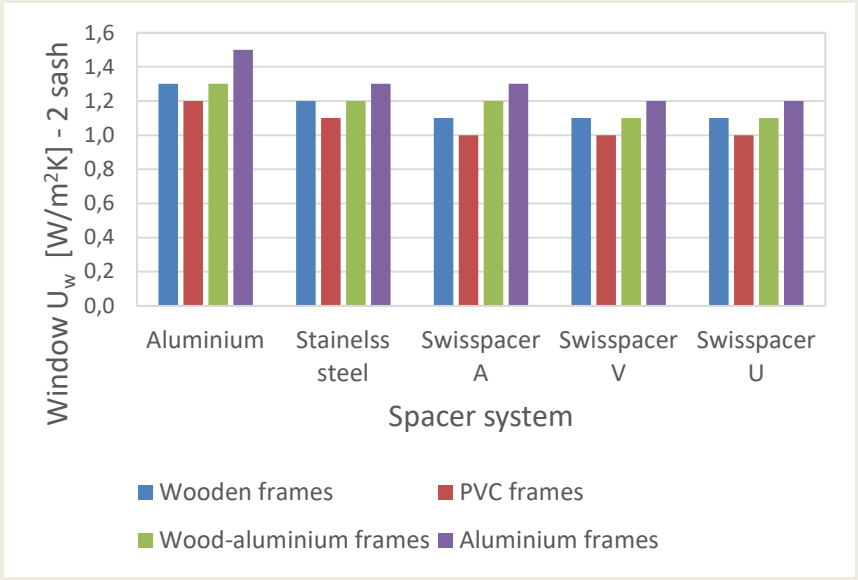
Isotherms for: Θ_e = -5°C, Θ_i = +20°C

Utjecaj ruba stakla



Data source:
- Swisspacer

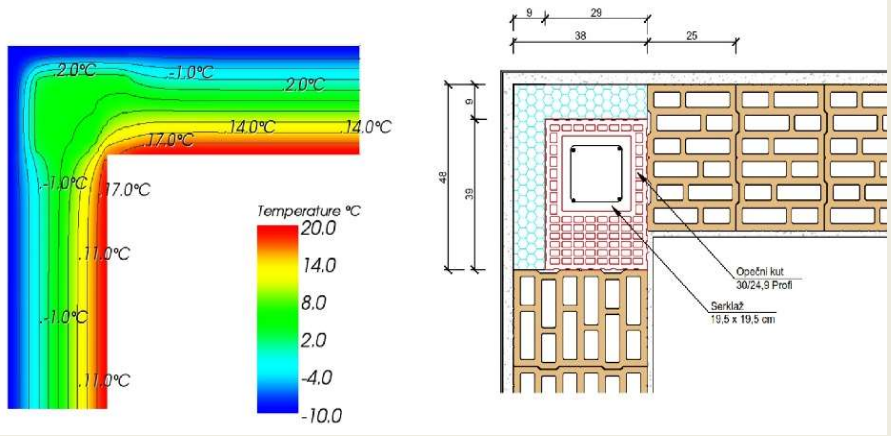




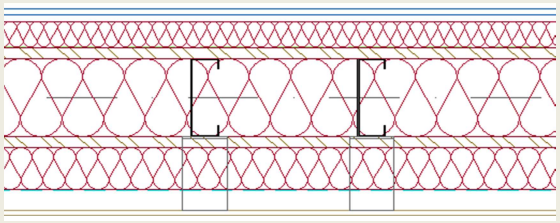
4. Smanjenje utjecaja toplinskih mostova

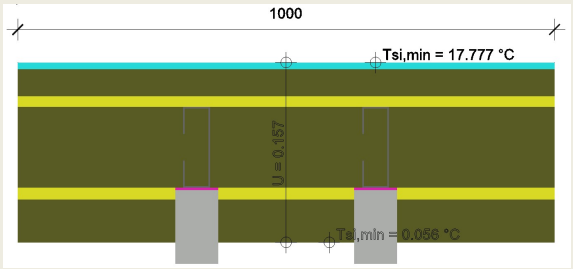
- NZEB mora biti projektirana te izgrađena tako da utjecaj TM bude što manji te da se ne pojavljuje građevinska šteta
- Odaberite sustav gradnje koji u startu smanjuje toplinske mostove
  - TM nije moguće ukloniti iz vanjske ovojnice zgrade i oni će postojati neovisno o debljini TI.

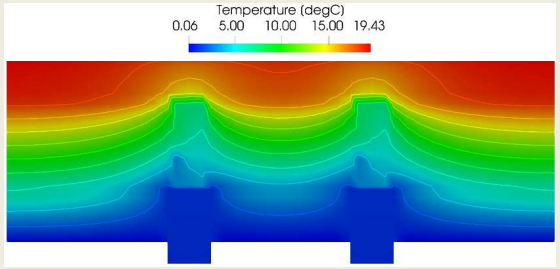
- TM se najbolje može smanjiti u fazi projektiranja
  - minimizirati broj detalja koji će u konačnici biti toplinski mostovi
  - neizbježne detalje riješiti na način koji smanjuje utjecaj toplinskog mosta.
- Izbjegavanje TM u fazi projektiranja je često i najisplativije rješenje.



Efektivna U-vrijednost -> uključivo linijske toplinske mostove







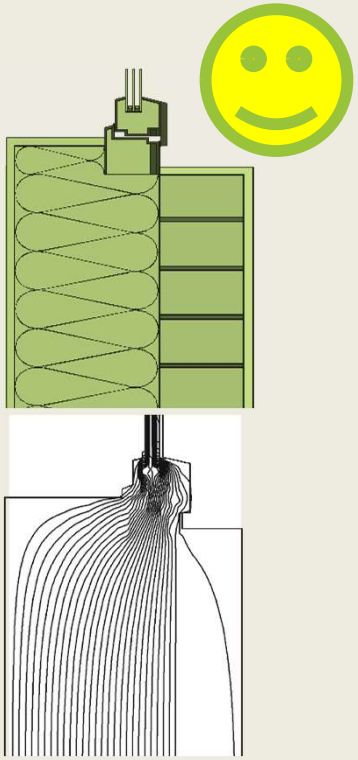
Proračun toplinskih mostova numeričkim metodama

Reason for the calculation	Description	U_{eff} [W/(m² K)]	Ψ_i [W/(m K)]	T_{ext} [°C]	T_{int} [°C]	$T_{si,min}$ [°C]	f_{Rsi} [--]	Accepted
Effective U-value calculation	Wall + 15 cm TI	0,216	--	0,0	20,0	19,2	0,959	✓
	Wall + 20 cm TI	0,202	--	0,0	20,0	19,2	0,960	✗
	Roof	0,155	--	-10,0	20,0	19,3	0,978	✓
	Floor	0,155	--	-10,0	20,0	18,9	0,964	✓
Psi-value calculation	Wall + 15 cm TI + crossfix	--	0,343	0,0	20,0	17,8	0,889	✓
	Door and wall junction	--	0,048	0,0	20,0	15,7	0,787	✓
	Beam and column junction	--	0,052	-10,0	20,0	18,0	0,932	✓
	Wall and floor junction	--	0,072	-10,0	20,0	18,1	0,940	✓
	Roof to wall junction (drainage)	--	0,074	-10,0	20,0	18,0	0,933	✓
	"I" profile with thermal break	--	0,239	0,0	20,0	18,8	0,940	✗
	Wall to wall junction	--	0,144	0,0	20,0	18,8	0,939	✓
Floor load-bearing structure (foundation)	XPS	--	0,079	-10,0	20,0	17,8	0,926	✓
	XPS + wooden beam	--	0,097	-10,0	20,0	17,7	0,923	✗
	XPS + steel beam	--	0,239	-10,0	20,0	16,2	0,873	✗

- **4. Smanjenje utjecaja toplinskih mostova - ugradnja**

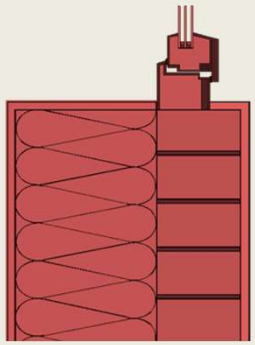
Preporučena ugradnja

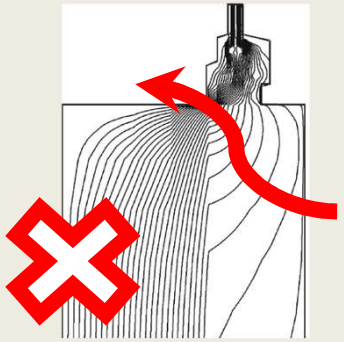
$\Psi_{install}$ = 0.005 W/(mK)
$U_{w,eff}$ = 0.78 W/(m²K)



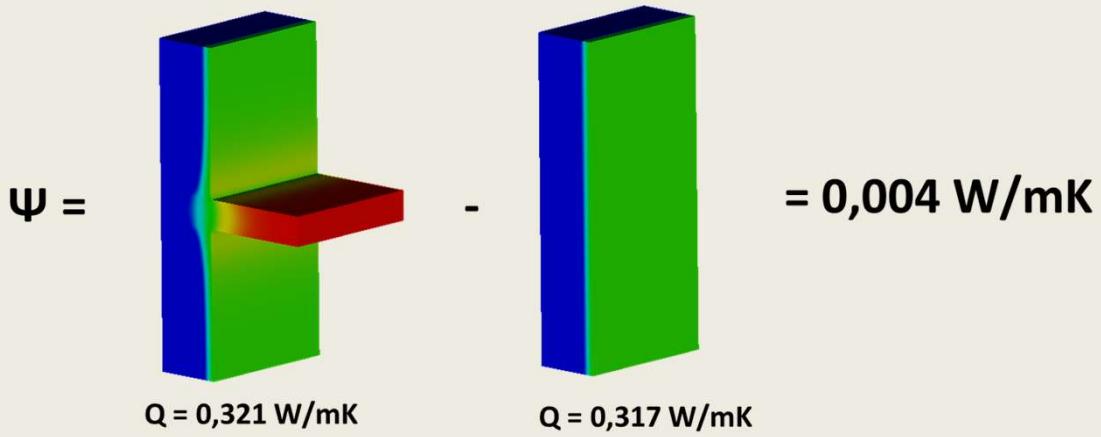
Ekstremo loša ugradnja

$\Psi_{install}$ = 0.15 W/(mK)
$U_{w,eff}$ = 1.19 W/(m²K)



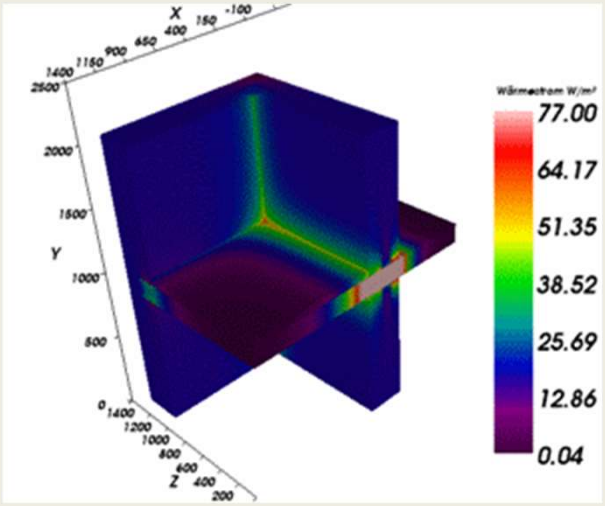


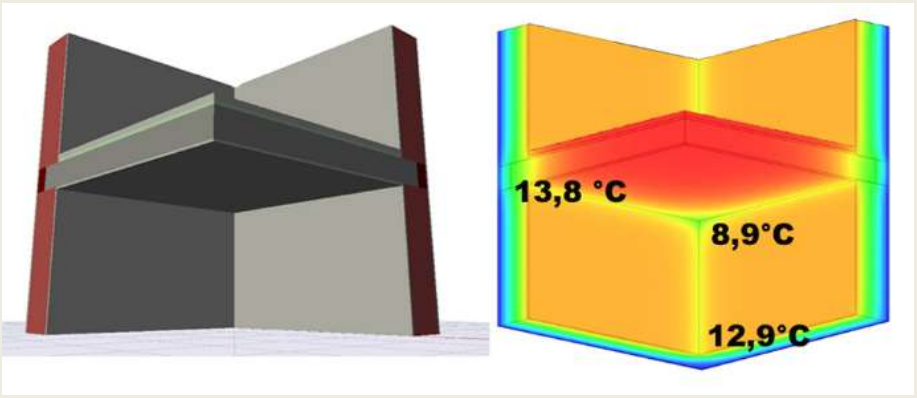
- Ψ-vrijednost je jednaka povećanju stacionarnog toplinskog toka u odnosu na neporemećeno područje pri promjeni temperature od 1 K.



Proračun utjecaja TM na toplinske gubitke – numeričke metode

- Proračuni se temelje na 2 matematičke metode:
  - metoda konačnih elemenata (FEM), važi za sve materijale,
  - metoda konačnih razlika (FDM), važi samo za izotropne materijale.
  - obrada je redovito pomoću računalnih programa
    - HEAT 3D, Psi-Therm 3D, AnTherm 3D, BKI, Mold…



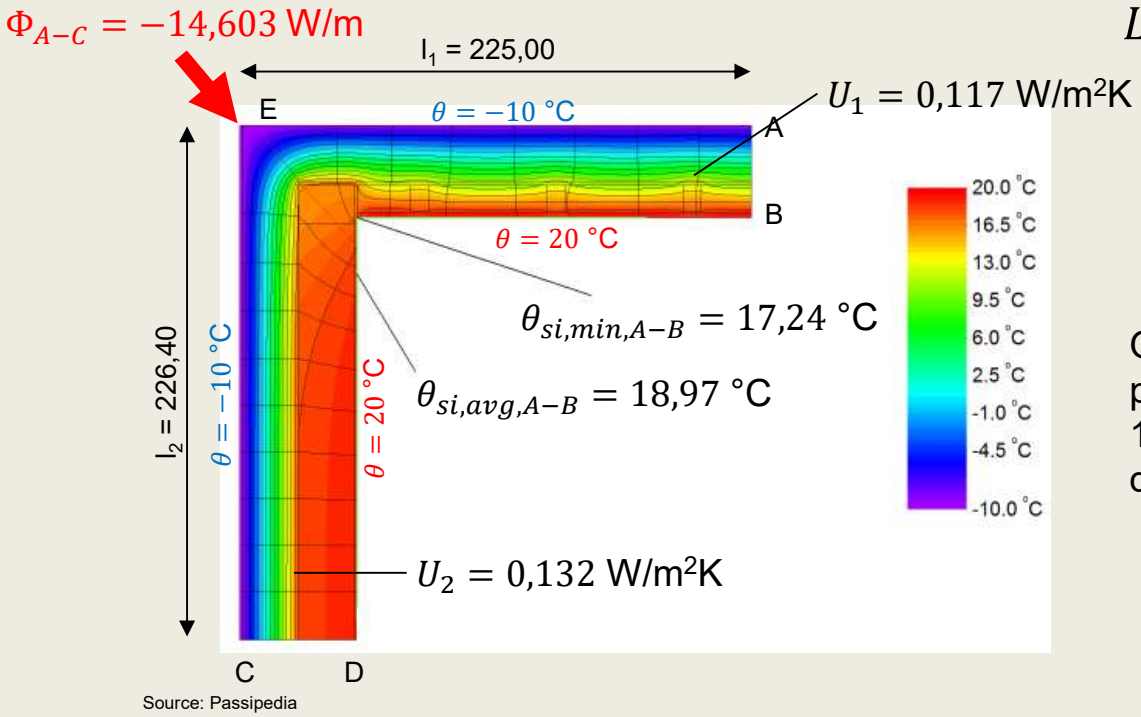


Primjer: proračun Ψ vrijednosti

$$\Psi = L_{2d} - \sum(U_i \cdot l_i)\ [\text{W/(mK)}]$$

$$\Delta\theta = 20 - (-10) = 30\ °\text{C}$$

$$L_{2d} = \frac{\Phi_{2d}}{\Delta\theta} = \frac{14{,}603}{30} = 0{,}487\ \text{W/mK}$$



Source: Passipedia

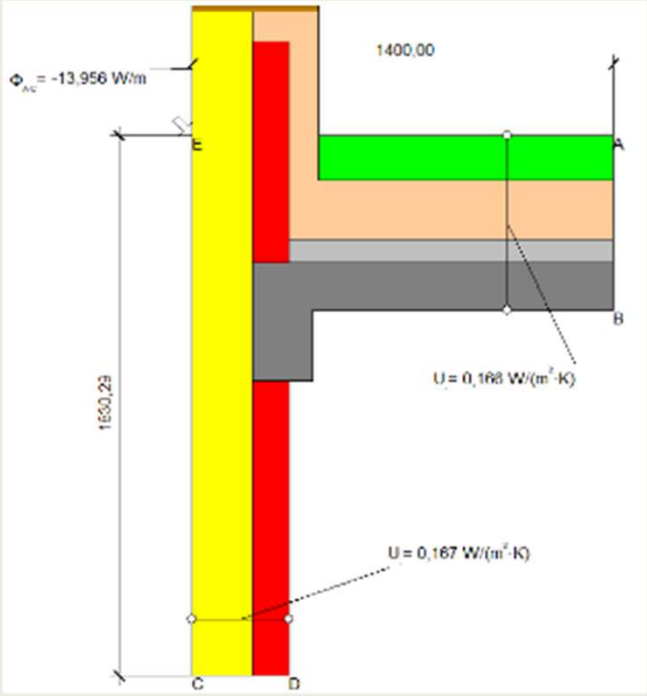
Ovaj primjer se temelji na numeričkom proračunu prema HRN EN ISO 10211:2017 i to za vanjske dimenzije, dakle vrijedi za Ψe!

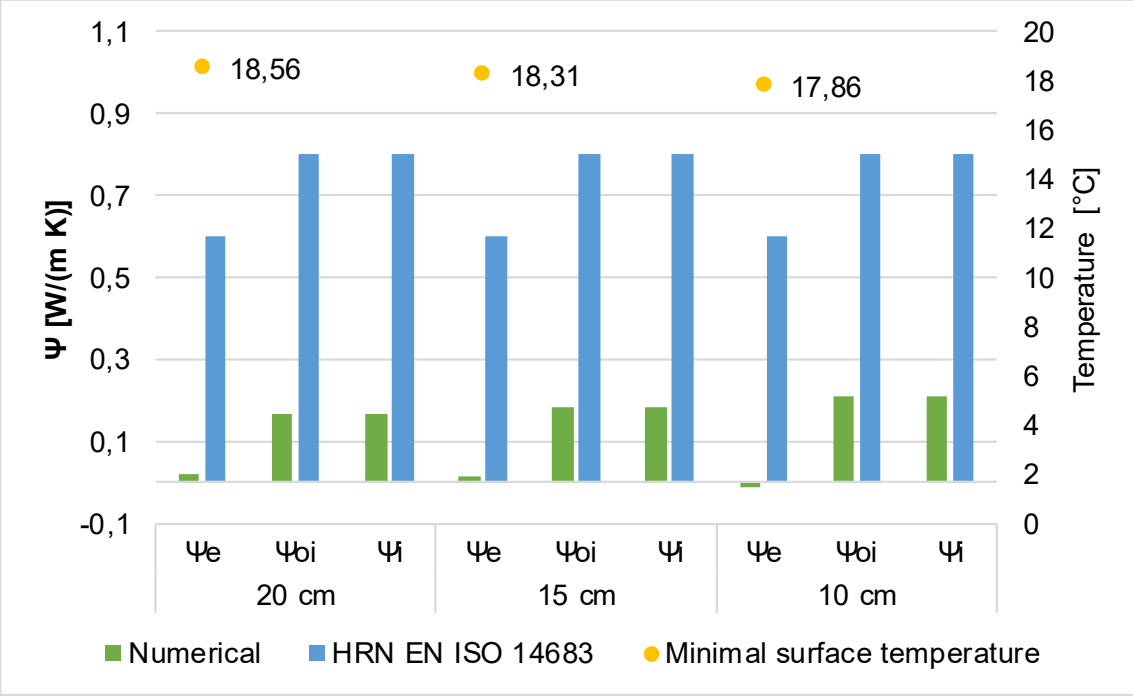
$$\Psi = L_{2d} - U_1 \cdot l_1 - U_2 \cdot l_2 = 0{,}487 - 0{,}117 \cdot 2{,}25 - 0{,}132 \cdot 2{,}264 = -0{,}075\ \text{W/mK}$$

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} = \frac{(17{,}24 - (-10))}{(20 - (-10))} = \frac{27{,}24}{30} = 0{,}908$$

Usporedba: numerički -> HRN EN ISO 14683

- Detalj 1: atika ravnog krova



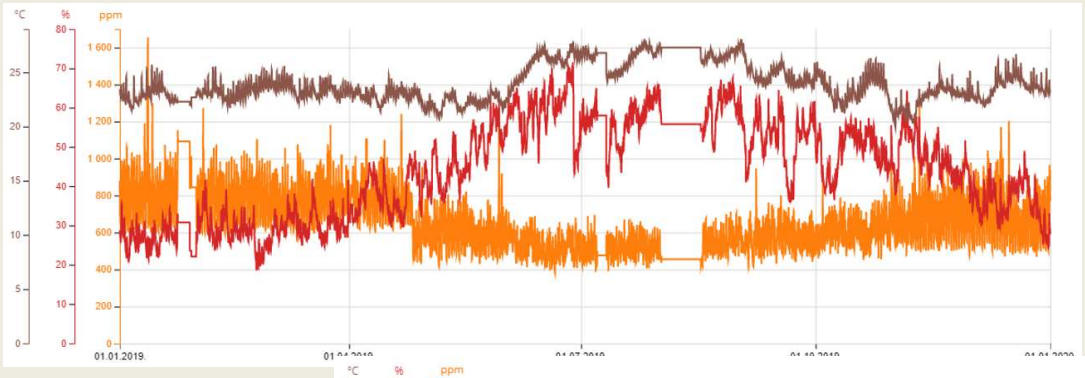


f_{Rsi} = 0,91 – 0,94

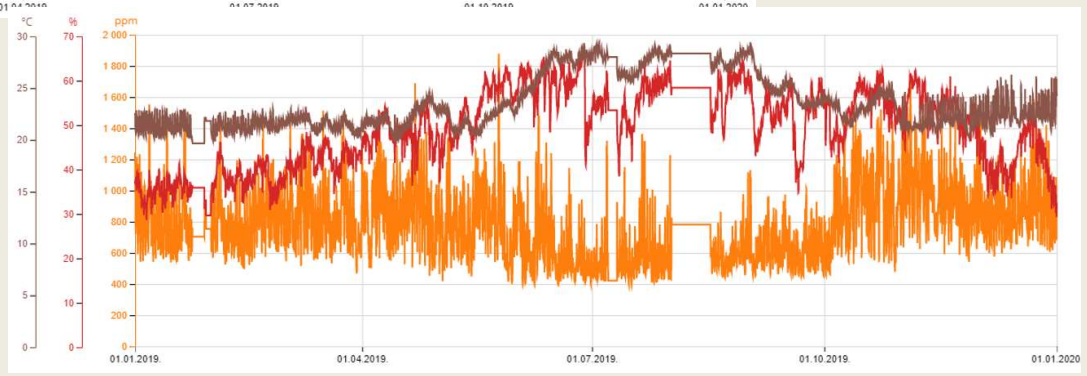
Mjerenja – ESCO Monitor

- Mjerenje i analiza potrošnje energije i parametara ugodnosti ECO-Sandwich kuće u Koprivnici
  - korištenjem računalno poslovnog sustava **ESCO Monitor**
- mjere se ukupno 33 parametra pri čemu se za svaku od tri stambene jedinice provodi daljinsko očitavanje:
  - električne energije (radna energija i maksimalna snaga)
  - potrošnja zemnog plina
  - temperatura na četiri pozicije
  - koncentracije CO_2 na jednoj poziciji
  - relativna vlažnost zraka na jednoj poziciji
- Dodatno se provodi daljinsko očitanje:
  - električne energije u zajedničkim prostorima zgrade (radna energija i maksimalna snaga)
  - temperatura vanjskog zraka

Temp [°C], RH [%], CO_2 [ppm]

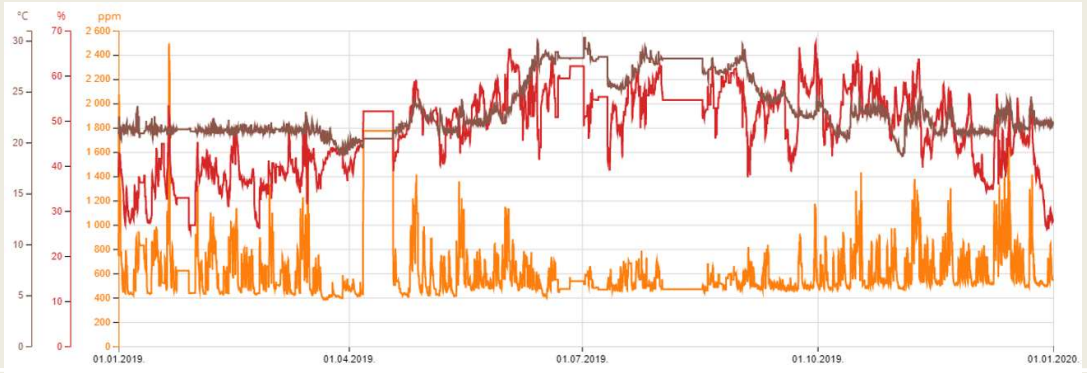


Prizemlje



1. kat

CONGREGATE



2. kat

Izmjerena potrošnja energije

Period monitoringa: 1. siječanj 2019. – 1. siječanj 2020.

E_{del}	Stan u prizemlju	Stan na 1. katu	Stan na 2. katu	Zajednički prostori (stubište itd.)
Električna energija [kWh]	3113.03	1668.95	1146.57	584.92
Ukupno el. energija [kWh]	5928.55			584.92
	6513.47			
Prirodni plin [kWh]	10896.50	4750.00	8236.50	/
Ukupno prirodni plin [kWh]	**23883.00**			

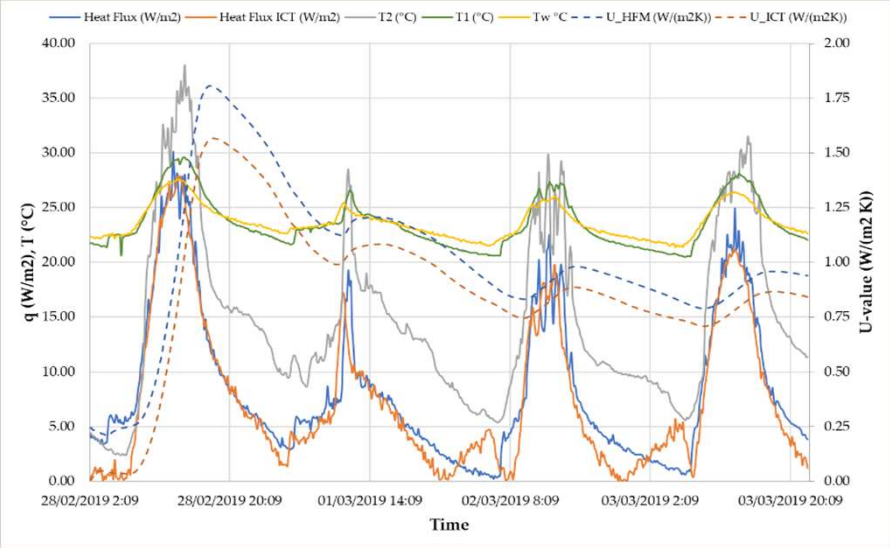
f_p = 1.614 - za el. energiju
f_p = 1.095 - za prirodni plin

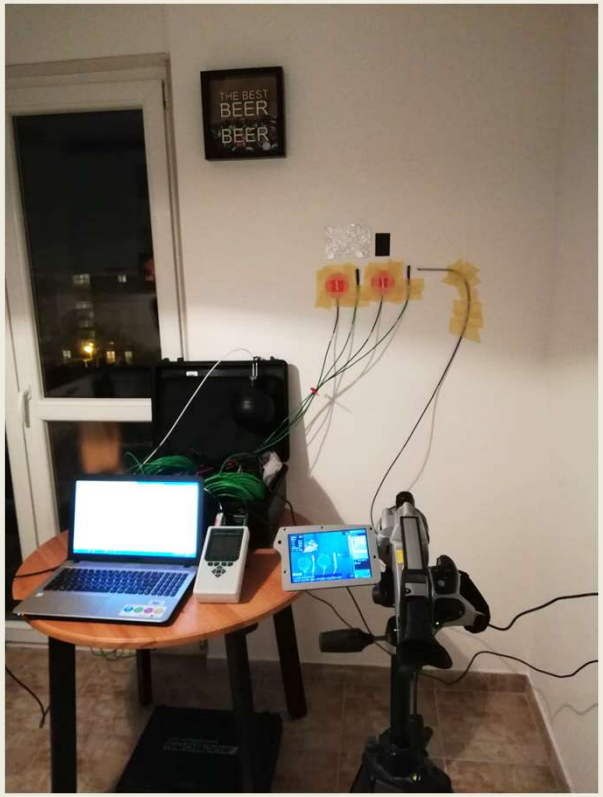
A_k = 306,12 m²

E_{prim} = 119.77 kWh/m²

* Za cjelokupnu zgradu za svu potrošnju – grijanje, hlađenje, rasvjeta, PTV, kuhanje, …

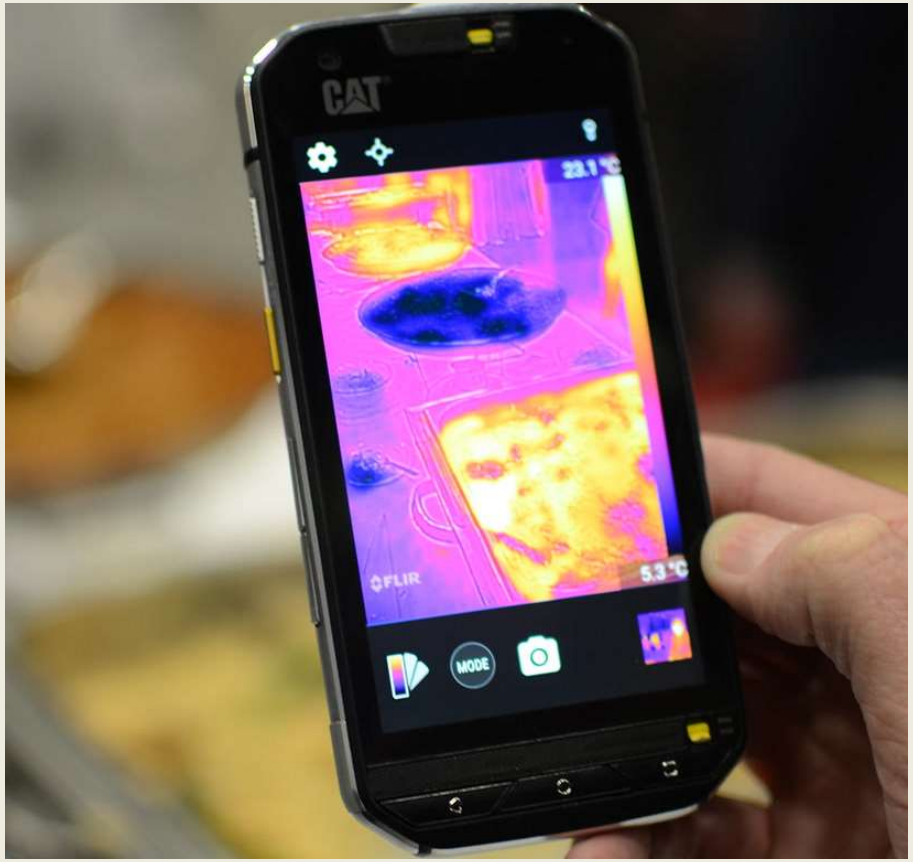
Mjerenje toplinskog toka



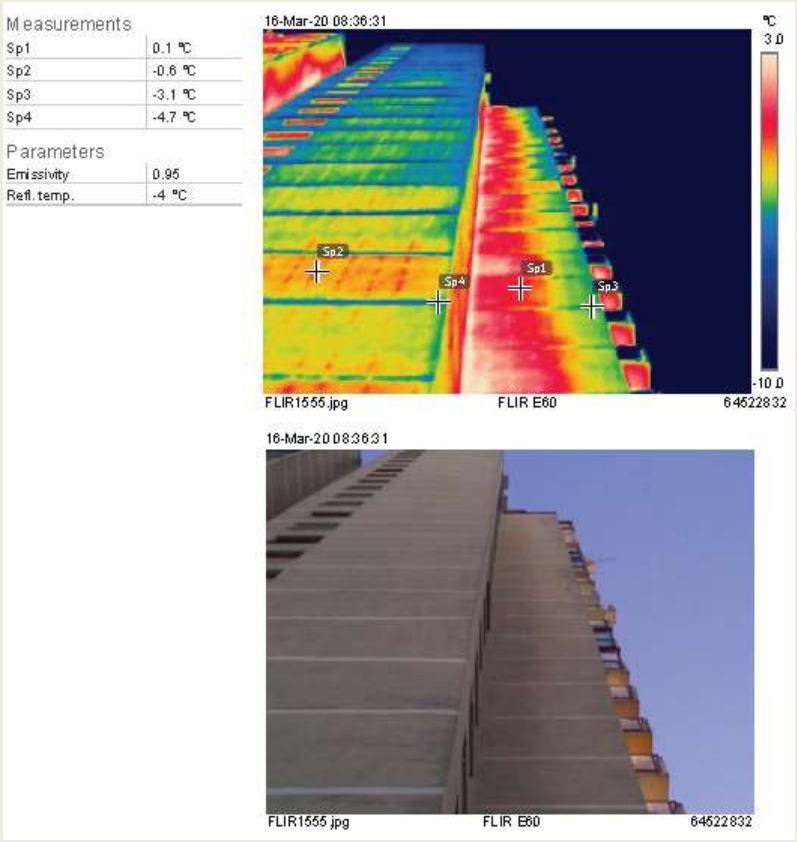


PROBLEM!

- 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.



Primjer lošeg pristupa



Dobiveni rezultati proračuna stvarnih koeficijenata su prikazani u tablici usporedno s projektiranim vrijednostima koeficijenata:

R.br.	Naziv građevnog dijela	Debljina (cm)	Vrijednost koeficijenta prema projektiranim slojevima zida	Vrijednost koeficijenta prema stvarno izmjerenim vrijednostima
1	VZ 1	32,0	0,86	1,17
2	VZ 1	32,0	0,86	1,34
3	VZ 1	32,0	0,86	1,97
4	VZ 2	*24,0*	1,17	1,94
5	VZ2	*24,0*	1,17	1,87
6	VZ 3	*24,0*	3,49	3,35
7	K 1	*33,0*	1,44	1,46
8	K 1	*33,0*	1,44	1,43

- diskretno mjerenje temperature u nekom trenutku u vremenu,
- bez analize konteksta mjerenja (u smislu djelovanja okoline na zgradu, a i onoga što se događalo u samoj zgradi).

BIM za kontrolu kvalitete NZEB-a

- Inženjeri u građevinskim tvrtkama postavljaju QC BIM model u oblak ili na portale za kontrolu kvalitete
- Vlasnici projekata ili državna tijela zatim provjeravaju podatke o usklađenosti i traže od dobavljača da preda:
  - Foto dokumentaciju
  - Evidenciju ugrađenih proizvoda
  - Povezana izvješća
  - Evidenciju građevinskih nedostataka

Povezano s BIM modelom na gradilištu

- BIM inženjeri mogu ovaj QC model prenijeti u oblak bilo kad tijekom gradnje i pružiti informacije u stvarnom vremenu onima koji ih trebaju.

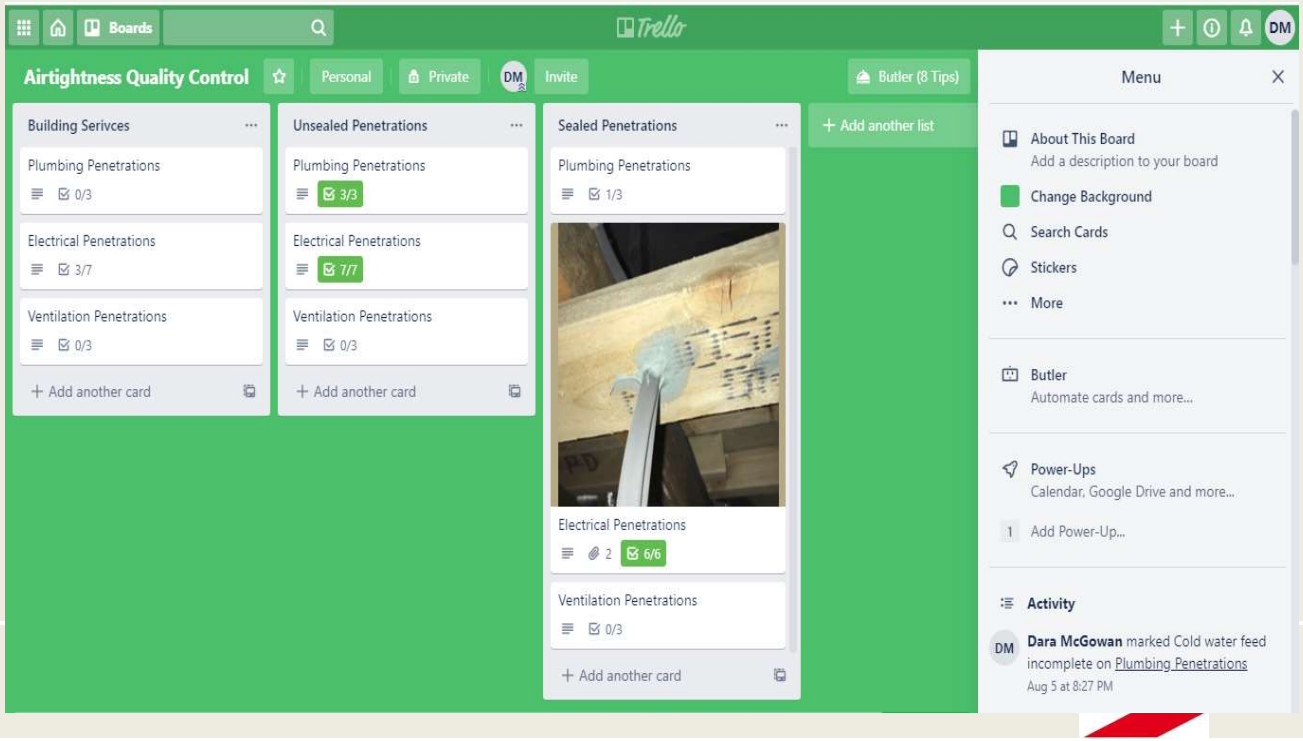
BIM as information carrier to assure NZEB quality

BIMZEED education for zero energy buildings USING BUILDING INFORMATION MODELLING

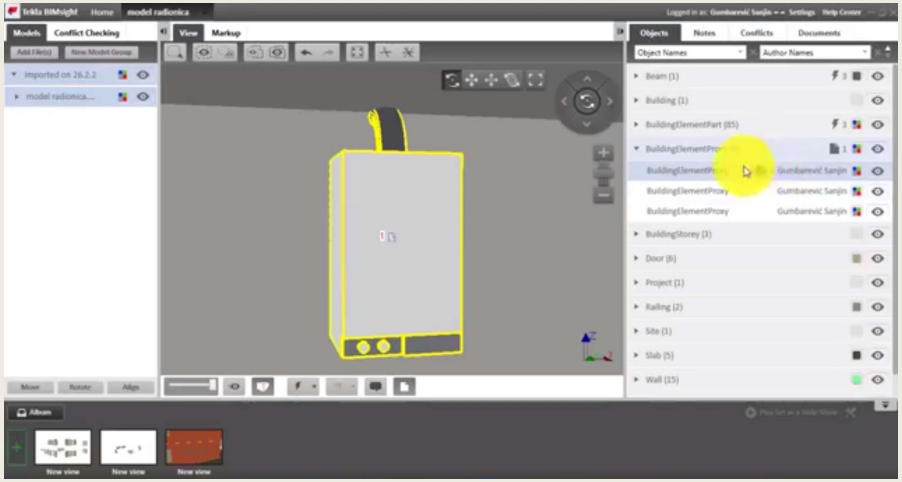
Provjera ovojnice: zrakopropusnost

BIM i digitalne aplikacije

- Korištenje digitalnih alata može poboljšati kontrolu kvalitete i zrakopropusnost ovojnice zgrade
- Postoje aplikacije, prikladne za upotrebu na mobilnim telefonima i tabletima, poput Trello, StreamBIM, Revizto, Revit, Archicad i BIM-360, ove su aplikacije posebno pogodne za provjere na gradilištima, a neke omogućuju i izvještavanje izravno natrag u BIM model



Pridružena datoteka elementu - održavanje



Izvor: projekt Net-UBIEP: https://studio.youtube.com/video/JAk7gfK0FNM/edit

education
for zero energy buildings
USING BUILDING INFORMATION MODELLING

LIT
LIMERICK INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

TIPPERARY
energy
AGENCY

REGIONALNA ENERGETSKA AGENCIJA
NORTH-WEST CROATIA
SJEVEROZAPADNE HRVATSKE
REGIONAL ENERGY AGENCY

ÉMI
NON-PROFIT LIMITED LIABILITY COMPANY FOR
QUALITY CONTROL AND INNOVATION IN BUILDING

Óbuda University
Pro Scientia et Futuro

ITeC

CIM
UPC
UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

ARCHITECTS' COUNCIL OF EUROPE
CONSEIL DES ARCHITECTES D'EUROPE

Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Projekt razvio **besplatni** edukativni materijal i treninge za visokoškolske institucije i strukovne škole u obliku **portala za e-učenje**

…te pritom educira ciljane skupine

BIM ZERED

education
for zero energy buildings
USING BUILDING INFORMATION MODELLING

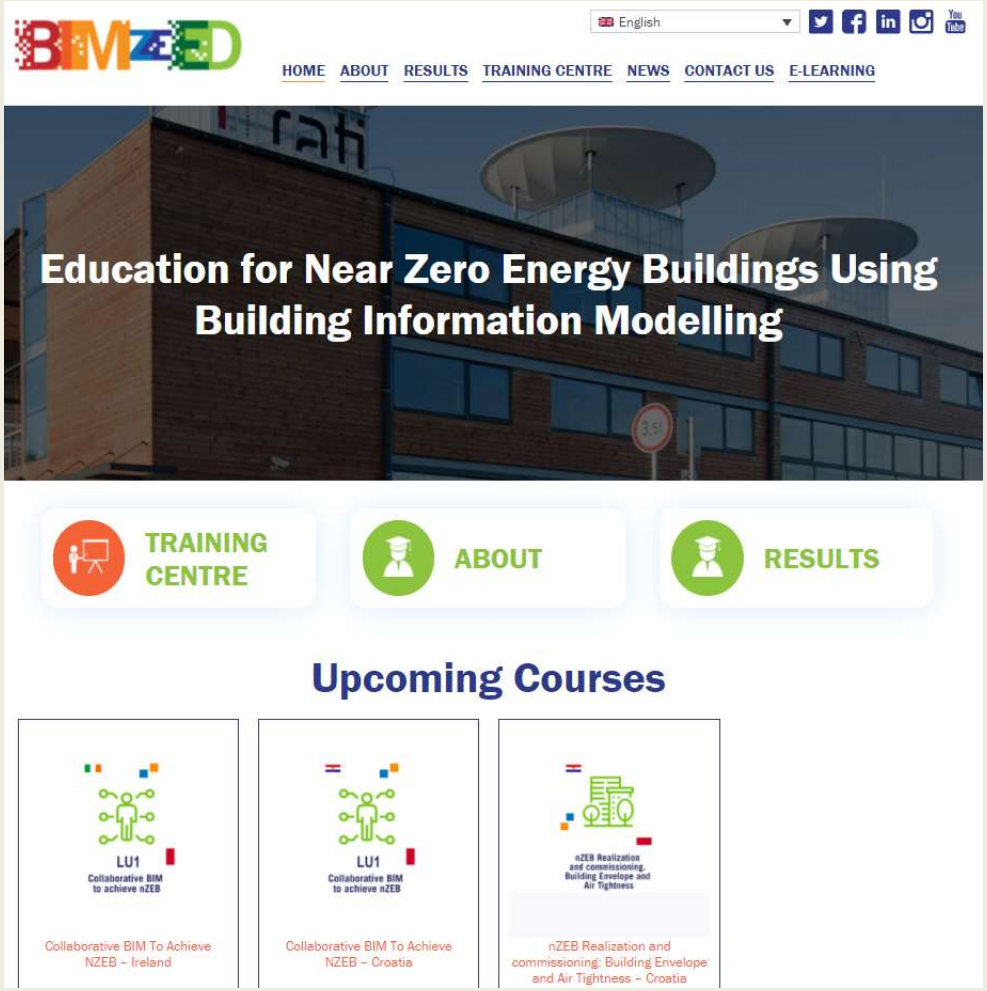
Pratite nas…

- Web: http://bimzeed.eu
- Twitter / LinkedIn / Facebook

@bimzeed_eu

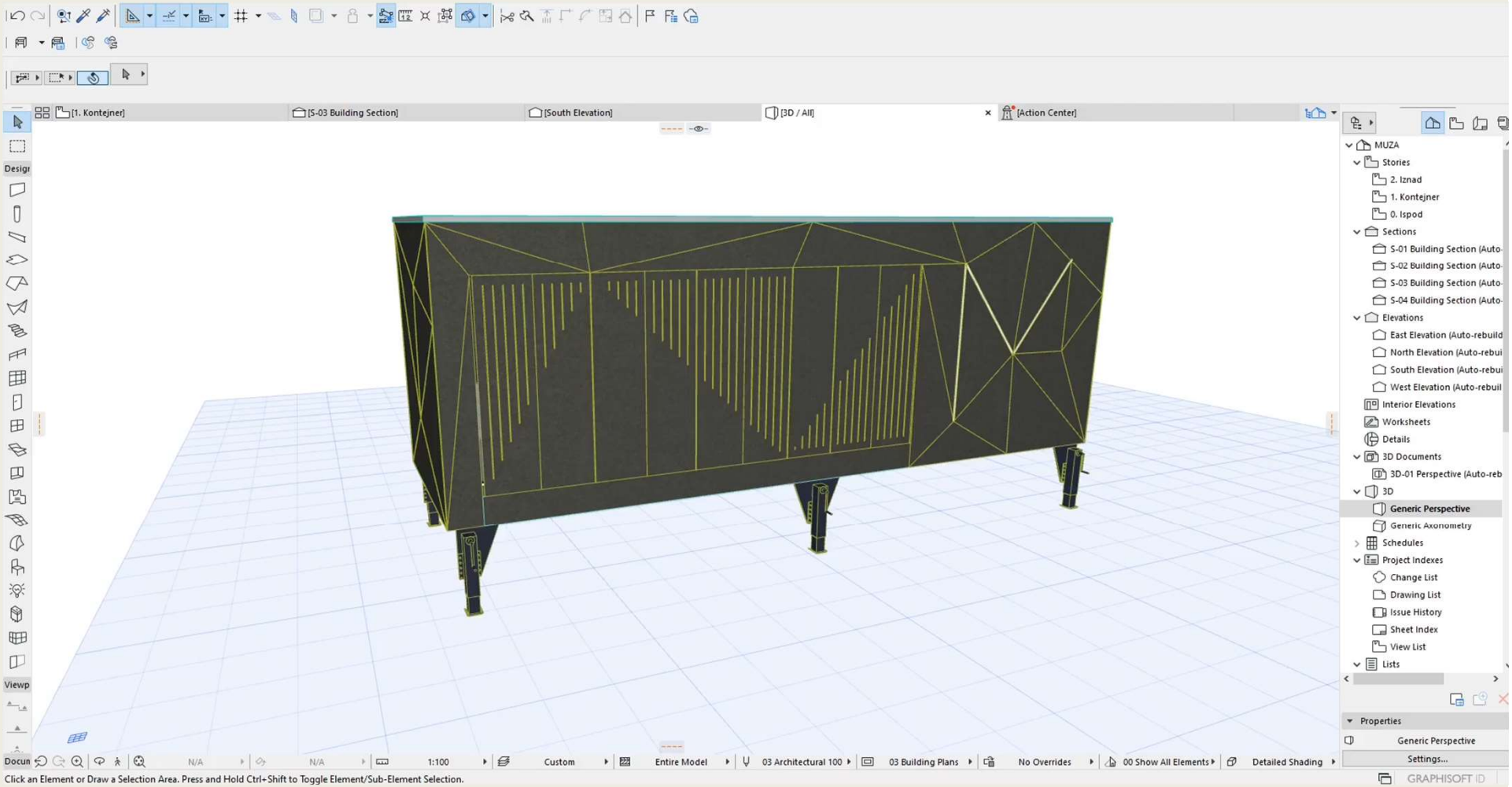
@BIMzeED

bimzeed.eu



The nZEB Roadshow

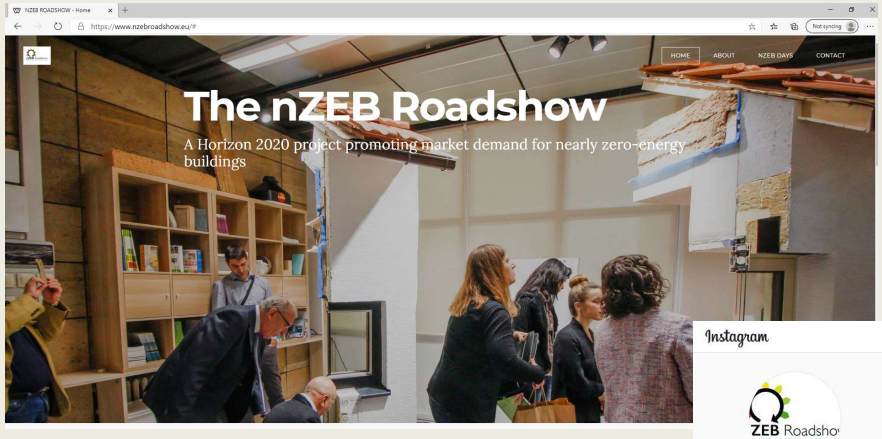
- We show what good buildings are - in your city, on your street.
- **Come and see, ask questions!**

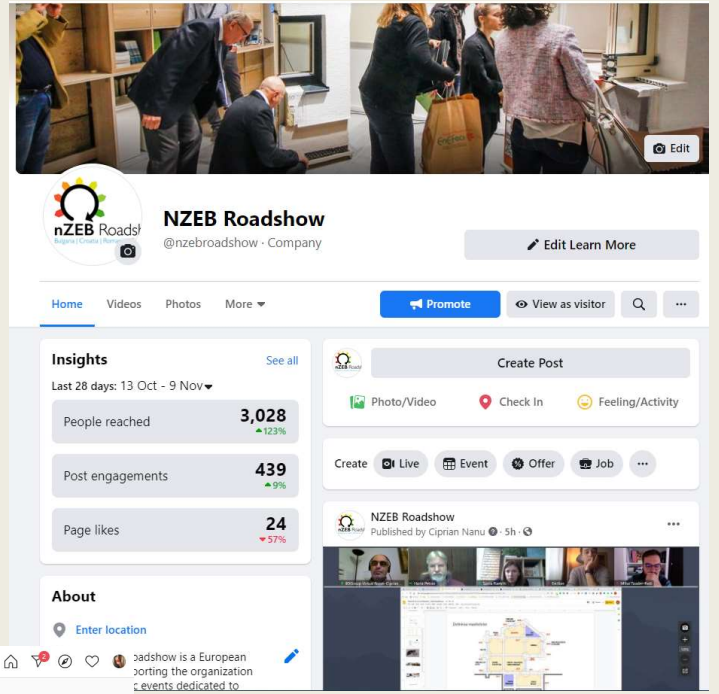

[1. Kontejner]
[S-03 Building Section]
[South Elevation]
[3D / All]
[Action Center]
MUZA
Stories
2. Iznad
1. Kontejner
0. Ispod
Sections
S-01 Building Section (Auto-
S-02 Building Section (Auto-
S-03 Building Section (Auto-
S-04 Building Section (Auto-
Elevations
East Elevation (Auto-rebuild
North Elevation (Auto-rebui
South Elevation (Auto-rebui
West Elevation (Auto-rebuil
Interior Elevations
Worksheets
Details
3D Documents
3D-01 Perspective (Auto-reb
3D
Generic Perspective
Generic Axonometry
Schedules
Project Indexes
Change List
Drawing List
Issue History
Sheet Index
View List
Lists
Properties
Generic Perspective
Settings...
1:100
Custom
Entire Model
03 Architectural 100
03 Building Plans
No Overrides
00 Show All Elements
Detailed Shading
Click an Element or Draw a Selection Area. Press and Hold Ctrl+Shift to Toggle Element/Sub-Element Selection.
GRAPHISOFT ID

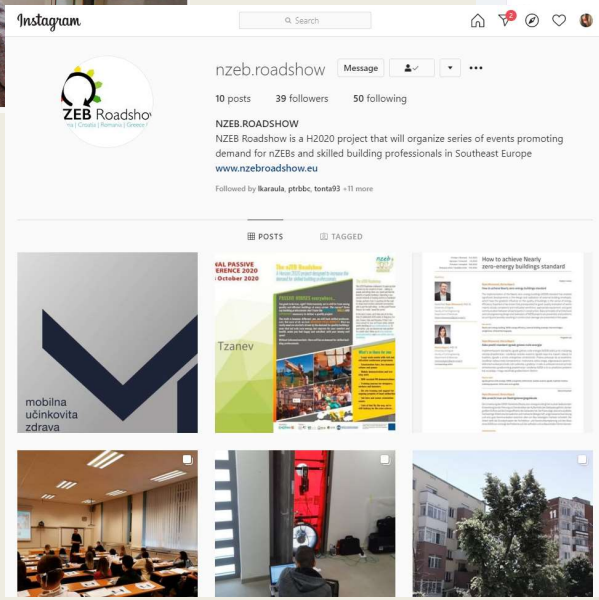
ZLATNI PARTNERI:
BOSCH
aluplast
MARLEX
Ravago
TRESPA
Schneider Electric
EJOT
WÜRTH
ELGRAD
EGGER
fibran
LIPAPROMET
KNAUFINSULATION
KNAUF
ŽBUKA
GRAĐEVINSKA RADNJA
Dimenzija
ACO
LAMINAM
HUST
A1
HSUSE
Wienerberger
ISOVER
SAINT-GOBAIN
SAINT-GOBAIN
HALTOR
HALE I ŠATORI
zgl
Srebrni partneri:
IPZ
INŽENJERING
URSA
FOND ZA ZAŠTITU OKOLIŠA I ENERGETSKU UČINKOVITOST
makoter
IDEJA KROVA.
Brončani partneri:
bau
baumit.com
ROCKWOOL
VELUX
JUB
YTONG
silka
multipor
Pokrovitelji:
HRVATSKI SAVJET ZA ZELENU GRADNJU
CLIMATE | ENERGY | MOBILITY
TEHNIČKI MUZEJ NIKOLA TESLA

PRATITE NAS!

Pridružite nam se…







www.nzebroadshow.eu

www.muza-nzeb.com

@NZEBRoadshow

www.instagram.com/nzeb.roadshow/

www.facebook.com/nzebroadshow/

Hvala na pažnji!

Doc.dr.sc. Bojan Milovanović
bmilovanovic@grad.hr