

## Večstekelne zasteklitve in stavbe brez ogrevanja

Aleš Kralj<sup>a</sup>, Sašo Medved<sup>b</sup>, Matjaž Žnidaršič<sup>a</sup>, Miroslav Halilović<sup>b\*</sup>,

<sup>a</sup>Reflex d.o.o., Podgrad 4, SI-9250 Gornja Radgona

<sup>b</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana (\* miroslav.halilovic@fs.uni-lj.si)

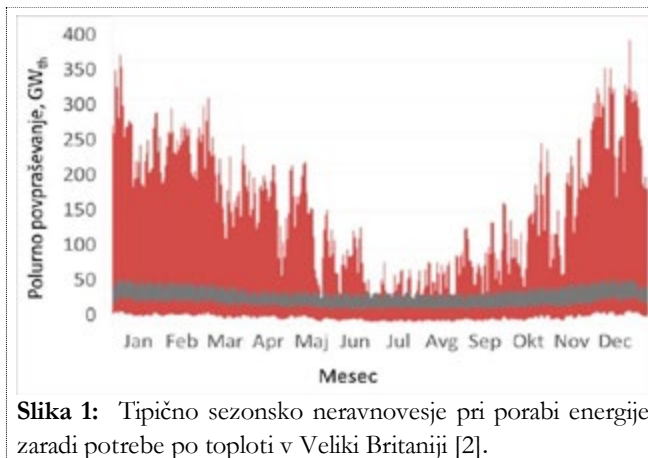
Zadnjih 12 let smo priča intenzivnemu razvoju izolacijskih zasteklitve z več kot tremi ločenimi stekli, ki so potrebna za zmanjšanje uporabe centralnih ogrevalnih naprav v stavbah. Taki zasteklitveni sistemi, ki so nastali kot rezultat naših raziskav in razvoja, dosegajo toplotne prehodnosti od 0,22 W/m<sup>2</sup>K, z majhno vgrajeno sivo energijo in omogočajo gradnjo stavb, kjer je potrebna toplota za ogrevanje 0-5 kWh/m<sup>2</sup>a. V tem primeru ločeno ogrevanje stavbe ne bi bilo potrebno, raba energije za prezračevanje in hlajenje pa je usklajena s sončnim sevanjem oziroma proizvodnjo električne energije na stavbi. Znanstveno delo na naših zasteklitvenih sistemih obsega metode optičnega in mehanskega dimenzioniranja, razvoj pripadajočih standardov in uporabo na bodočih »brezogljičnih stavbah«, ki bodo EU standard po letu 2027. Delo je rezultiralo v številnih znanstvenih objavah in treh podeljenih evropskih patentih.

### Uvod

3/4 izgub pri ogrevanju stavb predstavljajo transmisijske izgube, zato je napredek na področju tehnologij in izdelkov za kvaliteten ovoj stavb izjemno pomemben še posebej za transparentne gradnike. Cilji na področju energetske učinkovitosti stavb so skladni z akcijskim načrtom za energetske učinkovitost in direktivama EU, in sicer Energy Performance of Buildings Directive 2010/31/EU (EPBD) in Energy Efficiency Directive 2012/27/EU.

Veliko težavo nadomeščanja fosilnih goriv z alternativnimi viri ilustrativno prikazuje slika 1, ki kaže tipično sezonsko neravnovesje pri porabi energije za Veliko Britanijo. Graf nakazuje, da bi se z odstranitvijo fosilnih goriv, ki se uporabljajo za ogrevanje, današnje uravnoteženo povpraševanje po električni energiji povečalo v zimskem obdobju, ko pa je elektriko z obnovljivimi viri težko pridobiti. To pomeni, da klasično pridobivanje toplote pozimi težko nadomestijo alternativni viri, ki lahko pridobivajo energijo predvsem poleti, dokler se ne reši vprašanja sezonskega shranjevanja energije. V Nemčiji, ki pomemben del elektrike pridobi iz alternativnih virov, je podobno, in že večkrat se je v zimskem času zgodilo, da so zaradi večdnevnega pomanjkanja vetra in sonca uvažali elektriko iz sosednjih držav, kjer jo je istočasno tudi primanjkovalo, kar je privedlo že do skorajšnjih porušitev EU elektro sistema. Tehnične rešitve s sezonskim shranjevanjem toplote ali pa s shranjevanjem vodika za namen ogrevanja pa danes stroškovno niso upravičene. V nasprotju z zgornjima konceptoma je sezonsko neravnovesje smiselno rešiti na način, da stavbe pozimi ne potrebujejo aktivnega ogrevanja. Za klasične stavbe je Vanhoutteghem leta 2015 pokazala [1], da je mogoča stavba brez ogrevanja, če bi okna

imela U-vrednost pod 0,4 W/m<sup>2</sup>K z ustreznimi solarnimi dobitki.



Slika 1: Tipično sezonsko neravnovesje pri porabi energije zaradi potrebe po toploti v Veliki Britaniji [2].

Na ta način bi ob zmernih solarnih dobitkih skozi okenske površine izginila potreba po klasičnem ogrevanju pozimi, potrebe po energiji za prezračevanje in hlajenje pa bi bile v veliki meri sinhrono s sončnim sevanjem in pridobivanjem sončne energije.

### Optično dimenzioniranje večstekelnih zasteklitev

Po rešitvi opisani v patentu EP3323952B1 rešujemo problem visokih notranjih temperatur v zasteklitvah z več kot tremi stekli. Temperature >60 °C povzročajo pospešeno izgubo izolacijskega plina in zahtevajo uporabo kaljenih stekel, ki imajo visoko sivo energijo (sl. 2).

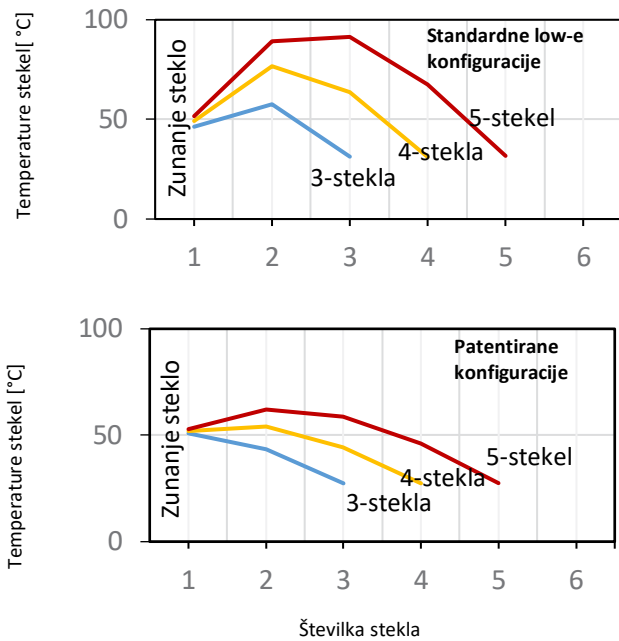
### Mehansko dimenzioniranje in standardizacija

Mehansko dimenzioniranje sledi že razviti inovativni metodi, ki predstavlja nadgradnjo metode po EN16612-2019. Za razliko od metode po standardu naša metoda natančneje popisuje odziv gibkih distančnikov in tankih stekel ob velikih pomikih. Dva posebna konstrukcijska izvedbena primera sta opisana v patentih EP2464799B1 in EP2729635B1.

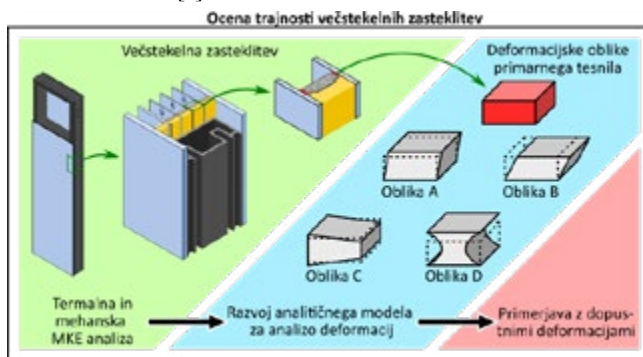
V okviru standardizacije bomo določili primerno kvalifikacijsko preizkušanje izdelkov, ki bo opredelilo dober izdelek s primerno življenjsko dobo. Pri tej nalogi izvajamo med drugim simulacije tesnilnega sistema skozi celotno življenjsko dobo izdelka (sl. 3).

### Praksa uporabe večstekelnih rešitev na stavbah

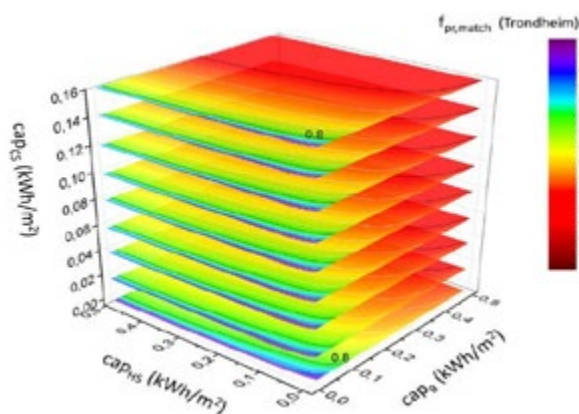
Zaključeno teoretično delo do sedaj obsega časovno nestacionarno modeliranje in eksperimentalno validacijo notranjih temperatur večstekelnih zasteklitev (sl.4) in uporabo pri študiju učinkovanja takih zasteklitev na polno zastekljene



**Slika 2:** Najvišje temperature stekel v »običajni izvedbi« (zgoraj) in izvedbi po nauku patenta EP3323952B1 (spodaj), s katerim se rešuje problem visokih temperatur v zasteklitvah z več kot 3 stekli [3].



**Slika 3:** Modeliranje življenjske dobe zasteklitve [4].



**Slika 4:** Samozadostnost stavbe ( $f_{pr,match}$ ) glede na kapaciteto baterije ( $cap_B$ ), kapaciteto hranilnika hladu ( $cap_C$ ) in kapaciteto hranilnika toplote ( $cap_H$ ) [6].

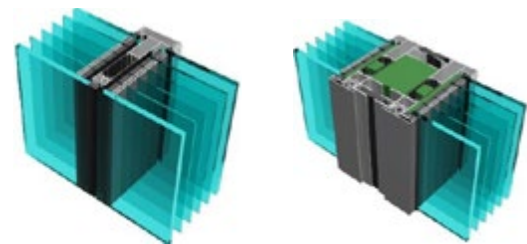
stavbe s prostim hlajenjem [5] ter optimirano stavbo izvedeno s hibridno BIPV-večstekelno fasado z vidika možnosti

doseganja čim večje energijske samozadostnosti (sl. 4). Take stavbe bistveno pripomorejo k reševanju problema, ki je prikazan na sliki 1.

Razvite večstekelne zasteklitve so vgrajene na številnih stavbah v severni Evropi (sl. 5). Študijski primer je obravnavan v [3] (sl. 6).



**Slika 5:** Stavbe s 6-kratnimi zasteklitvami (foto Reflex).



**Slika 6:** Zasteklitev stavbe na sliki 5, spodaj, sredina.

## Zaključek

V prispevku povzemamo 12 let aplikativnih raziskav na večsteklenih zasteklitvah, ki so namenjene naslednji generaciji stavbnih ovojev. Od teh si obetamo zmanjšanje potreb po ogrevanju do skoraj nič, izboljšanje udobja in znižanje vgrajenega CO<sub>2</sub> odtisa. Delo je pomemben korak k »brezogljičnim stavbam«, ki bodo po predlogi nove EPBD leta 2027 nadomestile sedanje skoraj nič energijske.

## Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo za finančno podporo ARRS (projekt L2-3172 in raziskovalni program P2-0263) ter podjetju Reflex.

## Literatura

- [1] Vanhoutteghem, Lies, et al. "Impact of façade window design on energy, daylighting and thermal comfort in nearly zero-energy houses." *Energy and Buildings* **102** (2015) 149-156.
- [2] Watson, S. D., Kevin J. Lomas, and Richard A. Buswell. "Decarbonising domestic heating: What is the peak GB demand?." *Energy Policy* **126** (2019) 533-544.
- [3] Kralj, Aleš, et al. "Investigations of 6-pane glazing: Properties and possibilities." *Energy and Buildings* **190** (2019) 61-68.
- [4] Starman, Bojan, et al. "Primary seal deformation in multipane glazing units." *Applied Sciences* **10.4** (2020) 1390.
- [5] Domjan, Suzana, et al. "Evolution of all-glass nearly Zero Energy Buildings with respect to the local climate and free-cooling techniques." *Building and Environment* **160** (2019) 106183.
- [6] Medved, Sašo, Suzana Domjan, and Ciril Arkar. "Contribution of energy storage to the transition from net zero to zero energy buildings." *Energy and Buildings* **236** (2021) 110751.