

Martin Košiček <sup>a\*</sup>, Vadim Kudryashov <sup>a</sup>, Wilson Ulises Rojas Alva <sup>a</sup>,  
Andrea Lucherini <sup>a</sup>, David Turk <sup>a</sup>, Aleš Jug <sup>a</sup>

# Eksperimentalna raziskava dejavnikov lokalnega širjenja požara v fasadnih sistemih ETICS

<sup>a</sup> Zavod za gradbeništvo Slovenije

### Ključne besede:

ETICS fasada,  
požar,  
dimniški učinek,  
EPS

### Povzetek

Fasade, ki vsebujejo gorljive materiale, predstavljajo pomembno požarno tveganje za stavbe, na katerih so zgrajene, saj omogočajo hitro širjenje požara iz posameznega prostora na večji del objekta ali celotno stavbo. Razumevanje dejavnikov, ki vplivajo na širjenje požara po fasadnih sistemih, je zato velikega pomena. V okviru raziskave o požarni varnosti fasad smo izvedli več požarnih testov fasad ETICS, temelječih na ekspaniranem polistirenu z zaviralci ali brez zaviralcev gorenja v različnih merilih. V tem članku so opisani testi v srednjem merilu, s katerimi smo želeli ovrednotiti dejavnike, ki vplivajo na lokalno širjenje požara po fasadi. Rezultati kažejo, da je prehod iz še obvladljivega stanja v hitro širjenje požara, ki lahko uide izpod nadzora, tesno povezan z nastankom zračnega kanala znotraj izolacijske plasti fasade. Ta lahko povzroči dimniški učinek, ki vodi v hitro in nekontrolirano vertikalno širjenje požara. Za preprečevanje širjenja požara oziroma vsaj za podaljšanje časa, ko je požar še obvladljiv, je ključnega pomena kakovostna namestitvev fasadnega sistema. Dodatek zaviralcev gorenja gorljivim materialom lahko prispeva k upočasnitvi širjenja požara, vendar je njihov učinek ob napakah in pomanjkanju pasivnih ukrepov požarne varnosti pri vgradnji fasade omejen.

### Experimental research of the factors influencing the local fire spread in mid-scale ETICS façade systems

### Keywords:

ETICS facades,  
fire,  
chimney effect,  
EPS

### Abstract

Facades containing combustible materials pose a significant fire risk to buildings, as they can enable rapid fire spread from a single compartment to a large portion of the structure. Therefore, understanding the factors that influence fire propagation in façade systems is of great importance. In the scope of present research on the topic of fire safety of façades, several fire tests were conducted on ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems) façades containing EPS with or without fire retardants on different scales. In this paper, the mid-scale tests are described to evaluate the parameters affecting local fire spread. The results indicate that the transition from a still manageable to a fast and uncontrollable fire spread is closely associated with the formation of an air channel within the insulation layer of the façade. This air gap can induce a chimney effect, resulting in rapid and uncontrolled vertical fire spread. To prevent fire propagation, or at least to prolong the period during which the fire remains controllable, the quality of façade installation is crucial. Although the incorporation of fire retardants into combustible materials can contribute to slowing fire spread, their effectiveness is limited when deficiencies in passive fire protection and façade installation are present.

**Strokovni članek**

\* Korespondenčni avtor ✉ martin.kosicek@zag.si

## 1 Uvod

Fasade tipa ETICS (iz angl. External Thermal Insulation Composite System) sodijo med najpogosteje uporabljane fasadne sisteme v Evropi. Kot že samo ime pove, gre pri teh fasadah za kompozitni sistem, sestavljen iz plasti mineralnega ali poliuretanskega lepila, izolacijske plasti (najpogosteje iz ekspandiranega polistirena - EPS, lahko pa tudi iz negorljive mineralne volne, ekstrudiranega polistirena - XPS, fenolne pene ali drugih izolacijskih materialov), ter iz dodatnih slojev lepilne mase, armirne mrežice in zaključnega ometa.

Priljubljenost fasad ETICS gre pripisati predvsem njihovim odličnim toplotnoizolacijskim lastnostim in nizki gostoti. Iz literature je razvidno, da lahko sanacija stavb z dvoplastno zidano fasado z vgradnjo ETICS-a zmanjša toplotne izgube za več kot 50 % [1]. Poleg tega je ETICS zunanji fasadni sistem, zato ne zmanjšuje uporabne površine notranjih prostorov. Dodatne prednosti so razmeroma nizki stroški, enostavno vzdrževanje, hitra namestitvev in dobra zvočna izolacija.

Kljub številnim prednostim se ob vse širši uporabi sistemov ETICS vse pogosteje odpira vprašanje njihove požarne varnosti. Fasada namreč predstavlja eno izmed možnih poti, po kateri se lahko požar iz manjšega prostora hitro razširi na več etaž objekta. V večini fasad sodobnih stavb so ekspandiranemu polistirenu dodani zaviralci gorenja, ki zmanjšujejo vnetljivost materiala [2], vendar je vpliv zaviralcev gorenja na širjenje požara v resničnih požarnih scenarijih vprašljivo. Fasadni sistem ETICS z EPS z dodanimi zaviralci gorenja lahko pri standardnih preskusih enega gorečega predmeta (SBI – iz angleščine Single Burning Item) doseže dober rezultat – razred B. Ker pa poteka takšen test v majhnem merilu, to ne pove prav veliko o tem, kako se bo fasadni sistem obnašal pri bolj obsežnem resničnem požaru. EPS tako ostaja material, ki predstavlja povečano požarno tveganje.

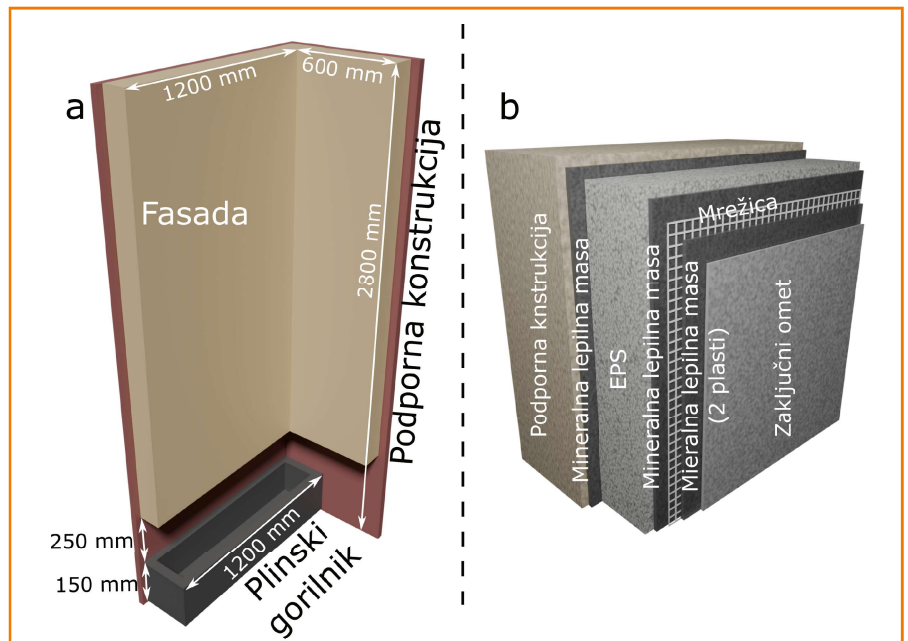
Na požarna tveganja, ki jih prinaša fasada iz ekspandiranega polistirena opozarjajo številni odmevni požari stavb s takimi fasadami, med drugimi požar v Dijonu v Franciji (2010), požar v stanovanjski stavbi v Berlinu (2005), požar v stanovanjski soseki v Shenyangu na Kitajskem (2011) in požar v stanovanjskem kompleksu v Chongqingu na Kitajskem (2020). Za zmanjšanje požarnega tveganja pri sistemih ETICS je ključno razumevanje procesov in dejavnikov, ki prispevajo k širjenju požara v takšnih sestavih. V požarnem laboratoriju Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG) v Logatcu v okviru nacionalnega projekta ETICS (L2-50046) raziskujemo področje požarne varnosti fasad ETICS. Od začetka financiranja projekta leta 2023 smo znatno nadgradili infrastrukturo za požarno preskušanje fasad v majhnem, srednjem in velikem merilu. V zadnjih dveh letih smo v okviru projekta ETICS po postopku, opisanem v standardu ISO 13785-1:2002 [3], izvedli 8 testov na srednje velikih vzorcih fasad, ki jih predstavljamo v tem članku. Taki testi so posebej primerni za karakterizacijo vpliva posameznih fasadnih materialov in detajlov, kot so izvedba okoli kotov in robov, ter izvedbenih napak na lokalno širjenje požara po fasadi in za raziskovanje gorljivosti materialov. Njihova pomanjkljivost je, da jih zaradi drugačne postavitve in manjšega merila težko primerjamo s scenariji realnih požarov.

Poudarek preskusov je bil predvsem na preučevanju vpliva vsebnosti zaviralcev gorenja v izolacijskem materialu (EPS) na širjenje požara v fasadnem sistemu, obravnavali pa smo tudi druge dejavnike, vključno z napakami pri vgradnji fasade.

Namen prispevka je predstaviti rezultate eksperimentalnih požarnih preskusov fasad ETICS v srednjem merilu ter pojasniti ključne mehanizme lokalnega širjenja požara v takšnih sistemih, zlasti v povezavi z izvedbo fasade in zaviralci gorenja v izolacijskem materialu.

## 2 Metodologija

Fasada, namenjena preskušanju, je bila nameščena na podporno konstrukcijo iz mavčnih plošč, ki je bila pritrjena na samostoječ jekleni okvir. Fasadni sistem je obsegal dve povezani krili, večje glavno in manjše stransko. Postavitvev in dimenzije fasade so prikazane na sliki 1a. Fasado je zgradil certificiran izvajalec. Fasadne komponente, prikazane na sliki 1b, so vsebovale plast mineralne lepilne mase, EPS (z ali brez zaviralcev gorenja), plast lepilne mase z armirno mrežico, dve dodatni plasti lepilne mase in zaključni omet. Na kote in robove je bil nameščen plastični (PVC) robni profil.



Slika 1: a) Dimenzije in postavitvev fasade; b) Fasadne komponente

V okviru preskušanja srednje velikih vzorcev smo po postopku, opisanem v standardu ISO 13785-1:2002 [3], izvedli osem testov, zbranih v preglednici 1. Kot je razvidno iz preglednice, sta bila kot izolacijski material uporabljena dva tipa ekstrudiranega polistirena: EPS brez zaviralcev gorenja (non-FR EPS) in EPS z zaviralci gorenja (FR EPS). EPS brez zaviralcev gorenja je pogost izolacijski material na številnih starejših objektih. Vir požara je bil plinski gorilnik z močjo 100 kW; pri enem testu pa smo moč povečali na 120 kW, da bi preučili vpliv višje toplotne obremenitve na potek testa. Gorilnik je bil nameščen neposredno pod fasado (slika 1a). Čas testa se je meril od trenutka vžiga gorilnika. V večini primerov je bila fasada zgrajena na konvencionalen način in skladno z navodili proizvajalca. V dveh primerih pa smo namerno naredili napake, ki se lahko pojavijo pri dejanski izvedbi (preglednica 1). V enem primeru je bila v ometu razpoka, kakršna lahko nastane ob močnejšem mehanskem udarcu. V drugem primeru so bile v vgradnjo namerno vključene napake, kot so nezadostno število

sider za pritrditev EPS, neenakomerna debelina izolacijskega sloja ter površno izvedeni robovi in koti fasade. Takšne pomanjkljivosti se lahko pojavijo pri izvedbi in lahko pomembno vplivajo na požarne lastnosti sistema.

Trajanje testov je bilo odvisno od obnašanja fasade med izpostavitvijo ognju. V skladu s standardom ISO 13785-1 se test konča ob pojavu plamenov na vrhu fasade oziroma po 30 minutah, če do tega ne pride. Tako smo ravnali pri testu 2 (preglednica 1). Test 7 je bil predčasno prekinjen zaradi tehničnih težav z gorilnikom, zato ni bil relevanten za končno oceno uspešnosti fasade, je pa do 14. minute kljub temu zagotovil pomembne informacije. V večini drugih primerov smo test podaljšali do pojava plamenov na vrhu fasade, saj nas je zanimalo podrobnejše obnašanje sistema in procesi, ki vodijo do nenadzorovanega širjenja požara.

Preglednica 1: Seznam testov s podrobnostmi

Številka in ime testa	Izolacijski material	Ime vzorca	Vir ognja	Posebnosti v izvedbi	Trajanje testov (do pogasitve plamenov)
Test 1	non-FR-EPS	NFR-1	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	39 min
Test 2	FR-EPS	FR-1	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	30 min
Test 3	FR-EPS	FR-2	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	55 min
Test 4	FR-EPS	FR-3(D)	plinski gorilnik, moč 100 kW	napake v izvedbi	28 min
Test 5	non-FR-EPS	NFR-2(120)	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	37 min
Test 6	non-FR-EPS	NFR-3	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	54 min
Test 7	non-FR-EPS	NFR-4(D)	plinski gorilnik, moč 100 kW	razpoka v ometu	test končan po 14 min zaradi težav z gorilnikom
Test 8	non-FR-EPS	NFR-5	plinski gorilnik, moč 100 kW	konvencionalna postavitvev	38 min

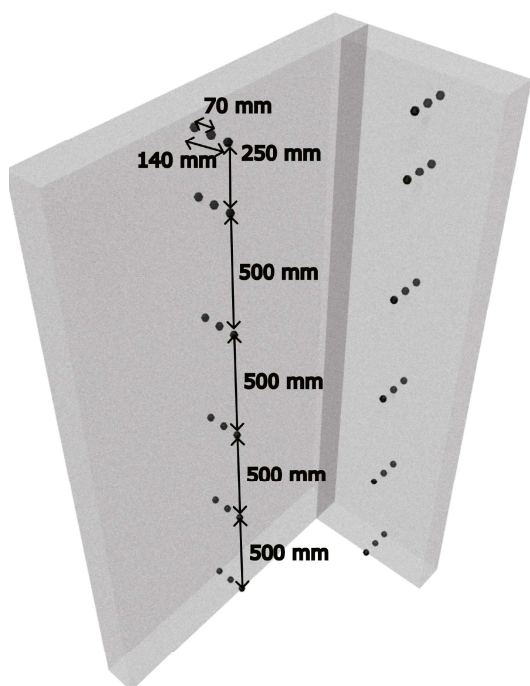
Temperaturo med preskusi smo merili s termočleni tipa K premera 1,5 mm, ki so bili vgrajeni v fasado na mestih vzdolž centralne vertikalne osi obeh fasadnih kril na razdaljah 500 oziroma 250 mm (slika 2). Na vsaki merilni višini so bili skozi presek fasade nameščeni trije termočleni: eden na meji med podporno konstrukcijo in fasadnim sistemom, eden v sredini sloja EPS in eden na meji med EPS in sloji v ometu, kot je prikazano na sliki 2.

## 3 Rezultati preskusov

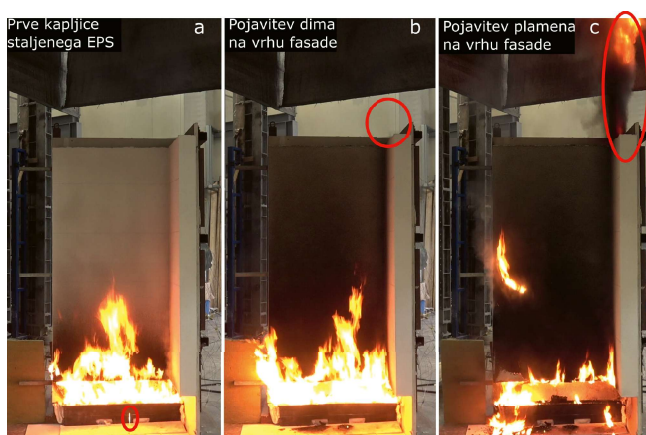
Med posameznimi preskusi je bil potek dogodkov podoben, razlike pa so se kazale predvsem v času, v katerem so nastali določeni pojavi. Pri vseh preskusih je v določeni fazi začela razpadati plast ometa na spodnji površini fasade, ki je bila neposredno izpostavljena plamenu gorilnika. Zato je skozi nastale razpoke začel kapljati staljeni EPS, ki se je ob stiku z vročim zrakom vžgal.

Sledili so pojavi, ki so nakazovali krčenje EPS znotraj fasadnega sistema: izhajanje dima in plamenov iz razpok v ometu ter pojav dima na zgornjem delu fasade. Ta pojav je posledica t. i. dimniškega učinka, ki nastane zaradi krčenja sloja EPS, pri čemer fasada postopoma postaja votla. Nastali votli kanali omogočijo pretok zraka in vročih plinov skozi sistem zaradi temperaturne razlike med spodnjim in zgornjim delom fasade.

Te pojave smo uporabili kot kazalnike požarne odpornosti fasadnega sistema.



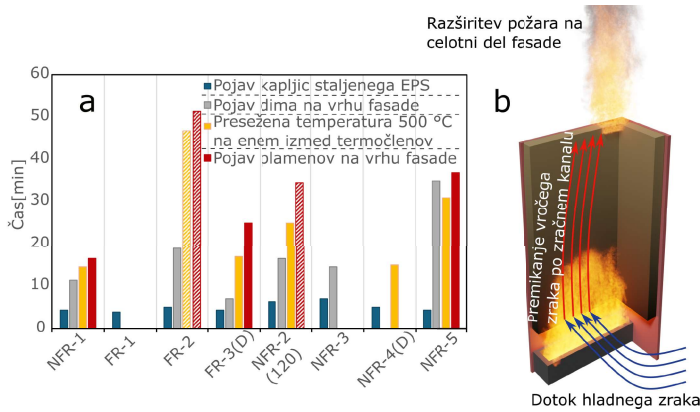
Slika 2: Razporeditev termočlenov v fasadi med testi



Slika 3: Primer ključnih dogodkov med testom (na sliki primer iz 8. testa – EPS brez zaviralcev gorenja, moč gorilnika 100 kW, konvencionalna izvedba fasade). a) Pojav prvih kapljic EPS (padajoča kapljica na sliki obkrožena z rdečo), b) Trenutek, ko je iz zgornje ploskve fasade začel izhajati dim, c) Pojav plamena na vrhu fasade

Vizualno smo ovrednotili tri ključne dogodke (slika 3), in sicer čas do pojava prvih kapljic staljenega EPS na spodnjem robu fasade (indikator pokanja ometa in nastanka odprtin), čas do prvega pojava dima na vrhu fasade (indikator vzpostavitve votlega kanala in začetka dimniškega učinka) in čas do pojava plamenov na vrhu fasade, ki označuje širjenje požara preko meja vzorca. Poleg tega smo zabeležili tudi čase, pri katerih je katerikoli termočlen izmeril temperaturo 500 °C kot indikator vžiga EPS.

Razlike v časih do navedenih dogodkov med posameznimi preskusi so prikazane na sliki 4a.



Slika 4: a) Čas do posameznega dogodka za vsak test. Pri dogodkih, kjer čas ni naveden, se dogodek med testom ni zgodil. Stolpci s poševnimi črtami označujejo dogodke, ki so bili zabeleženi po izključitvi gorilnika. b) Prikaz dimniškega učinka

Rezultati kažejo, da je prelomna točka, ko fasada »odpove« pod vplivom zunanjega vira ognja in omogoči hitro nekontrolirano širjenje požara, vzpostavitev vertikalnega zračnega kanala znotraj fasade, skupaj z odprtina na spodnjem in zgornjem delu fasade. Ker imajo plini, nastali pri gorenju, bistveno višjo temperaturo kot okoliški zrak, pride do izrazitega dimniškega učinka, ki lahko v praksi zelo hitro povzroči širjenje požara navzgor po fasadi (slika 4b). Podatki iz literature, pridobljeni s preskusi v majhnem merilu na različnih izolacijskih materialih, kažejo, da zračna reža med izolacijo in zunanjo oblogo, ki je značilna za prezračevane fasade, pomembno vpliva na požarno obnašanje sistema. Zaradi dimniškega učinka se v takih primerih izrazito povečajo ključni parametri gorenja, kot so hitrost navpičnega širjenja plamenov, intenzivnost gorenja, temperatura nad fasado in hitrost sproščanja toplote [4]. Čeprav v našem primeru ni šlo za prezračevan fasadni sistem, temveč za kontaktno fasado, je pojav dimniškega učinka ravno tako izrazito pospešil širjenje požara.

Za vzpostavitev dimniškega učinka v notranosti testiranih fasad je najprej potrebna v bližini vira vžiga odprtina v ometu, skozi katero lahko vstopi zrak. Ta pogoj je bil izpolnjen pri vseh preskusih, saj je po nekaj minutah izpostavljenosti plamenu začela razpadati spodnja plast ometa. Toplota gorilnika je sčasoma poškodovala armirno mrežico, ki zagotavlja mehansko stabilnost ometa. Zato se je omet začel povešati, pojavile so se razpoke in odprtine, skozi katere je kapljal staljeni EPS. Takšna odprtina so se pojavile pri vseh testih. Najpomembnejši dejavnik za njihov čim poznejši nastanek je kakovostna izvedba fasade in zadostna debelina ometa. Posebno pozornost je treba nameniti izvedbi vogalov in robov, kjer omet običajno najprej popusti. Zaviralci gorenja v EPS ne vplivajo na čas nastanka odprtin v ometu.

Drugi pogoj za razvoj dimniškega učinka je vzpostavitev zračnega kanala znotraj sloja EPS in odprtina višje ali na vrhu fasade. Ko ogenj prodre v fasado, se zaradi taljenja, krčenja in izgorevanja EPS oblikujejo zračni žepi, ki se lahko povežejo v neprekinjen vertikalni kanal. Rezultati (slika 4a) kažejo, da zaviralci gorenja upočasnijo nastanek takšnega kanala, saj pri testih z EPS z zaviralci gorenja in pravilno izvedeno fasado (FR-1 in FR-2) v 30-minutnem intervalu ni prišlo do nenadzorovanega širjenja požara. Po drugi strani se je fasada z zaviralci gorenja, vendar z namernimi izvedbenimi napakami (FR-3(D)), odrezala slabše, saj je kljub zaviralcem v 30 minutah prišlo do vzpostavitve dimniškega učinka in nenadzorovanega širjenja ognja. Preizkusi z EPS brez zaviralcev gorenja so pokazali raznolike rezultate. Nekateri sistemi so se izkazali za relativno odporne (NFR-2 (120), NFR-3 in NFR-5), drugi pa za izrazito ranljive (NFR-1), čeprav v osnovni zasnovi ni bilo bistvenih razlik. To je mogoče pripisati podrobnostim pri izvedbi. Rezultati tako potrjujejo, da sta pri požarni varnosti fasad ETICS na osnovi EPS ključnega pomena kakovostna in natančna izvedba ter namestitve, zlasti ometa na kritičnih mestih, kot so vogali in robovi, saj lahko zakasni razvoj požara. Zaviralci

gorenja sicer pozitivno vplivajo na obnašanje sistema, vendar je ob izvedbenih napakah in vzpostavitvi dimniškega učinka njihov vpliv sekundarnega pomena.

## 4 Zaključek

Če povzamemo: v opisani raziskavi smo izvedli več požarnih testov na srednjem merilu. Z njimi smo preučevali dejavnike, ki vplivajo na lokalno širjenje požara po fasadi, in mehanizem širjenja požara. Rezultati preskusov jasno kažejo, da je pri požarni varnosti fasad ETICS odločilnega pomena nastanek oziroma preprečevanje zračnega kanala znotraj izolacijskega sloja. Ko se tak kanal vzpostavi, lahko zaradi dimniškega učinka pride do zelo hitrega vertikalnega širjenja požara po fasadi.

Raziskava je pokazala tudi, da imajo lahko že manjše nepravilnosti pri izvedbi fasadnega sistema pomemben vpliv na razvoj požara. Kakovostna izvedba ometa ter pravilna izvedba robov in vogalov zato predstavljata enega ključnih elementov požarne varnosti fasade.

Rezultati preskusov tako potrjujejo, da poleg izbire materialov igra pomembno vlogo pri požarni varnosti fasadnih sistemov tudi kakovost izvedbe in nadzor nad vgradnjo. Rezultati raziskave zato dodatno potrjujejo, kako pomembno je dosledno upoštevanje požarnovarnostnih predpisov in pravilna vgradnja elementov pasivne požarne zaščite, kot je na primer vgradnja 40 cm debelega pasu negorljive izolacije pri stavbah višine med 10 in 22 m.

Poudariti je treba tudi, da preskusi v srednjem merilu zagotavljajo pomembne informacije o lokalnem širjenju požara po fasadi, vendar je požarna varnost fasad širši, sistemski problem, povezan s celotnim objektom. Za celovito oceno požarne varnosti so zato nujni preskusi na večjih vzorcih. V požarnem laboratoriju ZAG v Logatcu razpolagamo tudi z ustrezno infrastrukturo za izvajanje tovrstnih testov. V prihodnje bomo predstavili rezultate testov na velikem merilu, ki so tehnično zahtevnejši, vendar omogočajo bolj poglobljene zaključke o obnašanju fasadnega sistema v požaru, vključno z vertikalnim in horizontalnim širjenjem ognja, širjenjem med nadstropji ter skozi odprtine, in tako bolje simulirajo dejansko požarno situacijo na objektu kot celoti. Po drugi strani so za preučevanje gorljivosti posameznih materialov in vpliva različnih fasadnih komponent primerni preskusi v manjšem merilu, katerih rezultati bodo predstavljeni v prihodnjih poročilih o raziskavah.

## Zahvala

Raziskava je bila financirana s strani Javne agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) v okviru projekta ETICS (L2-50046). To delo je bilo podprto tudi s strani projekta FRISSE, financiranega iz programa Evropske unije Obzorje 2020 na podlagi sporazuma o dodelitvi sredstev št. 952395.

## Literatura

- [1] S. Varela Luján, C. Viñas Arrebola, A. Rodríguez Sánchez, P. Aguilera Benito, and M. González Cortina, "Experimental comparative study of the thermal performance of the façade of a building refurbished using ETICS, and quantification of improvements," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 51, p. 101713, Nov. 2019, doi: 10.1016/J.SCS.2019.101713.
- [2] M. Tang, T. Rogau, B. Batiot, T. Bensabath, and S. Bourbigot, "Small-scale experimental study on EPS ETICS and flame-retardant coating reaction-to-fire performance," *J. Fire Sci.*, vol. 43, no. 1, pp. 3–17, Jan. 2025, doi: 10.1177/07349041241285978.
- [3] "ISO 13785-1:2002. Reaction-to-fire tests for façades, Part 1: Intermediate-scale test."
- [4] A. Sharma and K. B. Mishra, "Experimental investigations on the influence of 'chimney-effect' on fire response of rainscreen façades in high-rise buildings," *J. Build. Eng.*, vol. 44, p. 103257, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103257.