

Termoizolacioni sistemi u svetu i kod nas

NAZIM U. MANIĆ, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar

ORCID: 0000-0001-8346-8255

BERNA A. KRBUZLIĆ, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar DOI: 10.5937/tehnika2601021M

ORCID: 0009-0000-6915-0718

ALEMA F. MAŠOVIĆ, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar

ORCID: 0009-0008-4381-7359

IZET I. CAMA, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar

ORCID: 0009-0000-6282-8338

Stručni rad

UDC: 699.86:620.9

Toplotna izolacija je ključni faktor energetske efikasne i održive gradnje. Smanjuje toplotne gubitke, poboljšava komfor, sprečava kondenzaciju i buđ, te doprinosi smanjenju emisije CO₂. Izolacioni materijali se klasifikuju prema tehničkim, ekološkim i zdravstvenim svojstvima, pri čemu je koeficijent toplotne provodnosti najvažniji kriterijum. Najčešće se koriste mineralna vuna, ekspandirani polistiren (EPS) i ekstrudirani polistiren (XPS), dok prirodni materijali nude bolje ekološke karakteristike. Inovacije poput vakuum izolacionih ploča (VIP), aerogela i providne izolacije omogućavaju vrhunske performanse uz tanke slojeve. Rad analizira zakonske regulative i vrednosti koeficijenta prolaza toplote U u Srbiji, Crnoj Gori, BiH, Turskoj i EU, sa ciljem unapređenja izolacionih standarda i smanjenja potrošnje energije.

Ključne reči: termoizolacija, energetska efikasnost, koeficijent prolaza toplote

1. UVOD

Termoizolacija je ključni element u projektovanju održivih i efikasnih građevinskih objekata. Ona igra značajnu ulogu u postizanju energetske efikasnosti objekta, udobnosti korisnika i uopšteno očuvanju životne sredine. [1] Osim što održava optimalnu temperaturu, termoizolacija umanjuje neprijatna strujanja vazduha koja nastaju zbog temperaturnih razlika između fasadnog zida i unutrašnjosti objekta, kao i između poda i plafona. Termoizolacija pruža trajnu zaštitu – nakon prvobitnog ulaganja i instalacije, ona dugoročno obavlja svoju funkciju bez potrebe za dodatnim troškovima održavanja, napajanja i slično. U zavisnosti od lokacije objekta, godišnjeg doba ili doba dana, termoizolacija štiti objekat od hladnoće zimi, toplote ljeti ili obe ekstremne temperature tokom čitave godine. Smanjuje troškove za energiju, a istovremeno doprinosi očuvanju životne sredine.

Poslednjih trideset godina, postoji sve važnija potreba za uštedom energije koja se troši na zagrevanje prostorija. [2]. Ova rasprava je postala intenzivnija zbog smanjenja emisije CO₂, glavnog uzroka globalnog zagrevanja.

Takođe, ističu se higijenski i zdravstveni razlozi jer nedovoljna izolacija može dovesti do vlage na zidovima i pojave plesni, što izaziva alergijske reakcije i emituje toksine, štetno utičući na zdravlje ljudi. [3] Savremene zgrade troše manje energije zahvaljujući visokim izolacionim standardima, što doprinosi očuvanju životne sredine.

Fasadne konstrukcije trebaju biti termoizolacione, zvučnoizolacione, otporne na vlagu, mraz, požare, lako montirajuće i ekološke. [4] Ipak, nijedan materijal trenutno ne može ispuniti sve ove zahteve istovremeno. Stoga se razvoj termoizolacionih sistema neprestano usmerava ka pronalaženju optimalnih rešenja koja će objediniti tehničke performanse, ekološku prihvatljivost i ekonomsku isplativost.

U tom kontekstu, neophodno je sagledati različite pristupe i standarde termoizolacije koji se primenjuju širom sveta, kao i kod nas, jer regionalne razlike u klimatskim uslovima, zakonodavstvu i tržišnim uslovima direktno utiču na izbor materijala i tehnologija.

Adresa autora: Nazim Manić, Državni univerzitet u Novom Pazaru, Novi Pazar, Vuka Karadžića bb

e-mail: nmanic@np.ac.rs

Rad primljen: 20.05.2025.

Rad prihvaćen: 30.12.2025.

2. TERMOIZOLACIONI MATERIJALI U GRAĐEVINARSTVU I NJIHOVE KARAKTERISTIKE

Termoizolacioni materijali ocenjuju se prema termičkim, ekološkim i zdravstvenim karakteristikama. Osnovni tehnički parametri za termoizolacione materijale su: koeficijent toplotne provodnosti (λ), specifični toplotni kapacitet (c), faktor otpora difuziji vodene pare (μ), koeficijent toplotnog širenja (α) i zapreminska masa (ρ). [5]

Koeficijent toplotne provodnosti λ (W/mK) je glavni parametar, on definiše mogućnost provođenja toplote materijala [6]. Da bi materijal bio svrstan u

kategoriju termoizolacionih materijala, neophodno je da ima toplotnu provodnost $\lambda < 0.06$ W/mK. Koeficijent toplotne provodnosti (λ) i mogućnost reciklaže ključni su za ocenu energetske efikasnosti i ekološkog uticaja, dok zdravstveni standardi procenjuju toksičnost i emisiju štetnih gasova. [1]

Raznovrsnost materijala otežava njihovu univerzalnu klasifikaciju. Mogu imati vlaknastu strukturu ili biti u obliku folija, monolitnih blokova, rolni, sa hemijskim ili mehaničkim vezivanjem. Mnogi istraživači su pokušavali da naprave univerzalnu klasifikaciju izolacionih materijala, ali je to izazovno zbog raznovrsnosti materijala koji se koriste. [5]

Tabela 1. Najnovija klasifikacija izolacionih materijala [5]



3. KONVENCIONALNI IZOLACIONI MATERIJALI

Na tržištu Evropske unije, tradicionalno su dominantni konvencionalni organski i neorganski izolacioni materijali, koji se koriste već decenijama, zbog svoje dokazane efikasnosti, dostupnosti i relativno povoljne cene. [7]

Uprkos sve većem interesovanju za nove, ekološki prihvatljivije i energetski efikasnije materijale, konvencionalni izolacioni materijali i dalje zauzimaju najveći deo tržišta zahvaljujući razvijenoj infrastrukturi za proizvodnju i distribuciju, kao i dugogodišnjoj upotrebi koja je dovela do standardizacije i optimizacije njihovih svojstava i tehnoloških procesa. [7]

3.1. Materijali neorganskog porekla

Kamena i staklena vuna čine većinu tržišta sa 60%, dok penasti materijali poput polistirena i poliuretana zauzimaju 27%. Ostali materijali obuhvataju preostalih 13%. Kamen i staklena vuna, poznate i kao mineralna vuna, imaju slična svojstva, iako se razlikuju po sirovinama, proizvodnji i krajnjim karakteristikama. [1]

Prednosti konvencionalnih materijala su: dobra toplotna izolacija, dostupnost i relativno niska cena.

Nedostaci konvencionalnih materijala (ekstrudirani polistiren, ekspandirani polistiren, poliuretanska pena) su: ekološka nepovoljnost i osetljivost na vatru i vlagu.

Mineralne vune imaju odlična termo i zvučna izolaciona svojstva, kao i otpornost na požar, što ih čini

optimalnim izborom [4]. Kamena i staklena vuna su rasprostranjene u raznim građevinskim aplikacijama. Kamena vuna se koristi za toplotnu, zvučnu i protivpožarnu izolaciju u građevinarstvu, industriji i brodogradnji. Proizvodi se od prirodnih i sintetičkih silikatnih materijala. Glavni hemijski sastav uključuje okside silicijuma, aluminijuma, kalcijuma, magnezijuma i gvožđa.

3.2. Materijali organskog sintetičkog porekla

Materijal poznat pod opštim nazivom „Stiropor“ predstavlja sintetički proizvod na bazi polistirena, koji se javlja u dva osnovna oblika: ekstrudirani (EPS) i ekstrudirani (EXS) polistiren. [8] Oba tipa se dobijaju iz naftnih derivata, a razlike između njih proističu iz primenjenih tehnoloških postupaka.

Osnovna sirovina su kompaktne granule polistirena, dok se ekstrudirani polistiren može proizvoditi i od kristalnog polistirena. [5] Ekspandirani polistiren (EPS), poznat i kao Stiropor, predstavlja jedan od najčešće korišćenih termoizolacionih materijala u građevinarstvu.

Sa toplotnom provodljivošću između 0.035 i 0.041 W/mK, EPS zauzima preko 40% tržišta izolacionih materijala. [1] Tehnološki proces proizvodnje EPS-a obuhvata tri faze. U prvoj, granule polistirena izlažu se pari u predekspanderu, pri čemu se pentan transformiše u gas, a zapremina granula povećava i do 30 puta, uz smanjenje gustine sa 600 na 15–30 kg/m³. U drugoj fazi, granule odležavaju 8–24 sata u paropropusnim silosima, tokom koje se oslobađa preostali pentan. U

trećoj fazi, granule se prenose u kalupe (blok-forme), gde se uz delovanje zasićene pare konačno ekspaniraju i formiraju zatvorenu ćelijsku strukturu. Nakon stabilizacije dimenzija, materijal se seče u željene oblike. [6]



Slika 1 - Ekstrudiran polistiren EXS [8]

Proizvodnja ekstrudiranog polistirena (EXS) zasniva se na procesu ekstruzije i naknadne obrade. U početnoj fazi, granulirani i praškasti sastojci doziraju se u ekstruder, gde se smeša topi i homogeniše uz dodatak pogonskog gasa (ranije freona, danas CO₂). U drugom ekstruderu vrši se hlađenje i dalja homogenizacija pomoću statičkog miksera. Ohlađena masa prolazi kroz diznu i kalibrator, koji joj daju konačnu formu trake. [8]

Karakteristične osobine EPS i EXS materijala uključuju:

- Nisku zapreminsku masu (EPS: 10–30 kg/m³; EXS: 33–45 kg/m³), Nizak koeficijent toplotne provodljivosti (EPS: 0.028–0.040 W/mK; EXS: 0.025–0.035 W/mK),
- Niska apsorpcija vode i veoma mala propustljivost vodene pare,
- Mogućnost reciklaže [8]



Slika 2 - Ekspandiran polistiren EPS [8]

4. ORGANSKI MATERIJALI

Prirodni i održivi materijali postaju sve više relevantni i često se koriste u savremenom dizajnu arhitekture i građevinarstvu [9]. Koncept gradnje koji teži regionalizmu i tradicionalnoj arhitekturi podrazu-

meva ponovnu upotrebu nekih tradicionalnih materijala, kao što su slama, pluta itd. Ovi materijali mogu se primeniti na fasadama i krovovima u svom prirodnom stanju, ili se mogu preraditi u kompozitne materijale, poput ploča ili panela, sa ili bez dodatnih materijala, koji su prikladni za spoljne aplikacije.

4.1. Materijali biljnog porekla

Pluta je prirodan, ekološki, biorazgradiv i potpuno obnovljiv materijal. Može se reći da je, u pogledu ekologije, materijal bez premca. Takođe je jedan od najboljih zvučnih i toplotnih izolatora koji se koristi i kao dekorativni element u vidu zidnih i podnih obloga, ali i nameštaja i detalja. Zbog svega ovoga je u Evropi pluta za izolaciju poprilično tražena. Ploče za izolaciju zidova dostupne u debljinama od 2,5 do 30 cm. [10]



Slika 3 - Pluta kao zvučni izolacijski materijal [10]

Slama je obnovljiv, prirodan, dostupan i pristupačan resurs koji ima odlične termoizolacione karakteristike, čak i bolje od većine savremenih materijala za termoizolaciju. Uz pravilnu ugradnju i zaštitu slama je trajan materijal, a presovana slama u balama i panelima ima veću otpornost od požara.



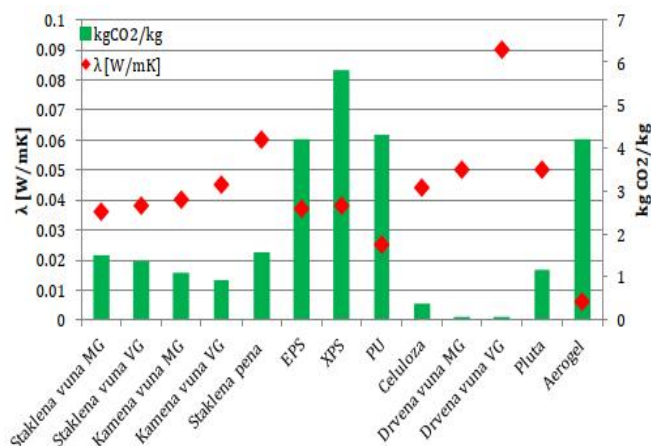
Slika 4 - Ugradnja bala slame kao izolacije kod drvene konstrukcije [10]

Rezultati dobijeni nakon brojnih istraživanja, dali su zeleno svetlo za korišćenje slame u visokogradnji. Primera radi, u Francuskoj, Nemačkoj, Velikoj Britaniji, Austriji, SAD ona je zvanično sertifikovan materijal za izgradnju. Slama kao materijal za izgradnju je prirodna, efikasna i povoljna alternativa savremenim termoizolacionim materijal [10].

4.2. Materijali životinjskog porekla

Ovčija vuna kao izolacija je prirodan materijal odličnih termoizolacionih i drugih karakteristika, čak oko 20% bolje nego kod nekih drugih materijala za izolaciju [10]. Ovčija vuna reguliše vlažnost vazduha u

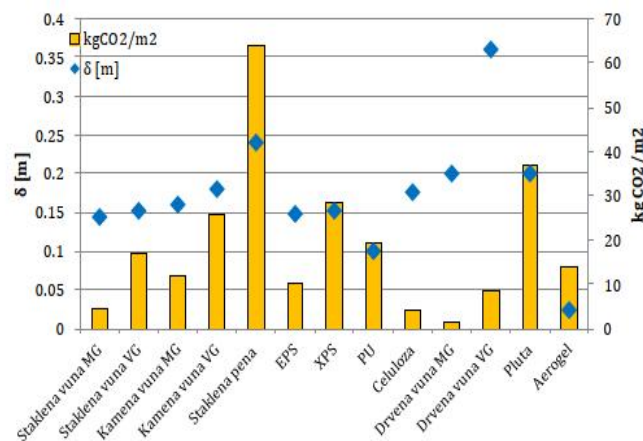
prostoriji tako što može da upija ili otpušta vlagu u zavisnosti od vlažnosti prostorije. Australija i Novi Zeland dominiraju tržištem sirove vune, zajednički obuhvatajući dve trećine svetskog izvoza svake godine.



Slika 5 - Toplotna provodljivost i ugljenični otisak (po kilogramu izolacionog materijala) [9]

Vrlo prijatnu klimu unutar prostora stvara jer sadrži posebnu supstancu lanolin. Ovčija vuna omogućava odličan protok vazduha, a čisti se prozračivanjem. Zapaljiva je se samo pri veoma visokim temperaturama. Takođe je otporna na mikroorganizme [10]. Organski petrohemijski materijali sa ćelijskom strukturom imaju najveću emisiju CO₂ po kilogramu, dok najmanju emisiju CO₂ ima proizvodnja organskih obnovljivih vlaknastih materijala [9].

Na osnovu debljine termoizolacionog materijala, moguće je utvrditi ugljenični otisak po jedinici površine omotača. Ugljenični otisak je mera količine gasova sa efektom staklene bašte koje proizvodi pojedinac, organizacija ili aktivnost, a koji doprinose globalnom zagrevanju i klimatskim promenama [9]. Merjenje i smanjenje ugljeničnog otiska postaje sve važnije u borbi protiv klimatskih promena i održivom upravljanju resursa.



Slika 6 - Potrebna debljina i ugljenični otisak (po m² izolacionih materijala) za isti otpor toplotnom prolazu [9]

Građevinska industrija okreće se prirodnim materijalima. Vodi se računa o energetske efikasnosti i smanjenju zagađenja sredine, teži se ekološki prihvatljivim materijalima, a modernom tehnologijom usavršava ono što je u prošlosti davalo rezultate [9].

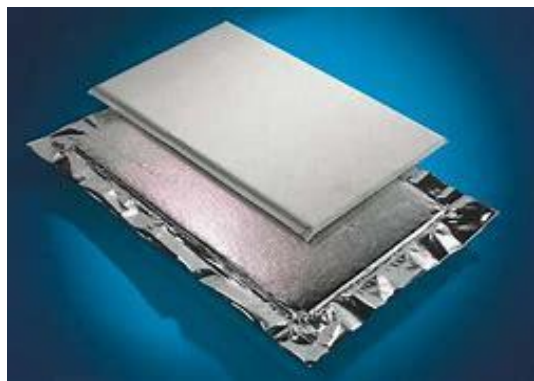
5. INOVATIVNI MATERIJALI

U poslednjoj deceniji, razvoj ekološki prihvatljivih proizvoda sa smanjenim uticajem na životnu sredinu

postao je prioritet u Evropskoj uniji [2]. Obeležavanje ekoloških proizvoda započelo je usvajanjem regulative EEZ br. 880/92 od strane Saveta EU 23. marta 1992. [11] Ekološke oznake se dodeljuju na osnovu jedinствених kriterijuma koji potvrđuju da proizvodi ne sadrže hlorofluorokarbonate (štetne za ozonski omotač), da su reciklabilni i energetske efikasni [11].

Prozirna izolacija je savremeni građevinski materijal koji objedinjuje funkcije termičke zaštite i tran-

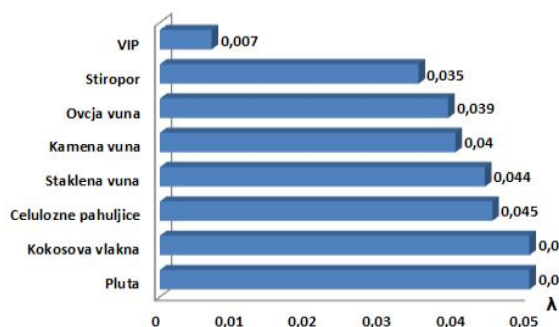
smisije sunčeve svetlosti. Omogućava ulazak sunčeve energije u objekat, poboljšavajući njegovu energetska efikasnost. Pored toga, deluje kao barijera za gubitke toplote, čime doprinosi uštedi energije i većem komforu. Najčešće se primenjuje u prozorima, staklenim fasadama, zimskim baštama i drugim arhitektonskim elementima gde je poželjna kombinacija prirodnog osvetljenja i izolacije.



Slika 7 - Vakuumska izolacija (VIP paneli) [11]

Vakuumska toplotna izolacija (VIP – Vacuum Insulation Panel) je visokoefikasna tehnologija koja koristi vakuum za značajno smanjenje prenosa toplote [11]. Paneli sadrže jezgro od materijala poput silike, staklenih vlakana ili poliuretanske pene, zatvoreno u hermetičku barijeru koja sprečava prodor vazduha i vlage. Prisustvo vakuuma minimizuje kondukciju i konvekciju, što VIP čini daleko efikasnijim od konvencionalnih izolacija. Ova tehnologija je posebno pogodna za energetska efikasne zgrade i primene koje zahtevaju visoke performanse uz minimalni prostor [11].

Gasni izolacioni materijali koriste zarobljene gasove za postizanje visokog nivoa toplotne izolacije. Među najpoznatijim vrstama su aerogeli i gasni izolacioni prozori [11]. Aerogeli su među najefikasnijim izolacionim materijalima – čvrste supstance koje sadrže do 99,8% vazduha, zbog čega su izuzetno lagani i odlični izolatori [11]. Odlikuju se niskom gustinom, visokom poroznošću i vrlo niskom toplotnom provodljivošću.



Slika 8 - Grafički prikaz poređenja koeficijenata toplotne provodljivosti izolacionih materijala [11]

Nano izolacioni materijali (NIM) imaju zatvorenu ili otvorenu nano poroznu strukturu i karakterišu se izrazito niskom toplotnom provodljivošću. [11]

Uobičajeno je mišljenje da izolacioni materijali imaju konstantnu toplotnu provodljivost, pa se smatraju statičnim. Međutim, savremeni dinamički izolacioni materijali (DIM) omogućavaju kontrolu provodljivosti kroz promenu koncentracije gasa unutar pora. [11]

Zaključno, napredni izolacioni materijali čine osnovu moderne gradnje, kombinujući efikasnost, održivost i estetsku vrednost. Njihov dalji razvoj može značajno unaprediti energetske performanse zgrada i smanjiti negativan uticaj na životnu sredinu.

6. RECIKLIRANI MATERIJALI

Građevinska industrija snažno utiče na životnu sredinu zbog velike potrošnje resursa, energije i visokih emisija ugljen-dioksida i otpada [9]. Ovaj sektor učestvuje u emisijama gasova sa efektom staklene bašte i do 40%, kada se uračuna i energija potrebna za održavanje zgrada [9]. Jedan od ključnih načina za smanjenje negativnog uticaja jeste korišćenje održivo proizvedenih i recikliranih materijala. Njihova primena smanjuje potrošnju prirodnih resursa i emisije, ali i količinu otpada na deponijama.

Za održiviju građevinsku praksu neophodne su sistemske mere koje podstiču reciklažu i korišćenje ekološki prihvatljivih materijala. Građevinska industrija ima ključnu ulogu u svakodnevnom životu – prosečan stanovnik SAD i Evrope provodi oko 90% vremena u objektima poput kuća, poslovnih prostora i infrastrukture (putevi, mostovi, tuneli) [9].

S obzirom na ekološke izazove, sektor mora preći na održivije prakse. Prema evropskoj direktivi iz 2008. godine, najmanje 70% građevinskog otpada mora biti reciklirano, ponovo upotrebljeno ili valorizovano do 2024. godine. [2] U Srbiji se reciklira manje od 5% građevinskog otpada. [5]

7. KOMPARATIVNA ANALIZA PRAVILNIKA O ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI ZGRADA U RAZLIČITIM ZEMLJAMA

U ovom radu izvršena je komparativna analiza zakonskih okvira i standarda termoizolacije u zemljama Balkana (Srbija, Crna Gora, Bosna i Hercegovina), Turskoj i nekim članicama Evropske unije. Upoređene su ključne regulative, tehnički zahtevi i nivo usklađenosti sa evropskim direktivama u cilju identifikacije sličnosti i razlika u pristupu energetska efikasnosti.

U Republici Srbiji proces uvođenja obavezne energetske sertifikacije zgrada realizuje se kroz:

- Pravilnik o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetske svojstvima zgrada i
- Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada. [10]

Cilj je smanjenje ukupne potrošnje energije, povećanje komfora korisnika i smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte.

Pravilnik propisuje maksimalno dozvoljene vrednosti koeficijenta prolaza toplote (U) za elemente građevinske konstrukcije [12]. U -vrednost, izražena u W/m^2K , predstavlja osnovni indikator količine toplote koja prolazi kroz element kao što su zidovi, krovovi, prozori i podovi. [5] U skladu sa standardom SRPS EN ISO 6946, proračun U -vrednosti za elemente jednostavne heterogenosti vrši se prema sledećoj formuli:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_m}{\lambda_m} + R_{se}}$$

U – ukupni koeficijent prolaza toplote [$W/m^2 \cdot K$]

R_{si} – unutrašnji površinski otpor toplotnom prolazu [$m^2 \cdot K/W$]

d_m – debljina m -tog sloja [m]

λ_m – toplotna provodljivost materijala m -tog sloja [$W/m \cdot K$]- R_{se} – spoljašnji površinski otpor toplotnom prolazu [$m^2 \cdot K/W$] [12].

Prema Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada Republike Srbije, maksimalno dozvoljene vrednosti koeficijenta prolaza toplote (U) za elemente termičkog omotača nove zgrade su: spoljni zidovi: $0,30 W/(m^2 \cdot K)$, ravni krovovi iznad grejanog prostora: $0,15 W/(m^2 \cdot K)$, kosi krovovi iznad grejanog prostora: $0,15 W/(m^2 \cdot K)$, prozori i balkonska vrata: $1,50 W/(m^2 \cdot K)$. [12].

U Crnoj Gori, prema Pravilniku o energetske efikasnosti zgrada i Pravilniku o minimalnim zahtevima energetske efikasnosti zgrada koje su donele nadležne institucije, propisane su maksimalne U -vrednosti (toplotne propusnosti) za građevinske elemente. [7]

U slučaju lakih spoljnjih građevinskih konstrukcija čija je površinska masa manja od $100 kg/m^2$, izloženih solarnom zračenju, koeficijent prolaza toplote mora biti:

- za zidove $U \leq 0,35 W/(m^2 \cdot K)$,
- za krovove $U \leq 0,30 W/(m^2 \cdot K)$. [7]

U slučaju da je prilikom izgradnje kuća u nizu (ili dvojnih zgrada) predviđena fazna izgradnja najveća dozvoljena vrednost koeficijenta prolaza toplote graničnih (kontaktnih) zidova u tom slučaju mora biti $U \leq 1,0 W/(m^2 \cdot K)$. Prilikom rekonstrukcije zgrade zahtevi iz stava 1 ovog člana ne primenjuju se za sledeće konstruktivne elemente: spoljne zidove koji imaju koeficijent prolaza toplote $U \leq 0,80 W/(m^2 \cdot K)$, staklene delove vetrobrana, krov, u slučaju da se postojeća hidroizolacija krova samo popravljaju odno-

sno da se ne izvodi novi hidroizolacioni sloj i pod na tlu i međuspratnu konstrukciju prema negrejanom delu zgrade ili spoljnjem prostoru koji se obnavlja ili dograđuje samo na strani grejane prostorije [7]. U Bosni i Hercegovini, regulativa vezana za energetske efikasnost zgrada obuhvata nekoliko ključnih dokumenata, među kojima su Pravilnik o sertifikovanju energetske karakteristika zgrada i Pravilnik o minimalnim zahtevima energetske efikasnosti zgrada [7].

Za zgradu koja se greje na temperaturu $18^\circ C$ ili veću, koeficijent prolaza toplote, $U [W/(m^2 \cdot K)]$ prozora, balkonskih vrata, krovnih prozora i drugih transparentnih površina u omotaču grejanog dela zgrade ne može biti veći od $1,60 W/(m^2 \cdot K)$. [7]

Za zgradu koja se greje na temperaturi većoj od $12^\circ C$, a manjoj od $18^\circ C$, koeficijent prolaza toplote, $U [W/(m^2 \cdot K)]$ prozora, krovnih prozora ili drugih transparentnih površina koje se ugrađuju u omotaču grejanog dela zgrade ne sme biti veći od $2,50 W/(m^2 \cdot K)$. Za zgradu koja se greje na temperaturi većoj od $12^\circ C$ koeficijent prolaza toplote, $U [W/(m^2 \cdot K)]$ spoljašnjih vrata sa netransparentnim vratnim krilom ne može biti veći od $2,60 W/(m^2 \cdot K)$ [7]. Uticaj toplotnih mostova kod proračuna godišnje potrebne toplotne energije za grejanje i koeficijent transmisijnog toplotnog gubitka po jedinici površine omotača grejanog dela zgrade definisani su prema standardima BAS EN ISO 13789:2005, BAS EN ISO 14683:2005, BAS EN ISO 10211-1:2005 i BAS EN 13370. [13]

Poslednjih decenija, Republika Turska je značajno intenzivirala aktivnosti u oblasti energetske efikasnosti, prepoznajući imperativ smanjenja potrošnje energije i emisije gasova sa efektom staklene bašte. Usled ubrzanog ekonomskog rasta i sve veće potražnje za energijom, energetska efikasnost postaje ključna komponenta strategije održivog razvoja i energetske sigurnosti.

Jedan od temeljnih zakonodavnih akata u ovoj oblasti jeste Zakon o energetske efikasnosti (Energy Efficiency Law – EEL), usvojen 2007. godine [7]. Ovaj zakon definiše osnovne principe i pravne mehanizme za unapređenje energetske efikasnosti u industrijskom sektoru, sektoru zgradarstva, saobraćaju i drugim relevantnim oblastima. U cilju operacionalizacije navedenih ciljeva, razvijen je i Nacionalni akcioni plan za energetske efikasnost (National Energy Efficiency Action Plan – NEEAP) za period 2017-2023, kojim su definisani konkretni ciljevi i mere za smanjenje ukupne energetske potrošnje. [7]

U skladu sa statusom zemlje kandidata za članstvo u Evropskoj uniji, Turska usklađuje svoje zakonodavstvo sa relevantnim evropskim direktivama, uključujući i one koje se odnose na energetske efikasnost u sektoru zgradarstva [2]. Poseban akcenat stavljen je na

korišćenje termoizolacionih materijala visoke energetske efikasnosti, koji poseduju nisku toplotnu pro-

vodljivost i zadovoljavaju kriterijume ekološke prihvatljivosti i održivosti.

Tabela 2. Dozvoljene vrednosti koeficijenta prolaza toplotne, U [$W/(m^2K)$] za različite klimatske zone [14]

TS825	ZID	PLAFON	POD	PROZOR
1	0,7	0,45	0,7	2,4
2	0,6	0,4	0,6	2,4
3	0,5	0,3	0,45	2,4
4	0,4	0,25	0,4	2,4

Važeći turski standard (TS 825) propisuje granične vrednosti koeficijenta prolaza toplote (U) radi minimizacije gubitaka toplotne energije, pri čemu se proračuni prenosa toplote vrše u stacionarnim uslovima. Međutim, rezultati teorijskih i empirijskih istraživanja sprovedenih u različitim klimatskim zonama Republike Turske ukazuju na činjenicu da ovakav metod ne obezbeđuje dovoljno preciznu procenu stvarnih toplotnih performansi zgrada. Ova ograničenja posebno su izražena u područjima sa suvom i toplom klimom, u kojima dominiraju kontinentalni klimatski faktori. Evropska unija raspolaže razvijenim pravnim okvirom i nizom regulativa koje se odnose na unapređenje energetske efikasnosti, sa osnovnim ciljevima smanjenja ukupne potrošnje energije, povećanja energetske sigurnosti, kao i smanjenja emisija gasova sa efektom staklene bašte [2]. U tom kontekstu, energetska efikasnost je prepoznata kao ključni element u ostvarivanju ciljeva definisanih Zelenim dogovorom (European Green Deal) i klimatskoenergetskim paketima.

Sve države članice Evropske unije integrisale su planove za poboljšanje energetske efikasnosti i promovisanje korišćenje obnovljivih izvora energije u svoje nacionalne strategije energetskog razvoja, kao i politike zaštite životne sredine. U skladu sa tim, implementirani su zakonodavni i institucionalni mehanizmi koji omogućavaju realizaciju navedenih ciljeva [2]. Jedan od ključnih instrumenata u ovoj oblasti je Direktiva o energetske efikasnosti (2012/27/EU), čiji je cilj da države članice sprovedu obavezne mere energetske efikasnosti, uključujući godišnje uštede energije, energetske revizije u velikim preduzećima, kao i

renoviranje javnih zgrada u skladu sa visokim energetske standardima. Revizijama i izmenama ove direktive (posebno u okviru Paketa „Spremni za 55%“) dodatno su pooštreni ciljevi, u cilju dostizanja klimatske neutralnosti do 2050. godine [2].

Evropska komisija nadgleda sprovođenje direktiva i pruža tehničku i finansijsku podršku državama članicama u njihovoj implementaciji, putem instrumenata kao što su Horizon Europe, LIFE program, kao i Mehanizam za oporavak i otpornost. Praćenje napretka vrši se kroz Nacionalne energetske i klimatske planove (NECP), koje sve države članice imaju obavezu da izrađuju i ažuriraju [2].

Važan indikator energetske efikasnosti u građevinskom sektoru jeste koeficijent toplotne provodljivosti (U), koji se koristi za kvantifikaciju toplotnih gubitaka kroz omotač zgrade [12]. Niže vrednosti U -koeficijenta označavaju bolja termoizolaciona svojstva i efikasnije očuvanje energije. Standardi koji regulišu maksimalne dozvoljene vrednosti ovog koeficijenta variraju među državama članicama, ali su generalno sve više harmonizovani u skladu sa zahtevima EU regulative [7].

Tabela koja sledi prikazuje uporedne vrednosti U -koeficijenata za različite građevinske elemente u nekoliko evropskih zemalja. Niže U -vrednosti znače bolju izolaciju, odnosno manji gubitak toplote, što direktno doprinosi smanjenju potrošnje energije i emisije CO_2 [7].

Ovakav pristup ukazuje na visok stepen integracije ciljeva energetske efikasnosti u šire okvire održivog razvoja i klimatske politike Evropske unije [2].

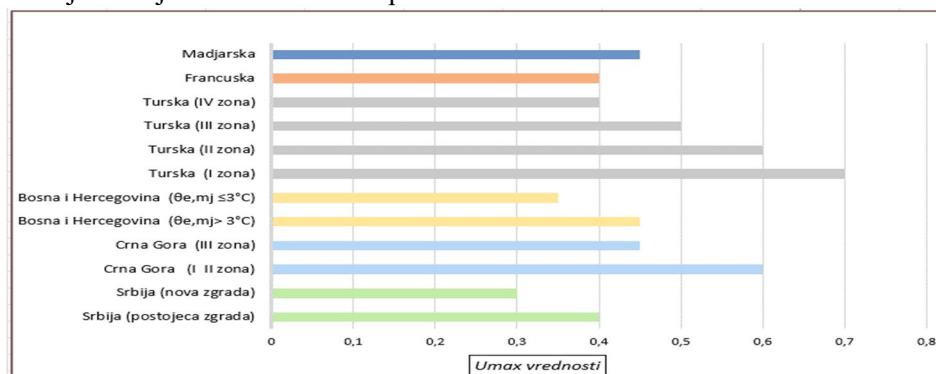
Tabela 3. Energetske norme u nekim zemljama Evrope- U vrednosti u $W/(m^2K)$ [12]

Zemlje EU	Zid	Krov	Pod
Rumunija	0,7	0,33	0,6
Bugarska	0,5	0,3	0,5
Mađarska	0,45	0,25	0,5
Francuska	0,4	0,25	0,36
Slovenija	0,15-0,60	0,15-0,25	0,25-0,45
Švajcarska	0,2-0,3	0,2-0,3	0,3-0,3

8. ANALIZA ZAKONSKI PROPISANIH U-VREDNOSTI GRAĐEVINSKIH ELEMENATA MEĐU DRŽAVAMA

Srbija (nova zgrada) [10] i Bosna i Hercegovina [7] ($\theta_{e,mj} \leq 3^\circ\text{C}$) imaju najniže U-vrednosti (oko 0,3 W/m²K), što ukazuje na najstrože zahteve za toplotnu

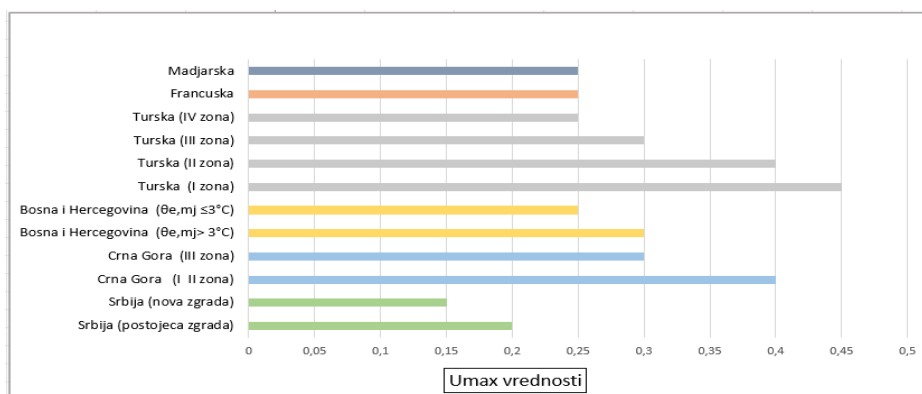
izolaciju spoljašnjih zidova. Zemlje sa umerenim standardima, poput Crne Gore (I i II zona), Bosne i Hercegovine ($\theta_{e,mj} > 3^\circ\text{C}$), Francuske i Mađarske, imaju U-vrednosti između 0,4 i 0,5 W/m²K. Turska, sa vrednostima između 0,5 i 0,7 W/m²K, ima najmanje stroge standarde, koji variraju zavisno od klimatske zone. [7]



Dijagram 1 - Usporedne vrednosti - koeficijenta prolaza toplote za spoljašnje zidove u različitim zemljama

Dijagram 2 jasno pokazuje varijacije u U-koeficijentima za ravne krovove među različitim zemljama. Srbija ima najniže vrednosti (~0,15-0,2), što ukazuje

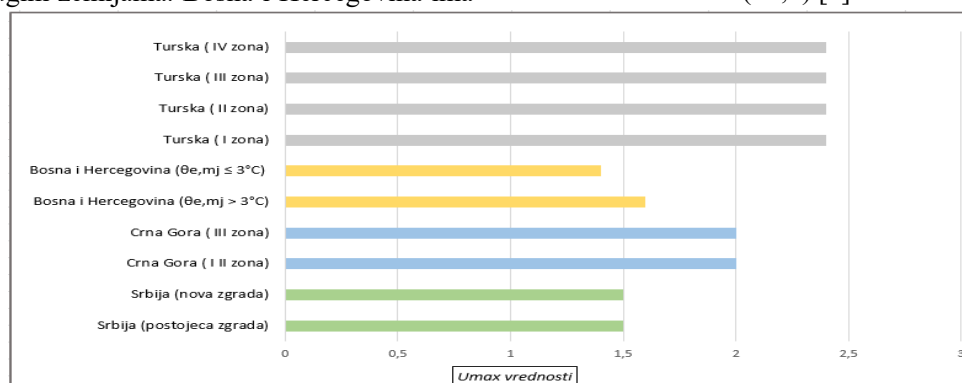
na visoku energetska efikasnost [2]. Crna Gora (I i II zona) i Turska (I zona) imaju najviše U-vrednosti (~0,4-0,45), što ukazuje na lošiju izolaciju [7].



Dijagram 2 - Usporedne vrednosti koeficijenta prolaza toplote za ravni krov u različitim zemljama

Na dijagramu 3 primećujemo da Turska ima najviše vrednosti U-koeficijenta klimatskim zonama (u svim svojim I, II, III i IV zona), koje se kreću oko ~2,5 [7]. Ovo ukazuje na slabiju izolaciju prozora u poređenju sa drugim zemljama. Bosna i Hercegovina ima

srednje vrednosti U-koeficijenta, sa nešto višim vrednostima za područja sa prosečnim spoljašnjim temperaturama višim od 3°C (~1,6), dok područja sa prosečnim spoljašnjim temperaturama manjim od 3°C imaju nešto niže vrednosti (~1,3) [7].



Dijagram 3 - Usporedne vrednosti koeficijenta prolaza toplote prozore u različitim zemljama

Crna Gora pokazuje nešto više vrednosti U-koeficijenta ($\sim 2,0$), što ukazuje na bolju izolaciju prozora u poređenju sa Turskom. Srbija ima još niže vrednosti ($\sim 1,5$), što ukazuje na bolju izolaciju u zgradama. Turska ima najlošiju izolaciju prozora prema prikazanim vrednostima U-koeficijenta, dok Bosna i Hercegovina ($\Theta_{e,mj} \leq 3^\circ\text{C}$) i Srbija imaju bolje izolacione karakteristike.

Zemlje Evropske unije postavljaju visoke standarde za U-vrednosti kako bi smanjila potrošnju energije i emisiju CO_2 , usklađujući se sa ciljevima održivog razvoja. Ovi standardi su definirani direktivama poput EPBD (Direktiva o energetske karakteristika zgrada) i regulirani nacionalnim zakonima.

Zemlje članice EU imaju detaljno razvijene propise o energetske efikasnosti koji su u skladu sa EPBD [2]. Maksimalne dozvoljene U-vrednosti se razlikuju između zemalja, ali su sve usmerene na postizanje objekata gotovo nulte energije (nZEB). Evropske države teže postizanju visoke energetske efikasnosti i većem korišćenju obnovljivih izvora energije.

9. ZAKLJUČAK

Razlike među državama u propisanim U-vrednostima ukazuju na različite nivoe svesti i spremnosti za energetske tranzicije. U tom kontekstu, primena prirodnih i inovativnih izolacionih materijala predstavlja ne samo tehnički izazov, već i priliku za unapređenje građevinske prakse.

Komparativna analiza zakonskih okvira i vrednosti koeficijenta prolaza toplote (U) u oblasti energetske efikasnosti zgrada pokazuje jasne razlike u nivou standardizacije i ambicioznosti među analiziranim zemljama.

Srbija i Bosna i Hercegovina izdvajaju se najstrožim zahtevima za spoljne zidove i krovove, sa U-vrednostima koje dostižu i do $0,15\text{--}0,30\text{ W/m}^2\text{K}$, što ukazuje na visok nivo usklađenosti sa savremenim evropskim standardima energetske efikasnosti. Crna Gora pokazuje nešto umerenije zahteve, dok Turska, još uvek primenjuje relativno više granične vrednosti U-koeficijenta, posebno u slučaju prozora (do $2,4\text{ W/m}^2\text{K}$), što ukazuje na nižu izolacionu efikasnost.

U okviru Evropske unije, primetan je jasan trend ka harmonizaciji zahteva, uz sve strože propise u skladu sa ciljevima Zelenog dogovora. Zemlje poput

Francuske, Mađarske i Slovenije već primenjuju vrlo niske U-vrednosti za sve građevinske elemente.

LITERATURA

- [1] Papadopoulos, A. M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77–86, 2005.
- [2] Todorovic M, *Priručnik za energetske sertifikacije zgrada (ESZ) - vodič za investitore, izvođače i projektante*, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2017.
- [3] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, *Službeni glasnik RS* broj 61/2011
- [4] Kuzmanović A, Ivanović R. *Sistem kontaktne fasade sa kamenom vunom*. Građevinska knjiga. Beograd, 2008.
- [5] Jordeva N. S, Istraživanje i razvoj termoizolacionog materijala od recikliranog otpada odevne industrije. Zbornik radova *XXIV Kongresa hemičara i tehnologa Makedonije*, Ohrid, Severna Makedonija, 2016.
- [6] Kuzmanović A, *Termoizolacioni materijali, Toplotna zaštita, Primeri primene*. Knauf insulation, 2011.
- [7] Pravilnik o minimalnim zahtevima energetske efikasnosti zgrada, *Službeni glasnik CG* broj 29/10
- [8] Jevtić D. *Termoizolacioni materijali na bazi polistirena*, 2017.
- [9] Končalović D, Živković D, Vukašinović V, Nikolić D, Gordić D. *Visoka energetska efikasnost, mali uticaj na životnu sredinu, pristupačnost: Analiza primene principa pasivne kuće u višestambenim zgradama u Srbiji*, Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 2019.
- [10] izolacija.rs
- [11] Министерство за животна средина и просторно планирање на Р. Македонија *Национален План за Управување со Отпад 2020 – 2030*.
- [12] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, *Službeni glasnik RS* broj 61/2011
- [13] Pravilnik o minimalnim zahtevima za energetske karakteristika zgrada BiH, *Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine*, 2019.
- Kalfaoglu Hatipoglu H, Cetin R, Hatipoglu A. Održivo stanovanje: Analiza energetske učinkovitosti u Turskoj u usporedbi s austrijskim građevinskim standardima. *Građevinar*, 2022.

SUMMARY

THERMAL INSULATION SYSTEMS WORLDWIDE AND IN OUR REGION

Thermal insulation is a key factor in energy-efficient and sustainable construction. It reduces heat loss, improves comfort, prevents condensation and mold, and contributes to lowering CO₂ emissions. Insulating materials are classified based on their technical, environmental, and health-related properties, with the thermal conductivity coefficient being the most important criterion. Mineral wool, expanded polystyrene (EPS), and extruded polystyrene (XPS) are the most commonly used materials, while natural materials offer better environmental characteristics. Innovations such as vacuum insulation panels (VIP), aerogels, and transparent insulation enable high performance with thin layers. This paper analyzes legal regulations and U-value (thermal transmittance coefficient) standards in Serbia, Montenegro, Bosnia and Herzegovina, Turkey, and the EU, aiming to improve insulation standards and reduce energy consumption.

Key Words: *thermal insulation, energy efficiency, thermal transmittance coefficient*