



## ENERGETSKA SANACIJA U CILJU POVEĆANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI NA PRIMERU STAMBENOG OBJEKTA U INDIJI

### ENERGY REHABILITATION OF A RESIDENTIAL BUILDING IN INDIJA WITH THE AIM OF INCREASING ENERGY EFFICIENCY

Zlata Marijanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

#### Oblast – ENERGETSKE TEHNOLOGIJE

**Kratik sadržaj** – Rad se sastoji iz dva dela, teorijskog i praktičnog. U teorijskom delu, obrađena je zakonska regulativa iz oblasti energetske efikasnosti u EU i Republici Srbiji, i mere za povećanje energetske efikasnosti, uključujući toplotnu izolaciju, zamenu stolarije, korišćenje energetske efikasne rasvete i obnovljivih izvora energije u stambenim zgradama. U praktičnom delu u softveru URSA urađen je proračun energetske efikasnosti za postojeće stanje stambenog objekta u Indiji, izvršena tehnno-ekonomska analiza različitih alternativa energetske sanacije, i po izboru i usvajanju najoptimalnije alternative, izvršena analiza zamene konvencionalnog sistema grejanja toplotnom pumpom.

**Ključne reči:** Energetska efikasnost, energetska sanacija, građevinska fizika, termički omotač

**Abstract** – The paper consists of two parts, theoretical and practical. In the theoretical part, legal regulations in the field of energy efficiency in the EU and the Republic of Serbia are analyzed, as well as measures with the aim of increasing energy efficiency, including thermal insulation, replacement of carpentry, use of energy-efficient lighting and renewable energy sources in residential buildings. In the practical part, using the URSA software, an energy efficiency calculation was made for the existing state of the residential building in India, as well as a techno-economic analysis of various energy rehabilitation alternatives. After the selection and adoption of the most optimal alternative, an analysis of the replacement of the conventional heating system with a heat pump was performed.

**Keywords:** Energy efficiency, energy rehabilitation, building physics, thermal envelope

#### 1. UVOD

Poslednjih godina sve je aktuelnija tema o potrebi za globalnom energetsom tranzicijom, kako zbog sve progresivnijih klimatskih promena, tako i zbog svetske ekonomske krize koja je istakla važnost koncepta održivog razvoja i energetske efikasnosti. Veliki deo postojećih ekoloških problema proističe iz potrošnje energije koju podstiču zgrade i aktivnosti u njima [1].

U Evropskoj uniji, sektor zgradarstva čini više od 40% ukupne potrošnje energije, te predstavlja područje sa najvećim potencijalom za intervencije i što brže delovanje [2]. Smanjenje potražnje za energijom u ovom sektoru važan je cilj, a glavnu ulogu u njegovom ostvarenju upravo ima energetska efikasnost, koja je prepoznata kao “novi energetska izvor“ koji bi bio rešenje za povećanje sigurnosti snabdevanja energijom i smanjenje uvozne zavisnosti.

#### 2. ZAKONSKA REGULATIVA

##### 2.1 Zakonska regulativa u Evropskoj Uniji

Kao sredstvo za rešavanje problema klimatskih promena, energetska efikasnost u zgradarstvu se sve više stavlja u fokus u politici zaštite životne sredine EU. Usvajanjem brojnih Direktiva postavljeni su minimalni standardi za sve zemlje članice u smislu unapređenja energetske efikasnosti u stambenim zgradama.

**Direktiva 2002/91/ES** predviđa nekoliko različitih mera za postizanje racionalnog korišćenja energetske izvora a to su: zajednička metodologija za proračun energetske karakteristika zgrada, primena minimalnih zahteva energetske efikasnosti za nove zgrade, primena minimalnih zahteva energetske efikasnosti za postojeće zgrade prilikom većih rekonstrukcija, energetska sertifikacija zgrada i redovne inspekcije kotlova i sistema za kondicioniranje vazduha u zgradama [3].

**Direktiva 2010/31/EU** predstavlja prekretnicu EU u oblasti smanjenja potrošnje energije u zgradarstvu, a propisuje da oglasi za iznajmljivanje i prodaju zgrada treba da uključuju energetske sertifikate o performansama zgrade, da je u državama EU potrebno uspostaviti univerzalnu šemu za inspekciju sistema grejanja i klimatizacije, kao i da sve nove javne i privatne zgrade od 2019. treba da budu zgrade sa približno nultim emisijama.

**Direktiva 2012/27/EU** - propisuje da su članice EU u obavezi da izvrše energetska efikasno renovirana najmanje 3% zgrada koje su u vlasništvu i zaposednute su od strane centralne Vlade, da bi Vlade zemalja članica EU trebalo da kupuju samo zgrade koje su visokog energetskeg razreda, kao i da države EU moraju izraditi dugoročne nacionalne strategije obnove.

**Direktiva 2018/844/EU** – dokument koji je proizašao iz revizije Direktive o energetske efikasnosti i Direktive o energetske performansama zgrada i njihovog usklađivanja sa novim Energetskim i klimatskim ciljevima za 2030.

#### NAPOMENA

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Aleksandar Anđelković, vanr. prof.

## 2.2 Zakonska regulativa u Republici Srbiji

Unapređenje energetske efikasnosti i implementacija obnovljivih izvora energije prepoznati su kao ključni elementi energetske politike radi obezbeđenja energetske bezbednosti naše države i održivog razvoja nacionalne energetike, i iz tog razloga usvojena su 4 Zakona:

**Zakon o efikasnom korišćenju energije** čiji je glavni cilj da se obezbedi i stimuliše racionalno i održivo korišćenje energije uspostavljanjem tržišta za usluge koje doprinose povećanju energetske efikasnosti [4].

**Zakon o planiranju i izgradnji** koji predstavlja instrument čijim posredstvom su prenete odredbe evropskih Direktiva iz oblasti racionalne upotrebe energije u naše zakonodavstvo i čijim su usvajanjem doneti novi Pravilnici o energetske efikasnosti zgrada i o uslovima, sadržini i načinu izdavanja sertifikata o energetskim svojstvima zgrada.

**Zakon o energetske efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije** uređuje uslove i način efikasnog korišćenja energenata i energije, propisuje mere politike energetske efikasnosti i reguliše podsticajne i druge mere u ovoj oblasti, sa ciljem ostvarivanja ušteda energije i povećanja sigurnosti snabdevanja energijom [5].

**Zakon o korišćenju obnovljivih izvora energije** Usvajanjem ovog Zakona, teži se ka tome da u Republici Srbiji do 2040. godine iz obnovljivih izvora dolazi najmanje 40 % energije.

## 3. MERE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADARSTVU

U cilju poboljšanja energetske razreda određenog objekta prilikom njegove sanacije, od velikog je značaja da se na ispravan način pristupi optimizaciji termotehničkih sistema u objektu kroz primenu različitih mera.

Na samom početku, potrebno je razmotriti grupu mera za poboljšanje karakteristika same zgrade, zatim analizirati mere za smanjenje toplotnih gubitaka pri proizvodnji i distribuciji toplote, a tek u finalnoj etapi analize razmotriti mere koje podrazumevaju zamenu opreme i uređaja za grejanje, klimatizaciju, osvetljenje itd. [6].

**Toplotna izolacija** je materijal ili kombinacija materijala koji usporavaju brzinu toplotnog toka kondukcijom, konvekcijom i zračenjem, što usporava protok toplote u ili iz zgrade zbog visokog toplotnog otpora. Ona daje glavni doprinos i predstavlja logičan prvi korak ka postizanju veće energetske efikasnosti.



Slika 1. Funkcija toplotne izolacije objekta [7]

Najpopularniji proizvodi za toplotnu izolaciju jesu veštački materijali. Proizvodi od mineralne vune čine oko 50-55%, a plastične pene oko 40-45% ukupne proizvodnje [8]. Pored njih takođe postoje i oni prirodnog porekla.

- **Prirodni termoizolacioni materijali** – Najzastupljeniji prirodni termoizolacioni materijali jesu ilovača, pluta, konoplja, lan, slama itd. Karakterišu ih dobre građevinske karakteristike kao što su regulisanje i zadržavanje vlage u prostoru i dobra akumulacija toplote, a takođe omogućavaju dobru zvučnu izolaciju u unutrašnjim prostorima i sprečavaju pojavu statičkog elektriciteta. Toplotna provodljivost iznosi oko 0,045 W/mK.

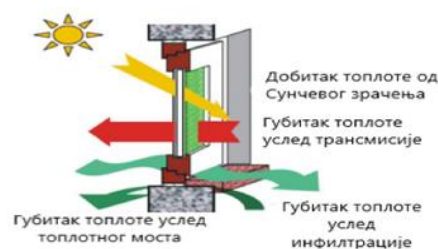


Slika 2. Blokovi od industrijske konoplje za termoizolaciju objekata [9]

- **Sintetički termoizolacioni materijali na bazi plastičnih masa** - Najčešće korišćeni materijali iz ove grupe su ekspanzirani polistiren (stiropor) i ekstrudirani polistiren (stirodur). Toplotna provodljivost ovih materijala se kreće u opsegu između 0,035 i 0,040 W/mK.
- **Termoizolacioni materijali mineralnog porekla** - U ovu grupu svrstavaju se staklena i kamena vuna. Staklena vuna sadrži kvarcni pesak, krečnjak, dolomit i 50-60% recikliranog stakla, a njena toplotna provodljivost iznosi 0,032-0,045 W/mK. Kamena vuna se proizvodi topljenjem krečnjaka i balzata, a njena toplotna provodljivost iznosi 0,035-0,04 W/mK [10].
- **Termoizolacioni betoni i malteri** - Malteri i betoni su pre svega konstrukcijski materijali, međutim oni poseduju i termoizolaciona svojstva. Laki izolacioni beton sa polistirenskim perlama ili ćelijasti laki beton pokazuju toplotnu provodljivost od svega 0,07 do 0,33 W/mK [11].

## Zamena prozora i vrata termički kvalitetnijim

Ukupni gubici kroz stolariju (Slika 3) iznose oko 50% toplotnih gubitaka zgrade, odakle proističe velika važnost njihovog pravilnog odabira prilikom energetske sanacije objekata. Neophodan je izbor stolarije sa što boljim termičkim performansama, odnosno što nižim koeficijentom prolaza toplote.



Slika 3. Toplotni dobici i gubici kroz stolariju [12]

Koeficijent prolaza toplote kod drvenih prozora zavisi od debljine prozorskog profila i vrste drveta, a kreće se u opsegu od 1,1 do 1,8 W/m<sup>2</sup> K, kod plastične stolarije

kreće se između 0,9 i 1,4 W/m<sup>2</sup> K, a kod aluminijumskih profila u rasponu od 1,5 do 3,2 W/m<sup>2</sup>K. Najoptimalnije rešenje jeste drvo-aluminijumska stolarija koja predstavlja spoj velike otpornosti aluminijuma i estetike i odlične toplotne izolacije drveta.

Kombinacijom ovih materijala postiže se odlična toplotna i zvučna izolacija, dobra stabilnost i izuzetno dug vek trajanja. Koeficijent prolaza toplote ovog tipa stolarije iznosi 0,7 W/m<sup>2</sup>K.

**Upotreba energetski efikasne rasvete** - Osvetljenje je odgovorno za približno 15% utrošene električne energije u domaćinstvima, zbog čega je sve veće interesovanje ljudi za energetski efikasnom rasvetom i sistemima za upravljanje osvetljenjem, čija je primarna uloga racionalizacija potrošnje električne energije.

Poslednjih godina masovno se promovise LED rasveta koju karakteriše mala snaga, usmereni svetlosni snopovi i mogućnost promene intenziteta i boje svetlosti, vek trajanja od oko 50000 radnih sati, te ušteda u potrošnji električne energije do 88%.

**Primena obnovljivih izvora energije i nekonvencionalnih sistema grejanja u stambenim objektima** - Kako sistemi grejanja značajno doprinose emisiji CO<sub>2</sub>, naophodna su značajna unapređenja na polju energetske efikasnosti u toj sferi, koja se mogu postići primenom efikasnih nekonvencionalnih tehnologija, kao što su različiti sistemi sa toplotnim pumpama, solarne termalne tehnologije i visokoefikasni kotlovi koji kao gorivo koriste biomasu,

Prema podacima iz 2015. godine, obnovljivi izvori energije u Evropi predstavljaju rastući udeo u ukupnoj potražnji za grejanje stambenih objekata.

#### 4. ENERGETSKA SANACIJA STAMBENOG OBJEKTA U INDIJI

##### 4.1 Tehnički opis

Stambeni objekat koji je tema ovog rada jeste porodična kuća koja se nalazi u Indiji. Prizemlje i potkrovlje su predviđeni kao dve zasebne stambene jedinice. Za vertikalnu komunikaciju između prizemlja i potkrovlja predviđeno je spoljno stepenište.

Dimenzije objekta u osnovi su 8,88 x 10,26 m, a neto površina objekta unutar termičkog omotača iznosi 142,08 m<sup>2</sup>.

Temeljni zidovi objekta izvedeni su od opeke u produženom malteru, a ukupna debljina konstrukcije iznosi 42 cm. Konstruktivni zidovi i pregrade izvedeni su od opeke u krečnom malteru, debljine 25 cm. Tavanica je izolovana polistirenskim pločama debljine 10 cm. Objekat se greje na gasni kotao stepena korisnosti 0,8, instalisane snage 24 kW.

##### 4.2 Građevinska fizika i alternative za sanaciju

Uz pomoć softverskog rešenja URSA Građevinska fizika za postojeće stanje objekta izrađen je Elaborat energetske efikasnosti.

Proračunom sumiranom u Tabeli 1. je zaključeno da postojeći objekat pripada energetskom razredu G i da ne zadovoljava energetske zahteve za postojeće objekte prema Pravilniku o energetskoj efikasnosti zgrada iz 2011. godine.

Tabela 1. *Godišnji proračun potrebne energije za grejanje objekta*

Koeficijent transmisionog gubitka toplote	440,15 W/K
Koeficijent ventilacionog gubitka toplote	135,08 W/K
God. potrebna en. za nadoknadu gubitaka toplote	34458,72 kWh
Godišnja količina energije koja potiče od unutrašnjih dobitaka toplote	1740,11 kWh
Godišnja količina en. koja potiče od dobitaka usled sunčevog zračenja	4458,76 kWh
Godišnja potrebna energija za grejanje	28259,8 kWh
Specifična godišnja potrebna energija za grejanje	198,9 kWh/m <sup>2</sup>
Energetski razred zgrade	<b>G</b>

Kao što se može zaključiti na osnovu rezultata proračuna, razmatrani objekat u postojećem stanju karakteriše neracionalno velika potrošnja energije za grejanje.

U cilju povećanja energetske efikasnosti objekta, analizirani su tehnički i finansijski benefiti 6 alternativa za energetske sanaciju, čiji je prikaz dat u Tabeli 2.

Tabela 2. *Alternative za energetske sanaciju*

Alternativa	Mera unapređenja en. efikasnosti
A1	Zamena postojeće stolarije sa PVC trokomornim prozorima i vratima, dvostruko zastakljenim, ispunjena vazduhom Uw= 1,8W/m <sup>2</sup> K
A2	Zamena postojeće stolarije sa PVC petokomornim prozorima i vratima, dvostruko niskoemisiono staklo, ispunjena argonom Uw= 1,3 W/m <sup>2</sup> K
A3	Izolacija sp. zidova polistirenskim pločama 5 cm λ=0,041 W/mK
A4	Izolacija sp. zidova polistirenskim pločama 10 cm λ=0,041 W/mK
A5	Izolacija sp. zidova polistirenskim pločama 10 cm + zamena postojeće stolarije PVC petokomornim prozorima, dvostruko niskoemisiono staklo, ispunjena argonom Uw= 1,3 W/m <sup>2</sup> K
A6	Izolacija sp. zidova polistirenskim pločama 10 cm+ zamena postojeće stolarije PVC trokomornim prozorima, dvostruko zastakljeni, ispunjena vazduhom Uw= 1,8 W/m <sup>2</sup> K

Rezultati proračuna troška energetske sanacije analiziranog stambenog objekta po alternativama, prikazani su grafički na Slici 4, dok su na Slici 5 prikazani rezultati tehničke analize, kojom je utvrđeno da bi primenom Alternative 5 bila ostvarena najveća ušteda godišnje specifične energije za grejanje, te da bi se energetskom sanacijom dostigao D energetski razred objekta.



Slika 4. *Trošak energetske sanacije po alternativama*



Slika 5. Specifična en. potrebna za grejanje prilikom primene različitih alternativa en. sanacije

Ipak, vrednost investicionih troškova energetske sanacije, kao ni specifična energija potrebna za grejanje objekta, ponaosob nisu pogodni indikatori u postupku izbora najoptimalnije alternative. Iz tog razloga, uveden je kriterijum koji u sebi inkorporira oba pokazatelja. Na taj način moguće je odrediti koeficijent energetske sanacije koji bi predstavljao relativni pokazatelj uštede energije po svakoj uloženoj novčanoj jedinici. Koeficijent energetske sanacije moguće je odrediti uz pomoć jednačine:

$$K_{EC} = \frac{Q_1 - Q_n}{T_n} \quad (1)$$

Gde je:

$K_{EC}$  [kWh/(€ god)] - koeficijent energetske sanacije

$Q_1$  [kWh/god] - godišnje potrebna en. za grejanje objekta za A1

$Q_n$  [kWh/god] - godišnje potrebna en. za grejanje objekta za i-tu alternativu

$T_n$  [€] - ukupni trošak en. sanacije za i-tu alternativu

Najveći koeficijent energetske sanacije, tj. najpozitivniji efekat odnosa ostvarene uštede godišnje potrebne energije i uloženi sredstava za energetske sanacije, karakteriše alternativu A3, te je izolacija spoljašnjih zidova polistirenskim pločama 5 cm najoptimalnije rešenje za energetske sanacije porodične kuće u Indiji.

## 5. ANALIZA ZAMENE KOTLOVSKE GREJNE INSTALACIJE TOPLOTNOM PUMPOM

Proračunom u softveru GeoT\*SOL utvrđeno je da bi postojeći sistem za grejanje, nakon usvajanja alternative A3 i smanjenja godišnje potrebne toplote za grejanje na 16807 kWh, mogao biti zamenjen toplotnom pumpom tipa zemlja-voda model TERRA SW Twin 35, kapaciteta grejanja 35,25 kW i COP 4,96. Tako bi se ostvarilo smanjenje cene toplotne energije i ona bi bila oko 1,5 puta manja u odnosu na slučaj pre termičke izolacije objekta i ugradnje savremenog sistema za grejanje. Pored toga, energetska sanacija bi kao benefit imala i smanjenje emisija CO<sub>2</sub> od 3,7 t/god.

Tabela 3. Troškovi sistema grejanja

	Investicioni troškovi	Eksploatacioni troškovi
Gasni kotao	1595 €	1387 €
Toplotna pumpa	9121 €	401 €

Uzimajući u obzir troškove nabavke izolacionog materijala, toplotne pumpe i potrebne opreme, njen

transport i dovođenje sistema u optimalne uslove rada i cenu energije i ljudskog rada sumirane u Tabeli 3, prost period otplate investicije iznosio bi 7,6 godina, nakon čega bi počelo ostvarivanje finansijske dobiti.

## 6. ZAKLJUČAK

Iz proračuna sprovedene integralne analize, zaključuje se da je najoptimalnija od razmatranih alternativa za energetske sanacije stambenog objekta termička izolacija spoljašnjih zidova polistirenskim pločama debljine 5cm, jer se tako uz minimalna ulaganja ostvaruje najveće smanjenje godišnje potrebne energije za grejanje. Analiza zamene postojećeg sistema grejanja toplotnom pumpom rezultirala je zaključkom da takva investicija ima kako finansijske, tako i ekološke benefite, te da je ovaj projekat u potpunosti tehnno-ekonomski opravdan.

## 7. LITERATURA

- [1] D. Ürge-Vorsatz, L. F. Cabeza, S. Serrano, "Heating and cooling energy trends and drivers in buildings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015., 41, 85-98
- [2] P. L. Simona, P. Spiru, I. V. Ion, "Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation", ScienceDirect, 2017., 128, 393-399
- [3] I. C. Korkut, "Building Energy Performance, Regulations and Certificates", Int'l Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engg., 2016., 3, 175-180
- [4] A. Solujić, "Zakon o efikasnom korišćenju energije-obaveze i podsticaji za unapređenje energetske efikasnosti", Polis, 2013., 6, 4-9
- [5] Zakon o energetskej efikasnosti i racionalnoj upotrebi energije ("Sl. glasnik RS", br. 40/2021)
- [6] M. Banjac, M. Todorović, F. Kulić, B. Živković, "Priručnik za energetske menadžere za oblast energetike zgrada", UNDP, Beograd, 2017.
- [7] <https://www.isowall.co.za/the-main-advantages-of-thermal-insulation/> Pristupljeno: 05.12.2021
- [8] D. Bozsaky, "The historical development of thermal insulation materials", Periodica polytechnica, 2010., 41, 49-56
- [9] <https://drvotehnika.info/clanci/konoplja-u-gradjevinarstvu> Pristupljeno: 05.12.2021.
- [10] R. T. Bynum, "Insulation Handbook", The McGraw-Hill Companies, New York, 2001.
- [11] N. F. Shahedan, M. M. Abdullah, N. Mahmed, "Review on thermal insulation performance in various type of concrete", Advanced Materials Engineering and Technology, 2017.
- [12] S. Kojić, "Procena stanja, energetska sanacija i revitalizacija glavne zgrade Kotekovor dvorca u Futogu", Zbornik radova FTN, 2020., 7, 1207-1210

### Kratka biografija:



Zlata Marijanović rođena je u Rumi 1997. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Energetskih tehnologija je odbranila 2022. godine.  
Kontakt:  
zlata.marijanovic@gmail.com