

VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA HIDROIZOLACIONOG SISTEMA KROVNE TERASE**MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF WATERPROOFING ROOF TERRACE SYSTEM**Andela Radojičić, Jasmina Dražić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj– U radu je prikazan postupak izbora optimalnog varijantnog rešenja hidroizolacije za zaštitu krovnih terasa od vlage i vode koja nije pod pritiskom na osnovu ekonomskih i tehničko-tehnološkog kriterijuma.

Ključne reči: krovne terase, hidroizolacija, troškovi, vreme, optimizacija (rangiranje)

Abstract – In this work, the procedure of choice the optimal alternative solution for waterproofing protection of roof terrace systems from moisture and water which is not under pressure on the basis of economic and technical-technological criteria is described.

Ključne reči: Roof terrace, hydroisolation, expences, time, optimisation

1. UVOD

Krov je gornji, završni deo konstrukcije, poznat po nazivu „peta fasada“ objekta. Krov štiti objekat od padavina, hladnoće, toplote i požara. Prema nagibu krovni ravni krovovi se dele na kose krovove i krovne terase. Krovne terase, specifičnije i komplikovanije za izvođenje, zahtevaju ozbiljan, stručan i iskustven pristup prilikom njihovog rešavanja.

Zaštita građevinskih objekata od vode i vlage poznata je pod nazivom hidroizolacija. Ona predstavlja različite tehničke postupke kojima štitimo delove objekta koji su privremeno ili stalno izloženi uticajima vode i vlage i to na način koji podrazumeva postavljanje vodonepropusne fizičke prepreke koja ima za cilj da spreči prodor vode i vlage u objekat.

Cilj ovog rada je da se za stambeni višeporodični objekat koji se nalazi na uglu Bulevara kralja Petra i ulice Vojvode Šupljikca, predloži najpovoljnije rešenje hidroizolacionog sistema, sa aspekta tehnoloških i ekonomskih kriterijuma, koji direktno utiču na samu izgradnju, ukupnih troškova izgradnje i vremena (roka izgradnje).

2. KROVNE TERASE

Krovna terasa je poslednja međuspratna konstrukcija u truplu zgrade, čiji položaj uslovljava dopunsku funkciju zaštite zgrade od atmosferilija (sneg, kisa), ali i prenosa toplote, odnosno hladnoće.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Jasmina Dražić, red. prof.

Upotrebom kvalitetnih materijala uz adekvatno izvođenje krovna terasa je ekonomična konstrukcija koja pruža znatno veće slobode u komponovanju volumena i prostora [1].

2.1. Tipovi krovnih terasa prema nameni

Prema osnovnoj nameni, načinu korišćenju projektovanog prostora zavisi i način zaštite, pa se krovne terase mogu izvoditi kao prohodne, neprohodne i krovne terase za razne druge namene.

Prohodnekrovne terase (slika 1), su one koje pored svoje osnovne funkcije, služe i u druge svrhe, kao terase za izlazak i boravak na njima, letnje bašte, prostor za igru, bioskope, restorane, prolaze i slično.



Slika 1. Prohodna krovna terasa

Neprohodnekrovne terase po kojima se hoda samo u izuzetnim situacijama, služe svojoj osnovnoj funkciji-zaštiti zgrade od spoljašnjih uticaja i nemaju druge funkcije kao prohodne krovne terase. Primer neprohodne krovne terase dat je na slici 2.



Slika 2. Neprohodna krovna terasa

Ravne krovne terase za druge i specijalne namene moraju biti pravilno projektovane i statički proračunate prema određenoj nameni da bi zadovoljile određenu funkciju. To su obično terase za grupisanje većeg broja ljudi, prostor za postavljanje i lagerovanje materijala ili mašina i uređaja, kranova za održavanje fasada, velikih reklama, travnjaka, bazena za kupanje, sletilišta i uzletilišta za helikopter i za druge slične namene [1].

3. HIDROIZOLACIONI MATERIJALI I SISTEMI

Hidroizolacioni materijali čine posebnu grupu građevinskih materijala za koje važe vrlo strogi zahtevi za kvalitet. To su materijali koji se ne smatraju za konstrukcijske, niti nosive, ali su hidroizolacioni materijali odgovorni za upotrebljivost i stanje konstrukcije, ugrađeni u objekte odnosno u sisteme konstrukcija, izloženi unutrašnjim i spoljašnjim uticajima kojima su izložene i konstrukcije [2]. Hidroizolacioni materijali se mogu podeliti na više načina. Podela je moguća prema: sirovinskoj osnovi, konzistenciji i načinu ugrađivanja.

Podela prema sirovinskoj osnovi je na:

- hidroizolacione materijale od bitumena i polimerbitumena u obliku premaza, namaza i traka,
- hidroizolacione materijale od sintetičkih smola u obliku traka – membrana i debeloslojnih premaza tj. bezšavnih membrana,
- hidroizolacione materijale tipa cementnih kompozicija u obliku premaza, vodonepropustljivih maltera i inekcionih masa.

Prema konzistenciji na:

- fleksibilne sisteme (plastični, plastoelastični i elastični), na bazi bitumenskih, polimerbitumenskih i sintetičkih materijala,
- krute sisteme (cementne kompozicije koje vezu sa podlogom ostvaruju fizički prijanjanjem za podlogu ili penetrirajući u podlogu).

Prema načinu ugrađivanja na:

- višeslojne fleksibilne sisteme od bitumenskih i polimer bitumenskih traka koji se izvode na dva načina:
 - ugrađivanjem traka po „toplom“ postupku,
 - ugrađivanjem traka po „hladnom“ postupku,
- bitumenski premazi, namazi, paste, koje se izvode premazivanjem,
- sistemi od sintetičkih/elastomernih traka koji se po pravilu izvode kao jednoslojni sistemi,
- tečne sintetičke bezšavne membrane, koje se primenjuju po hladnom postupku, premazivanjem ili prskanjem,
- kruti sistemi od cementnih kompozicija koji se izvode u više slojeva po hladnom postupku.

3.1. Materijali za hidroizolacione sisteme

Materijali za hidroizolacione sisteme su grupisani u:

- ugljovodonične hidroizolacione materijale,
- sintetičke hidroizolacione materijale,
- neorganske hidroizolacione materijale.

U ugljovodonične hidroizolacione materijale spadaju svi materijali kod kojih je osnovna komponenta bitumen. Primenjuju se kao namazi bez ikakvih dodataka ili fabrički prerađeni kombinovani sa različitim materijalima u vidu premaza, namaza i traka (bitumenske i polimerbitumenske trake sa različitim ulošcima).

Sintetički hidroizolacioni materijali predstavljaju fleksibilne fabričke proizvode koji mogu biti u vidu membrana debljine od 1mm do 3mm, folije debljine do 1mm, kao i razni premazi, namazi i paste.

Neorganski hidroizolacioni materijali podrazumevaju proizvode koji pored osnovnog hidroizolacionog veziva sadrže i razne mineralne materijale i hemijski aktivna sredstva za zaptivanje [2].

3.2. Hidroizolacija delova objekta direktno izloženih atmosferskim vodama

U izvođenju hidroizolacije krovnih terasa još uvek se daje prednost polimerbitumen trakama u odnosu na hidroizolacije sa sintetičkim i elastomernim trakama. Glavni elementi za izbor hidroizolacije i načina izvođenja su vrsta i kvalitet konstrukcijske ploče, nagib krovne ravni, vrsta i broj detalja (koji trebaju da budu vodonepropustljivo obrađeni u sastavu osnovne hidroizolacije). Dalje je bitna trajnost odabranih materijala, dimenzionisanje sistema hidroizolacije, kao i sistem zaštite u zavisnosti od eksploatacionih zahteva i klimatskih uslova [2].

4. TEHNOLOŠKA ANALIZA HIDROIZOLACIONIH SISTEMA (MATERIJALA) ZA KROVNE TERASE

U ovom radu rešen je problem izbora optimalnog hidroizolacionog sistema neprohodnih krovnih terasa. Ukupna površina koja treba da bude hidroizolovana je 217,93 m². Postupak vrednovanja se vrši samo na izboru hidroizolacionog sistema.

4.1. Varijantna rešenja

Na osnovu opisa različitih sistema (materijala) koji se primenjuju za hidroizolaciju krovnih terasa, za dalju analizu izabrana su tri varijantna rešenja:

- VARIJANTA 1- Elastomer bitumenske trake KONDOR P-4,
- VARIJANTA 2- Poliazbitol,
- VARIJANTA 3- Sikalastic 612.

VARIJANTA 1- Elastomer bitumenske trake KONDOR P-4, je hidroizolaciona traka sa uloškom od polieterskog filca koji je sa obe strane obložen plastomernim bitumenom i zaštićen polietilenskom folijom. Upotrebljava se za pokrivanje krovnih terasa, a takođe i za najzahtevnije vertikalne i horizontalne hidroizolacije podzemnih delova objekata koji su izloženi pritisku vode. Traka se isporučuje u rolnama dužine 10 m, širine 1m i ugrađuje se varenjem sa preklapom. Na slici 3 prikazano je postavljanje kondora P-4.



Slika 3. Postavljanje trake Kondora P-4

VARIJANTA 2- Poliazbitol je jednokomponentna elastomer bitumenska pasta za hladan postupak koja sadrži organski rastvarač. Odgovara zahtevima standarda, a upotrebljava se u isporučenom stanju bez zagrevanja.

Poliabzitol je zapaljiv i zato je potrebno poštovati propise predviđene za rad sa zapaljivim materijama. U sebi sadrži vise od 40% bitumena, a manje od 40% punila. Postojan je na temperaturi nižoj od -20°C i višoj od +100°C i treba da je vodonepropustljiv najmanje 8 sati. Isporučuje se u metalnim pakovanjima od po 22 kg.

VARIJANTA 3- Sikalastic 612 je jednokomponentni, hladni, poliuretanski premaz koji se veže sa vlagom iz vazduha stvarajući bešavni i trajni hidroizolacioni sastav za neprohodne krovne terase (slika 4). U slučaju betonske podloge, što je u ovom radu slučaj, novi beton mora biti najmanje 28 dana star i mora imati čvrstoću veću ili jednaku 1,5 N/mm². Beton mora biti adekvatno obrađen, po mogućnosti drvenom gladilicom ili metalnom letvom.



Slika 4. Nanošenje Sikalastic premaza

4.2. Kriterijumi vrednovanja

Kriterijumi na osnovu kojih su vrednovana varijantna rešenja su ekonomsko-finansijskog i tehničko-tehnološkog karaktera:

- troškovi materijala,
- troškovi rada,
- ukupni troškovi,
- vreme potrebno za postavljanje hidroizolacije.

Troškovi materijala obuhvataju troškove materijala i troškove prevoza do gradilišta. Za proračun su uzeti podaci dobijeni od strane proizvođača. Troškovi materijala su prikazani u tabeli broj 1.

Tabela 1. Troškovi materijala

VARIJANTA	Troškovi materijala (din)	
	Za 1 m ²	Za ceo objekat
VARIJANTA 1	726,2	158260,8
VARIJANTA 2	518,7	113040,3
VARIJANTA 3	3230	703913,9

Troškovi rada hidroizolacije obuhvataju troškovi radne snage. Specifikacija radne snage prati aktivnosti potrebne za izvođenje hidroizolacije. Za analizu su korišćeni normativi u građevinarstvu. Za slučajeve koji se ne nalaze u normativima iskorišćeni su iskustveni podaci izvođača radova. Troškovi rada su prikazani u tabeli broj 2.

Tabela 2. Troškovi rada

VARIJANTA	Troškovi rada (din)	
	Za 1 m ²	Za ceo objekat
VARIJANTA 1	54,43	11863,2
VARIJANTA 2	81,166	17688,5
VARIJANTA 3	71,086	15491,8

Ukupni troškovi su izračunati na osnovu troškova materijala, troškova rada i faktora opštih troškova koji ima vrednost 4.0 [3]. Ukupni troškovi prikazani su u tabeli broj 3.

Tabela 3. Ukupni troškovi

VARIJANTA	Ukupni troškovi rada (din)	
	Za 1 m ²	Za ceo objekat
VARIJANTA 1	998,38	217526,8
VARIJANTA 2	924,53	201482,8
VARIJANTA 3	3585,43	781372,9

Vreme potrebno za postavljanje hidroizolacije izračunato je na osnovu građevinskih normativa, po grupama radnika. U tabeli broj 4, je prikazano vreme i broj radnika, po kategorijama, potrebnih za postavljanje hidroizolacije.

Tabela 4. Vreme potrebno za postavljanje hidroizolacije

Broj radnika po grupama		V1	V2	V3
		VI	2	2
IV		2	2	2
	II	4	5	4
Ukupno vreme (h)		47,06	67,48	58,74
Dana		1	1	1

5. METODE I IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA

Za izbor najpovoljnije varijante hidroizolacionog sistema u ovom radu, primenjena su dva postupka (metode), metoda rangiranja i metoda višekriterijumske optimizacije.

Na osnovu podataka o tehnološkoj analizi varijanti hidroizolacionog sistema, moguće je rangirana osnovu definisanih kriterijumima. U tabeli broj 5, je prikazano rangiranje prema svim kriterijumima.

Tabela 5. Rangiranje prema svim kriterijumima

VARIJANTA	RANG po troškovima materijala	RANG po troškovima rada	RANG po ukupnim troškovima	RANG po ukupnom vremenu
Var.1	2	1	2	1
Var.2	1	3	1	3
Var.3	3	2	3	2

Rezultati analiza pokazuju:

- Na osnovu troškova materijala najpovoljnija je varijanta 2.
- Na osnovu troškova rada najpovoljnija je varijanta 1.
- Na osnovu ukupnih troškova najpovoljnija je varijanta 2.
- Na osnovu vremena potrebnog za ugrađivanje (izrada) hidroizolacije najpovoljnija je varijanta 1.

Kako rezultati rangiranja po ukupnim troškovima prednost daju varijanti 2, a vreme ugrađivanja varijanti 1, za konačan izbor najpovoljnijeg tipa hidroizolacije primenjena je i metoda višekriterijumske optimizacije. U tabeli 6, prikazani su ulazni podaci za optimizaciju. Problem optimizacije je modeliran, za tri varijante i dvékriterijumske funkcije, u obliku:

$$\min F(x) = \min (f_1, f_2) \quad (1)$$

gde su:

f_1 - ukupni troškovi izrade hidroizolacije (din/m²)

f_2 - potrebno vreme za izvođenje hidroizolacije (h).

Tabela6. Ulazni podaci

kr. fun/var.	VAR.1	VAR.2	VAR.3
f_1	998,150	924,530	3585,431
f_2	47,06	67,48	58,74

Redosledi varijantnih rešenja primenom metode kompromisnog programiranja i metode višekriterijumskog kompromisnog rangiranja, prikazani su tabelarno (od tabele 7 do tabele 10).

Tabela 7. Metoda kompromisnog programiranja-rešenje je najbolje po svim kriterijumima posmatranim zajedno

var.rešenja	VAR.1	VAR.2	VAR.3
redosled	1	2	3

Tabela 8. Metoda kompromisnog programiranja-rešenje je geometrijski najbliže idealnoj tački

var.rešenja	VAR.1	VAR.2	VAR.3
redosled	1	2	3

Tabela 9. Metoda kompromisnog programiranja-prioritet je dat kriterijumu sa najvećim odstupanjem

var.rešenja	VAR.1	VAR.2	VAR.3
redosled	1	2	3

Tabela 10. Metoda kompromisnog rangiranja

var.rešenja	VAR.1	VAR.2	VAR.3
redosled	1	2	3
v1=0.0	1	2	3
v1=0.3	1	2	3
v1=0.6	1	2	3
v1=0.9	1	2	3
v1=1.0	1	2	3

Rangiranje na osnovu ova dva kriterijuma (ukupnih troškova i vremena ugradnje), i konačna rang lista prikazano je u tabeli 11.

Tabela 11. Konačna rang lista

VARIJAN.	RANG po ukupnim troškovima	RANG po ukupnom vremenu	ZBIR	KONAČNA RANG LISTA
VAR.1	2	1	3	1
VAR.2	1	3	4	2
VAR.3	3	2	5	3

Kako obe metode, metoda rangiranja i metoda višekriterijumske optimizacije, prednost daju varijanti 1, hidroizolacioni sistem tipa Kondor P-4, može se predložiti kao najpovoljnija (optimalna) varijanta za izvođenje neprohodne krovne terase višeporodičnog stambenog objekta na uglu Bulevara Kralja Petra I i ulice Vojvode Šupljikca.

5. ZAKLJUČAK

Predmet ovog rada bila je zaštite krovnih terasa od vlage i vode, koja nije pod pritiskom i izbor optimalnog hidroizolacionog sistema. Dat je pregled tipova krovnih terasa, opisane su karakteristike hidroizolacionih materijala i prikazana je podela hidroizolacionih materijala i sistema.

Za izbor optimalnog tipa hidroizolacije usvojena su tri varijantna rešenja: VARIJANTA 1- Kondor P-4, VARIJANTA 2- Poliazbitol i VARIJANTA 3- Sikalastic 612 hidroizolacioni premaz. Definisana su četiri kriterijuma. Prva tri kriterijuma su ekonomski kriterijumi, dok je četvrti kriterijum tehničko-tehnološkog karaktera. Definisani kriterijumi su: troškovi materijala, troškovi rada, ukupni troškovi i vreme potrebno za postavljanje hidroizolacije.

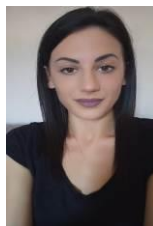
Za sve tri varijante u radu su opisani postupci izvođenja hidroizolacije, izračunati troškovi materijala i rada, ukupni troškovi i utvrđeno je potrebno vreme za postavljanje hidroizolacije.

Izbor najpovoljnije varijante urađen je po dve metode, metodom rangiranja i metodom višekriterijumske optimizacije, na osnovu dva primarna pokazatelja: ukupnih troškova i potrebnog vremena za izvođenje hidroizolacije. Na osnovu izlaznih rezultata obe metode, predložena je najpovoljnija varijanta za izvođenje neprohodne krovne terase višeporodičnog stambenog objekta na uglu Bulevara Kralja Petra I i ulice Vojvode Šupljikca, VARIJANTA 1 - Kondor P-4, hidroizolaciona traka sa uloškom od polieterskog filca, koja je sa obe strane obložena plastomernim bitumenom i zaštićena polietilenskom folijom.

6. LITERATURA

- [1] Milić, B.: „Elementi i konstrukcije zgrada“ II deo, Univerzitet u Podgorici, Podgorica, 1999.
- [2] Todorović, M., Bogner, M., Denić, N.: “O izolaciji”, Beograd, 2012.
- [3] Trivunić, M., Matijević, Z.: “Tehnologija i organizacija građenja” - praktikum, Novi Sad, 2009.

Kratka biografija:



Andela Radojičić rođena je u Vrbasu 1992. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Organizacija i tehnologija građenja odbranila je 2018. god.



Jasmina Dražić rođena je u Novom Miloševu 1958. godine. Doktorirala je na Fakultetu tehničkih nauka 2005. godine, a od 2015. god. je u zvanju redovnog profesora. Oblast Zgradarstvo – građevinske konstrukcije i tehnologije.