

# TERMIČKA FUNKCIJA TAVANA

## THERMAL FUNCTION OF AN ATTIC

NENAD MILORADOVIĆ,  
JKP „Beogradske elektrane“, Beograd, i  
MILA PUCAR,  
Institut za arhitekturu i urbanizam, Beograd

*Tavan je, sa termičkog aspekta, negrejani prostor koji odvaja korisni unutrašnji zagrejani prostor od krovne površine preko koje se vrši razmena toplote sa okolinom. Time se uviđa sličnost bioklimatskih principa gradnje negrejanog tavanskog prostora sa zgradama sa dvostrukim omotačem ili tipom objekata „kuća u kući“. Geometrijski oblik tavana, nagib krova i kvalitet ugrađene termoizolacije utiču na energetske efikasnost objekta kao celine. Tradicionalna arhitektura, koja ima tavan kao negrejani prostor i kosi krov sa nadstrešnicama, energetski je efikasnija od zgrada sa ravnim krovom i u letnjem i u zimskom periodu. Osim toga, kosi krovovi sa približno južnom orijentacijom omogućuju integrisanu ugradnju prijemnika sunčeve energije, a postavljanje otvorenog ekspanzionog suda na tavanu omogućuje lakše održavanje instalacija za grejanje.*

*From the thermal aspect, an attic is a non-heated space that divides the useful indoor heated area from the roof surface, through which the heat exchange with the environment takes place. There is a similarity between the bioclimatic principles of constructing non-heated attic and buildings with double envelopes or “a house within a house” type of buildings. The geometrical shape of an attic, roof slope and thermal insulation quality have an effect on energy efficiency of a building as a whole. Traditional buildings, with an attic as a non-heated space and slanting roof with eaves, is more energy efficient than the buildings with flat roof, both during summer and winter. Additionally, a slanting roof with approximate south orientation enables the integrated installation of solar collectors and an open expansion vessel on the attic enables easier maintenance of the heating installations.*

**Ključne reči:** tavan; kompaktnost oblika zgrade; prijemnik sunčeve energije; otvoreni ekspanzioni sud

**Key words:** attic; building shape compactness; solar energy collector; open expansion vessel

## Uvod

Tradicionalne kuće u našim klimatskim predelima po pravilu imaju kosi krov. Postoje kuće sa krovovima različitih nagiba koje su na dve ili četiri vode. Osnovni razlog pravljenja ovakvog tipa kuća je zaštita od atmosferskih padavina: odvod vode sa krova posle kiša, ili što manje zadržavanje snega [1], a „krov treba dobro da štiti i od vrućine i od hladnoće“ [2]. U tradicionalnim kućama prostor ispod krova, a iznad stambenog dela – tavan – koristio se kao magacinski prostor i nije bio grejan.

U novije vreme svedoci smo nadzidivanja kuća i korišćenja potkrovlja za stanovanje, a tavanske prostorije se zagrevaju. Nedostatak stambenog prostora uslovio je da su mnoge tavanske prostorije adaptirane i sada se koriste za stanovanje. Dozidivanjem objekta i povećavanjem grejne površine raste ukupna potrošnja energije, ali zbog toga što su veći objekti po pravilu efikasniji od manjih, specifična potrošnja energije (svedena na  $m^2$  ili  $m^3$  stambenog prostora) smanjuje se u zavisnosti od veličine i oblika objekta. Osim toga, na ovaj način, dobija se korisna površina, koja se uglavnom koristi kao stambena.

Tavan, kao negrejani prostor, može da posluži kao tampon zona između korisnog stambenog prostora i klimatskog okruženja. Na taj način se smanjuje razmena toplote sa okolinom, kako zimi, tako i leti. Tokom zimskih meseci toplotni gubici kroz krovne površine su izraziti, dok je u letnjem periodu ravan krov najizloženiji dobicima od sunčevog zračenja i doprinosi da stanovi na poslednjoj etaži budu veoma toplotno opterećeni. Ova izloženost krova sunčevom zračenju može se iskoristiti za postavljanje termalnih prijemnika sunčevog zračenja, kako bi se ta toplota iskoristila za pripremu potrošne tople vode ili za grejanje, kao i za pretvaranje u električnu energiju (PV sistemi).

### Geometrijski oblik tavana i nagib krova

Osnova tavana je istog oblika kao i osnova kuće. U analizi ćemo pretpostaviti kvadratnu osnovu, pošto je kvadrat četvorougao koji ima najmanji odnos obima prema površini. Posmatrano trodimenzionalno – to je oblik kocke. U praksi postoje različiti oblici osnova zgrade.

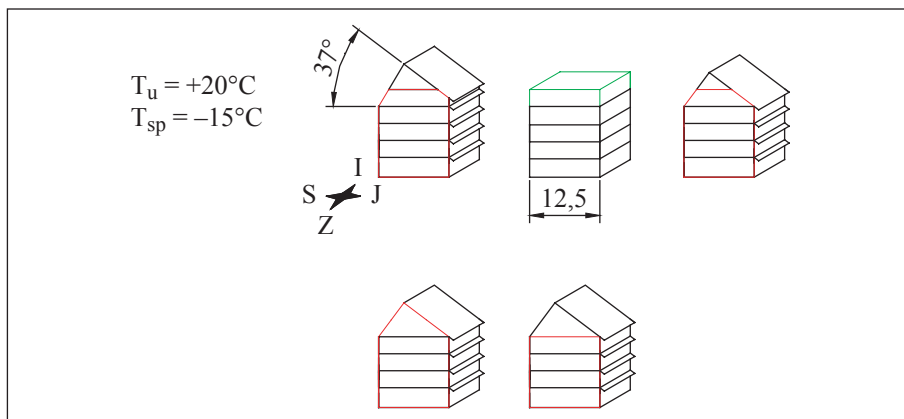
Ukoliko dozidamo potkrovlje, ono povećava ukupnu zapreminu prostora koji se greje. Pošto su veći objekti efikasniji od manjih, dozidivanje povoljno utiče na energetska efikasnost objekta kao celine. Odnos površine prema zapremini se smanjuje srazmerno povećanju linearnih dimenzija:

$$\frac{P}{V} = \frac{[m^2]}{[m^3]} = \frac{1}{[m]}. \quad (1)$$

Nadzidani deo kuće uglavnom je pljosnatog oblika (oblik velike površine osnove i male visine), pošto se nad relativno velikom površinom doziduje jedan sprat visine oko 3 metra. Kompaktnost oblika nadzidanog dela treba da doprinese kompaktnosti oblika celog objekta i smanji odnos  $P/V$ .

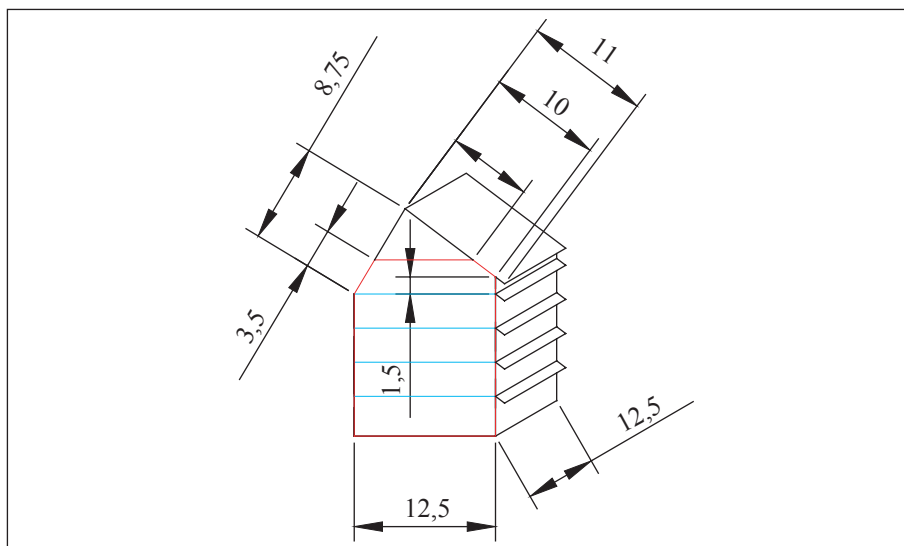
U analizi je izvršeno poređenje nekoliko različitih oblika: to su varijante sa ravnim horizontalnim krovom ili asimetričnim kosim krovom čija je južna strana veća od severne. Povećanje južne strane krova predloženo je u cilju maksimizacije povr-

šine za postavljanje prijemnika sunčeve energije. Zbog toga je usvojen nagib južnog krova od 37°. Ovaj ugao može biti i drugačiji, s obzirom na to da li bi ugrađeni prijemnici sunčeve energije bili termalni ili fotonaponski, a ugao zavisi i od geografske širine lokacije. Takođe u razmatranje treba uzeti i u kojem bi se sezonskom periodu koristila sunčeva energija i u koje svrhe, zatim kojom vrstom materijala se pokriva krov, da li je u pitanju crep, tegola, lim, leksan ili dr. jer svaki od ovih materijala ima specifične zahteve u pogledu nagiba.



Slika 1. Različite varijante nadzidanih kuća

Na slici 1 linijom je omeđen prostor koji se greje. Treba primetiti da *postoji razlika između gabarita objekta i gabarita zone ugodnosti* – prostora koji se zagreva. U pojedinim varijantama postoji negrejani tavanski prostor, a njegova usvojena tem-



Slika 2. Dimenzije kosog krova

peratura u analizi je  $T_{\text{tavan}} = -6^{\circ}\text{C}$  (vrednost koja zavisi od kvaliteta ugrađene krovne termoizolacije. U literaturi [3] ovu vrednost možemo naći za spoljnu projektnu temperaturu  $T_{\text{sp}} = -15^{\circ}\text{C}$  i  $k < 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

Analizirana veličina objekta je referentna kocka stranice  $a = 12,5 \text{ m}$ . Potkrovlje može biti dozidano tako da nagib krova počinje još od nivoa poda potkrovlja ili od visine 1,5 m od nivoa poda potkrovlja. Dimenzije potkrovlja u drugom slučaju prikazane su na slici 2. U analizi je pretpostavljena unutrašnja temperatura  $T_u = +20^{\circ}\text{C}$ , spoljna projektna temperatura  $T_{\text{sp}} = -15^{\circ}\text{C}$ , a temperatura tla  $T_{\text{tlo}} = +6^{\circ}$ .

Prilikom proračuna pretpostavljen je srednji koeficijent prolaza toplote  $k$  za celu zgradu. U praksi to nije tako, ali uprošćuje analizu, jer se posmatraju samo različiti gabariti objekata. Poređenje veličine toplotnih gubitaka, kao i procenti uštede za različite varijante dati su u tabeli 1. ***Najveće uštede se ostvaruju ukoliko se dozida kos krov čiji je gornji deo tavanski prostor koji se ne greje.*** Procenjena efikasnost je tada 10%–15% veća u poređenju sa objektom oblika kocke bez nadzidivanja. Treba napomenuti da ove vrednosti uštede zavise od veličine i oblika objekta, kao i od konstrukcionog stanja objekta i klimatskih uslova.

Tabela 1. Rezultati poređenja različitih varijanti

	4 sprata – ravan krov	5 spratova – ravan krov	4 sprata + negrejan tavan	4 sprata + ceo grejan tavan	4 sprata + potkrovlje sa tavanom	4 sprata + više potkrovlje sa tavanom
P poda [m <sup>2</sup> ]	625,000	781,250	625,000	781,250	781,250	781,250
% povećanja P poda	0,000	25,000	0,000	25,000	25,000	25,000
P grejanog omotača [m <sup>2</sup> ]	937,500	1087,500	937,500	1075,000	968,750	983,750
V korisno [m <sup>3</sup> ]	1953,125	2421,875	1953,125	2421,875	2315,234	2369,375
% povećanja V korisno	0,000	24,000	0,000	24,000	18,540	21,312
P grejanog omotača / V korisno [1/m]	0,480	0,449	0,480	0,444	0,418	0,415
ušteda % P grejanog omotača / V korisno	0,000	6,897	0,000	8,140	14,716	15,609
Q/k [m <sup>2</sup> ·K]	29531,250	34781,250	28125,000	34343,750	31890,625	32502,250
% povećanja Q/k	0,000	17,778	-4,762	16,296	7,989	10,061
Q/k*P poda [1/m <sup>2</sup> ]	47,250	44,520	45,000	43,960	40,820	41,603
Q/k*V korisno [1/m <sup>3</sup> ]	15,120	14,361	14,400	14,181	13,774	13,718
ušteda % Q/k*P poda	0,000	6,132	5,000	7,484	15,752	13,574
ušteda % Q/k*V korisno	0,000	5,283	5,000	6,624	9,770	10,223

## Raspored prozora u potkrovlju

Krov je veoma izložen dobicima od sunčevog zračenja. To je naročito izraženo u letnjem periodu. Da bi se dobili komforni uslovi stanovanja u potkrovlju, potreb-

no je da raspored, veličina i orijentacija prozorskih otvora budu u funkciji ostvarivanja termičkih uslova ugodnosti.

Tokom zime najveće potrebe za grejanjem su u jutarnjim časovima. Sunčevo zračenje upravo u jutarnjim satima skoro upravno pada na istočnu fasadu, pa zbog toga se preporučuju velike prozorske površine na istočnoj strani, kako bi se potpomoglo uzgrevanje potkrovlja. Ovi veliki istočni prozori i tokom leta treba da omogućе prijatnu temperaturu u unutrašnjosti potkrovlja tokom hladnijih jutara i da obezbede dovoljan priliv dnevne svetlosti. Kosi prozori koji prate nagib krova mogu se postavljati i na krovu sa južne strane, ali pri tome se mora biti oprezan: u letnjem periodu veliki prozori sa južne strane mogu dovesti do pregrevanja objekta, pa je u tom slučaju neophodno predvideti zaštitu od sunčevog zračenja. Zaštita neće biti potrebna ukoliko se minimalizuju prozorske površine na južnoj strani, a njihova veličina bude određena samo u cilju ostvarivanja unakrsne prirodne ventilacije.

Veličina prozora na severnoj i zapadnoj fasadi takođe treba biti minimilizovana, zbog mogućnosti ostvarivanja prirodne ventilacije. Tokom leta zapadna strana je najopterećenija dobicima sunčevog zračenja i toplote, pošto u popodnevним časovima zajedno deluju sunčevo zračenje i još uvek visoka spoljna temperatura.

***U potkrovlju se preporučuju velike prozorske površine na istočnoj fasadi koje bi obezbedile dovoljno dnevne svetlosti i omogućile jutarnje uzgrevanje, a minimiziranje prozorskih otvora na ostalim fasadama. Relativno mali prozori na ostalim fasadama trebalo bi da budu u funkciji ostvarivanja prirodne ventilacije.***

U cilju korišćenja obnovljivih izvora energije, južna strana krova je predviđena za postavljanje prijemnika sunčeve energije. Na taj način se smanjuje mogućnost postavljanja prozorskih otvora na južnoj strani krova.

### **Južna orijentacija krova i ugradnja prijemnika sunčeve energije**

***Asimetričnost krovne konstrukcije*** doprinosi različitoj osunčanosti strana krova. Veća južna strana daje povećanu površinu na kojoj se mogu postaviti prijemnici sunčeve energije. Zbog toga je južna orijentacija krova neophodna. Ukoliko se na krov postave termalni prijemnici sunčeve energije, zbog zagrevanja vode u njima, smanjuje se deo toplotne energije u letnjim mesecima koji dopire u unutrašnjost krova. Na taj način je moguće lakše ostvariti toplotnu ugodnost željene parametre u zoni ugodnosti.

***Ukoliko krovovi nisu južno orijentisani, to dovodi do smanjenog učinka prijemnika sunčeve energije na njima.*** Najlakša je ugradnja prijemnika sunčeve energije ukoliko su oni integrisani u krovnu konstrukciju. Na većini već izgrađenih kuća o orijentaciji krova se nije vodilo računa.

Ugradnja prijemnika sunčeve energije na krovovima je važna, jer doprinosi boljoj energetskej efikasnosti kuća, zimi smanjuje toplotne gubitke kroz krov i daje svoj prilog održivom razvoju.

### **Korišćenje tavana za smeštaj otvorenog ekspanzionog suda**

Postavljanjem zone između spoljnјeg okruženja i zone ugodnosti uviđa se sličnost u korišćenim bioklimatskim principima između negrejanog tavnaskog prostora i principa gradnje tipa „kuća u kući“, ili primene dvostrukog omotača [4]. Negrejani tavnanski prostor nije samo zona koja ublažava uticaj spoljne temperature. ***Ovaj me-***

*duprostor se može iskoristiti* za smeštaj opreme od solarnih instalacija, kao i *za postavljanje otvorenog ekspanzionog suda od instalacije grejanja. Prednost otvorenog ekspanzionog suda u odnosu na zatvoreni je lakše održavanje.* Ukoliko dođe do manjih curenja grejnih instalacija, sistem će raditi ukoliko se samo dopuni vodom. U tom slučaju grejna tela na vrhu će ostati pod vodom.

Kod zatvorenih sistema potrebno je održavanje pritiska, koje se ponekad ostvaruje kompresorom, a često se dopunjavanje vodom vrši putem pumpi koje troše električnu energiju. Osim lakšeg održavanja, kod otvorenih ekspanzionih posuda nije potrebna električna energija za održavanje pritiska u grejnim instalacijama.

### Zaključak

Tavan ima značajnu termičku funkciju prilikom zagrevanja i hlađenja kuće. On povećava gabarite i kompaktnost oblika objekta. Takođe, ukoliko je tavan negrejan, on predstavlja tampon zonu koja odvaja grejanu zonu ugodnosti u objektu od spoljnih atmosferskih i meteoroloških uticaja.

U radu su analizirane različite varijante doziđivanja potkrovlja. Kosi krov ima prednosti u odnosu na ravan krov. Najefikasnije je doziđivanje kosog krova sa povećanom južnom stranom, a procenjena ušteda energije svedene na jedinicu površine poda ili korisne zapremine kreće se u granicama od 10% do 15%.

Povećanje južne strane krova maksimizuje površine na kojima se mogu ugraditi prijemnici sunčeve energije. Njihova ugradnja doprinosi uštedi energije, smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte i održivom razvoju.

Raspored prozora na tavanu treba da bude u funkciji ostvarivanja željenih uslova ugodnosti. Preporučuju se velike površine pod prozorima na istočnoj strani. Na ostalim stranama treba predvideti male prozorske otvore koji će omogućiti unakrsnu prirodnu ventilaciju.

Negrejani tavanski prostor omogućuje postavljanje u njega otvorenog ekspanzionog suda od grejnih instalacija. Otvoreni ekspanzioni sud ima prednosti u odnosu na zatvoreni zbog lakšeg održavanja.

### Literatura

- [1] \*\*\* *Dinarska brvnara*, muzej „Staro selo“ Sirogojno, posebna izdanja, knjiga 2, Sirogojno, 1998, str. 145.
- [2] **Findrik, Ranko**, *Zlatiborska brvnara i muzej narodnog graditeljstva „Staro selo“ u Sirogojnu*, Republički zavod za zaštitu spomenika kulture, Beograd, 1987, str. 42.
- [3] **Živković, Branislav, Zoran Stajić**, *Mali termotehnički priručnik*, SMEITS, Beograd, 2003, str. 93.
- [4] **Lukić, Mirjana**, *Solarna arhitektura*, Naučna knjiga, Beograd, 1994, str. 38.
- [5] **Pucar, Mila**, *Bioklimatska arhitektura*, posebna izdanja IAUS br. 45, Beograd, 2006.
- [6] **Todorović Branislav**, *Projektovanje postrojenja za centralno grejanje*, Mašinski fakultet, Beograd, 1982.
- [7] **Todorović Branislav**, *Klimatizacija*, SMEITS, Beograd, 2005.
- [8] **Reknagel, Šprenger**, *Grejanje i klimatizacija, priručnik*, Građevinska knjiga, Beograd, 1984.