

# TEHNOLOŠKE I EKONOMSKE KARAKTERISTIKE NACIONALNOG PROGRAMA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADARSTVU - KUEN<sub>zgrada</sub>

Mr. sc. Vesna K o l e g a, Zagreb

UDK 644.1  
PREGLEDNI ČLANAK

Analizirana je ekonomska opravdanost ulaganja u poboljšanje toplinske zaštite zgrada, te su opisane tehnološke karakteristike i kriteriji odabira toplinsko-izolacijskih materijala.

Nadalje, prikazana su dostignuća pasivne sunčane arhitekture s ciljem povećanja energetske efikasnosti i zaštite okoliša u zgradarstvu.

**Ključne riječi:** toplinska izolacija, energetska efikasnost, pasivna sunčana arhitektura.

## 1. UVODNA RAZMATRANJA

Prve ideje i provedena istraživanja i analize o mogućnostima smanjenja potrošnje energije za grijanje i pripremu tople vode direktan su odgovor na veliku energetska krizu 1973. godine, koja je potvrdila utemeljenost činjenice o ograničenosti fosilnih goriva i nužnosti racionalnog pristupa energetske potrošnji. Nagli porast cijene nafte i problemi opskrbe energijom rezultirali su uvođenjem energetske koncepta u graditeljstvo. Mnoge industrijski razvijene zemlje ubrzano donose prve zakone i propise o toplinskoj zaštiti zgrada. U Njemačkoj je 22. srpnja 1976. godine donesen Zakon o štednji energije u zgradama, kojem su postavljeni pravni temelji za uređenje područja toplinske zaštite u graditeljstvu. Slični zakoni doneseni su u Austriji, Švicarskoj, Francuskoj, Nizozemskoj i dr. U posljednjih dvadeset i nešto godina područje toplinske zaštite zgrada pravno je i tehnički uređeno u skladu sa specifičnim uvjetima i potrebama u svim razvijenim zemljama Europske unije. U ovom trenutku u tijeku je razvoj i organizacija ovog područja na zajedničkoj razini prema Smjernicama Vijeća Europske unije [7].

Brojne ekonomske analize pokazuju da je ulaganje u poboljšanje toplinske zaštite zgrada jedna od tehnokonomski najisplativijih mjera povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu. U postojećim zgradama leži velik potencijal uštede toplinske energije. Trenutačno su na tržištu dostupne visokotehnološke građevinske komponente i energetske uređaji i sustavi koji omogućuju izgradnju kuće nulte energetske potrošnje. Ostvarivost izgradnje kuće za koju je karakteristično da zadovoljava sve energetske potrebe stanara bez

vezanosti na elektroenergetski sustav je neupitna, ali su troškovi gradnje vrlo visoki. Ukupna cijena obiteljske kuće nulte energetske potrošnje koja obuhvaća projekt, građevinske radove i svu pripadajuću opremu iznosi i do nekoliko milijuna DEM (ukupna cijena energetske samodostatne obiteljske kuće u Freiburgu, izgrađene 1992. godine iznosila je 6 milijuna DEM).

## 2. EKONOMSKA ANALIZA TOPLINSKE ZAŠTITE ZGRADA

### 2.1. Ekonomska opravdanost ulaganja u dodatnu toplinsku izolaciju zgrada

Karakteristika velikog dijela postojećeg stambenog, uslužnog, javnog i gospodarskog fonda zgrada u Hrvatskoj je nezadovoljavajuća toplinska izolacija prema suvremenom konceptu građevinske toplinske zaštite te tehničkim i tehnološkim mogućnostima. Mjere poboljšanja toplinske izolacije treba poduzimati istodobno s mjerama nužnog obnavljanja vanjskih elemenata zgrade. Ulaganje u poboljšanje toplinske izolacije vanjskog omotača zgrade, višestruko je isplativo, pri čemu korist nije samo u uštedi energije za grijanje već i u boljim parametrima mikroklima u prostoru zgrade, te trajnijim građevinskim elementima i konstrukcijama.

Troškovi dodatne toplinske izolacije vanjskog omotača zgrade sastoje se od troškova [1]:

- projekta
- materijala i građenja
- vođenja investicije
- kapitala
- održavanja tijekom korištenja zgrade.



Računski se ekonomska isplativost ulaganja u dodatnu toplinsku zaštitu može izraziti kao kvocijent odnosa ukupne uštede u troškovima grijanja i ukupnih troškova dodatne toplinske izolacije, pri čemu će ulaganje biti isplativo ako je on veći od 1. Važno je istaknuti da osim smanjenja troškova za grijanje, viša razina toplinske izolacije znači ugodniju klimu u prostoru zgrade, zdravije stanovanje i trajniju zgradu, što je teško novčano vrednovati i ne može se obuhvatiti ekonomskom analizom.

Procjena ekonomske opravdanosti ulaganja u dodatnu toplinsku izolaciju, u velikoj mjeri ovisi o interesnoj grupi kojoj konkretna zgrada pripada. Ako se radi o zgradi koja se daje u najam, interes najmodavca je da ostvari što veću dobit za svoj uloženi kapital, i u slučaju dotrajale fasade, on nije sklon istodobnom poboljšanju toplinske izolacije, jer te dodatne troškove ne može kapitalizirati. Najjeftiniji način sanacije fasade bez dodatne toplinske zaštite za njega je ekonomski najisplativiji. Upravo iz tog razloga nužno je da država, kao zaštitnik javnih interesa i općeg dobra, zakonski obveže sve sudionike u građenju da u određenim uvjetima moraju poduzeti odgovarajuće mjere energetske sanacije zgrade [6].

Za stanare u iznajmljenim stanovima koji, uz najamninu, plaćaju i stvarne troškove grijanja, ekonomski je najisplativija toplinski dobro izolirana zgrada koja reducira troškove grijanja.

Za vlasnika, a ujedno i korisnika zgrade, ekonomski je najpovoljniji način građenja koji će osigurati da troškovi tijekom korištenja zgrade koji se sastoje od troškova grijanja i svih dodatnih troškova, budu minimalni. Za ovu grupu investitora ekonomično je ulagati u višu razinu toplinske zaštite od one propisane zakonom.

Poduzeta mjera za povećanje toplinske izolacije nekog vanjskog elementa zgrade bit će ekonomična ako se financiranje te mjere može osigurati kroz uštedu, što znači da anuiteti (otplatna kvota i kamata) moraju biti manji od postignute uštede u troškovima grijanja, koja je direktna posljedica poduzete građevinske mjere, što se nadalje, na osnovi inozemnih iskustava, može postići samo odgovarajućom potporom države kroz poreznu i kreditnu politiku u promatranom sektoru.

Ako gornji uvjet nije zadovoljen, predmetna građevinska mjera još uvijek može biti ekonomična ako su zadovoljena sljedeća dva kriterija:

- zbroj svih troškova (troškovi provedbe mjere (investicijski troškovi) + troškovi korištenja tijekom ukupnog razdoblja trajanja zgrade), mora biti manji od odgovarajućeg minimalnog rješenja (ili slučaja nepoduzimanja građevinske mjere);
- kapital uloženi u obnovu elementa zgrade mora se vratiti prije potrebe za njegovom ponovnom sanacijom.

## 2.2. Analiza troškova poboljšanja toplinske izolacije zgrada

Poboljšanje toplinske izolacije postojećih zgrada moguće je provesti poboljšanjem toplinske izolacije pojedinih građevinskih elemenata koji čine oplošje zgrade:

- vanjskih zidova
- prozora
- stropova prema tavanu (krovovi iznad grijanih prostora)
- podova iznad negrijanog podruma (podovi na terenu).

Za prizemnice je karakteristično da zidovi s prozorima, krov i pod približno podjednako sudjeluju u oplošju zgrade. Što zgrada ima više etaža to je udio površine zidova u oplošju zgrade sve značajniji. Slični odnosi vrijede i za udio transmisijskih toplinskih gubitaka kroz pojedine elemente zgrade u odnosu na ukupne transmisijske gubitke. Jedino su toplinski gubici kroz prozore puno veći i približavaju se vrijednostima gubitaka kroz zidove, iako ukupna površina prozora iznosi u prosjeku oko 30% površine vanjskih zidova zgrade. Na troškove toplinskog poboljšanja pojedinih vanjskih elemenata zgrade utječu brojni čimbenici, pa se njihove vrijednosti kreću u veoma širokom rasponu.

### A) Vanjski zidovi

Toplinsko pojačanje vanjskih zidova u pravilu treba izvoditi dodavanjem novog toplinsko-izolacijskog sloja s vanjske strane zida. Izvedba toplinske izolacije s unutarnje strane zida nepovoljna je s građevinsko-fizikalnog stajališta, a često je i skuplja zbog potrebe dodatnog rješavanja problema difuzije vodene pare, strožih zahtjeva u pogledu sigurnosti protiv požara, gubitka korisnog prostora i dr.

Kod izvedbe toplinsko-izolacijskog sloja s vanjske strane zida moguća su dva rješenja završnog sloja koji štiti toplinsko-izolacijski sloj i ostatak zida od vanjskih atmosferskih utjecaja. Prvo rješenje je karakterizirano izvedbom vanjskog zaštitnog sloja punoplošnim lijepljenjem na toplinsko-izolacijski sloj (tzv. kompaktna fasada). Kod drugog rješenja zaštitni je sloj u obliku pojedinačnih elemenata učvršćenih na odgovarajuću podkonstrukciju tako da između zaštitne obloge i sloja toplinske izolacije ostane sloj zraka koji se ventilira prema van (tzv. ventilirana fasada). U građevinsko-fizikalnom pogledu ventilirana fasada je mnogo povoljnija i sigurnija, te znatno trajnija, a njeno održavanje je jednostavnije i jeftinije. Industrija građevinskih materijala nudi mnogo varijanti cjelovitih sustava ovih dvaju načina toplinske izolacije zidova, pri čemu za oba rješenja debljina toplinsko-izolacijskog sloja ne bi trebala biti manja od 8 do 12 cm, ovisno o postojećoj toplinskoj izolaciji zida, čime bi se vrijednost koeficijenta prolaza topline  $k_{zida}$  smanjila na cca 0,25 do 0,35 W/(m<sup>2</sup>K).

Troškovi izvedbe kompaktne fasade obuhvaćaju:

- pripremu podloge
- sloj toplinske izolacije (cijena ovisi o debljini sloja i primjenjenom toplinsko-izolacijskom materijalu)
- sloj za zaštitu od atmosferskih utjecaja (žbuka različitog sastava s odgovarajućom armaturom)
- pričvršćenje toplinske izolacije na podlogu (lijepljenje, mehaničko pričvršćivanje ili njihova kombinacija).



Analizom ovako podijeljenih troškova za različita rješenja kompaktne fasade utvrđeno je da sloj toplinske izolacije sudjeluje u ukupnim troškovima s oko 30%.

Troškovi izvedbe ventilirane fasade obuhvaćaju:

- pripremu podloge
- sloj toplinske izolacije s vjetrovnom branom
- podkonstrukciju na koju se pričvršćuje vanjska obloga (drvene letve, metalni profili, čelična sidra)
- obložne fasadne ploče (kamen, aluminijski, keramika i dr.).

Iznosi navedenih troškova za kompaktnu i ventiliranu fasadu ovise i o visini zgrade, tlaku vjetra, čvrstoći podloge i dr. Analizirajući različita rješenja kompaktne i ventilirane fasade za jednaku kvalitetu toplinske izolacije i ostale identične uvjete utvrđeno je da je ventilirana fasada u prosjeku za 2 do 2,5 puta skuplja od kompaktne fasade [1].

### B) Prozori

Zamjena starih prozora novim, boljih toplinsko-izolacijskih značajki, zahtijeva relativno visoke investicijske troškove, koji su po  $m^2$  površine prozora, za 2 do 4 puta viši od troškova za toplinsko poboljšanje  $m^2$  vanjskog zida, iz čega se može zaključiti da je ova mjera poboljšanja toplinske zaštite ekonomski isplativa jedino kod prozora s jednostrukim ostakljenjem ili kad su postojeći prozori u tako lošem stanju da im je obnova nužna. Ako konstrukcija prozora to dozvoljava moguće je jedno prozorsko staklo zamijeniti izostaklom ili postojećim staklima dodati staklo s posebnim okvirom, čime se postiže prosječno smanjenje vrijednosti koeficijenta prolaza topline  $k_{\text{prozora}}$  za cca 0,9  $W/(m^2K)$ .

### C) Strop prema tavanu

Poboljšanje toplinske izolacije stropa prema tavanu zahtijeva relativno male troškove. Da bi se koeficijent prolaza topline  $k_{\text{stropa}}$  smanjio na vrijednost od cca 0,25 do 0,30  $W/(m^2K)$  potrebno je na pod tavana položiti sloj toplinske izolacije debljine 10 do 15 cm. U slučaju prohodnog poda tavana izvodi se odgovarajuća podna obloga preko sloja toplinske izolacije.

### D) Pod iznad negrijanog podruma

Troškovi izvedbe toplinskog pojačanja poda iznad negrijanog podruma relativno su niski. Na strop podruma se pričvrste ploče toplinsko-izolacijskog materijala debljine 8 do 10 cm čime se vrijednost koeficijenta prolaza topline  $k_{\text{poda}}$  reducira na cca 0,30 do 0,35  $W/(m^2K)$ .

Radi određivanja udjela troškova dodatne toplinske izolacije pojedinih vanjskih elemenata zgrade, provedena je ekonomska analiza postojeće, četveroetažne zgrade s osam stambenih jedinica, ukupne stambene površine 460  $m^2$ . Udio površine prozora u ukupnoj površini vanjskog omotača zgrade iznosio je 33%.

Raspodjela troškova dodatne toplinske izolacije pojedinih vanjskih građevinskih elemenata dala je sljedeće udjele:

- vanjski zidovi (kompaktna fasada, debljina izolacije 10 cm) – 32%
- prozori (zamjena, izolacijsko staklo) – 54%
- strop prema tavanu (debljina izolacije 10 cm) – 9%
- pod iznad podruma (debljina izolacije 8 cm) – 5%.

Iz provedene je analize vidljivo da je poboljšanje toplinske izolacije poda iznad negrijanog podruma relativno mala investicija koja rezultira znatnim uštedama energije i povećanjem toplinske udobnosti stanara. Postavljanjem sloja toplinske izolacije, debljine 10 cm na pod tavana, također se, uz relativno niske troškove šteti energija i povećava toplinska udobnost. Dodavanje novog toplinsko-izolacijskog sloja s vanjske strane zidova relativno je skupa mjera povećanja energetske efikasnosti zgrade. U analizi je dan primjer kompaktne fasade, koja je u građevinsko-fizikalnom pogledu lošija od ventilirane, ali je u ekonomskom između 2 i 2,5 puta jeftinija. Poboljšanje toplinske izolacije prozora najskuplja je mjera toplinskog pojačanja zgrade koju je preporučljivo provoditi jedino u slučaju dotrajlosti i to zamjenom starih prozorskih stakala izolacijskim staklima.

Uz pretpostavku da su svi dodatno toplinski izolirani elementi zgrade, prije sanacijskih radova bili na razini minimalne toplinske zaštite prema važećim propisima, izvedbom predviđenih sanacijskih radova smanjili bi se transmisijski toplinski gubici zgrade za cca 50%.

## 3. TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE TOPLINSKO-IZOLACIJSKIH MATERIJALA

### 3.1. Općenito

Radi praćenja rastućih zahtjeva za uštedom energije i zaštitom okoliša, prodor novih toplinsko-izolacijskih materijala na tržište je nezaustavljiv.

Za dimenzioniranje učinkovite toplinske zaštite građevina, uz poznavanje osnovnih karakteristika toplinsko-izolacijskih materijala nužno je poznavati građevinsko-fizikalne i klimatske uvjete na mjestu gradnje. Osim toga, za pravilnu je primjenu nužno poznavanje međusobnih odnosa različitih materijala u dijelovima građevine i građevinskim konstrukcijama. Toplinsko-izolacijski materijali u graditeljstvu, u pravilu su materijali čije su pore ispunjene zrakom, a primjenjuju se u jednoslojnim i višeslojnim vanjskim konstrukcijama građevina.

Toplinska vodljivost toplinsko-izolacijskih materijala ovisi o sljedećim parametrima:

- kemijskom sastavu materijala
- volumenu ugrađenog zraka (gustoći)
- strukturi pora (veličina i povezanost)
- količini vlage u materijalu
- temperaturi materijala.



Toplinsko-izolacijski materijali se s obzirom na strukturu pora dijele na materijale:

- otvorenih pora
- zatvorenih pora
- mješovitih pora.

Volumen pora nekih toplinsko-izolacijskih materijala može iznositi i do 98%.

S obzirom na kemijski sastav, toplinsko-izolacijski materijali se mogu podijeliti u tri osnovne grupe:

- anorganski
- umjetni organski
- prirodni organski.

### 3.2. Anorganski toplinsko-izolacijski materijali

Karakteristično za anorganske toplinsko-izolacijske materijale je da su negorivi i biološki inaktivni.

Toj grupi pripadaju perlit, vermikulit, pjenostaklo, staklena i kamena vuna.

Od navedenih materijala u hrvatskom se graditeljstvu najčešće koriste staklena i kamena vuna, te perlitne granule.

Staklena i kamena vuna proizvode se u željenim debljinama taljenjem raznih sirovina: kvarcnog pijeska, kamenog agregata dijabaza ili bazalta i dr. Dobivena vlakna se najčešće povezuju fenolformaldehidnom smolom, a za postizanje hidrofobnih karakteristika dodaju se mineralna ulja, silikoni i dr. Toplinsko-izolacijski materijali od staklene i kamene vune mogu biti izvedeni u pločama, filcevima, rinfuzi ili u cjevastom obliku za izolaciju cjevovoda.

Perlit u granulama proizvodi se iz materijala vulkanskog podrijetla (perlita) postupkom ekspaniranja na temperaturama iznad 100°C.

Granule perlita imaju, ovisno o primjeni, različite nasipne gustoće i veličinu čestica. Daljnjim postupcima dorade, ova vrsta toplinsko-izolacijskog materijala može se hidrofobirati ili bitumenizirati. Najčešća primjena u graditeljstvu je u proizvodnji laganih žbuka.

### 3.3. Umjetni organski toplinsko-izolacijski materijali

Grupi umjetnih organskih materijala pripadaju pjenasti visokovrijedni toplinsko-izolacijski materijali: poliuretanska pjena, ekspanirani ili ekstrudirani polistiren, fenolformaldehidna pjena i dr.

Od navedenih materijala u hrvatskom su graditeljstvu najčešće u primjeni poliuretanska pjena, ekspanirani i ekstrudirani polistiren.

Ekspanirani polistiren se proizvodi postupkom suspenzijske polimerizacije stirena uz dodatke, a dobivene granule se impregniraju lako hlapljivim ugljikovodicima.

Ekstrudirani polistiren se proizvodi ispenjavanjem taline polistirena u ekstruderu uz dodatak halogeniranih ugljikovodika, a u najnovije vrijeme posredstvom CO<sub>2</sub>.

Poliuretanska se pjena dobiva iz poliizocijanata i dodataka.

Svi navedeni pjenasti materijali su vrlo dobri toplinsko-izolacijski materijali, pretežno zatvorenih pora. Proizvode se u obliku blokova, ploča ili u različitim drugim oblicima. Poliuretanska pjena može se proizvoditi na licu mjesta na gradilištu i u tom se slučaju nanosi prskanjem.

### 3.4. Prirodni organski toplinsko-izolacijski materijali

Prirodni organski toplinsko-izolacijski materijali mogu biti:

- biljni produkti (npr. pluto)
- proizvodi na bazi drvenih vlakana
- celulozni vlaknasti materijali.

Od navedenih materijala u hrvatskom su graditeljstvu najčešće u primjeni proizvodi na bazi drvenih vlakana:

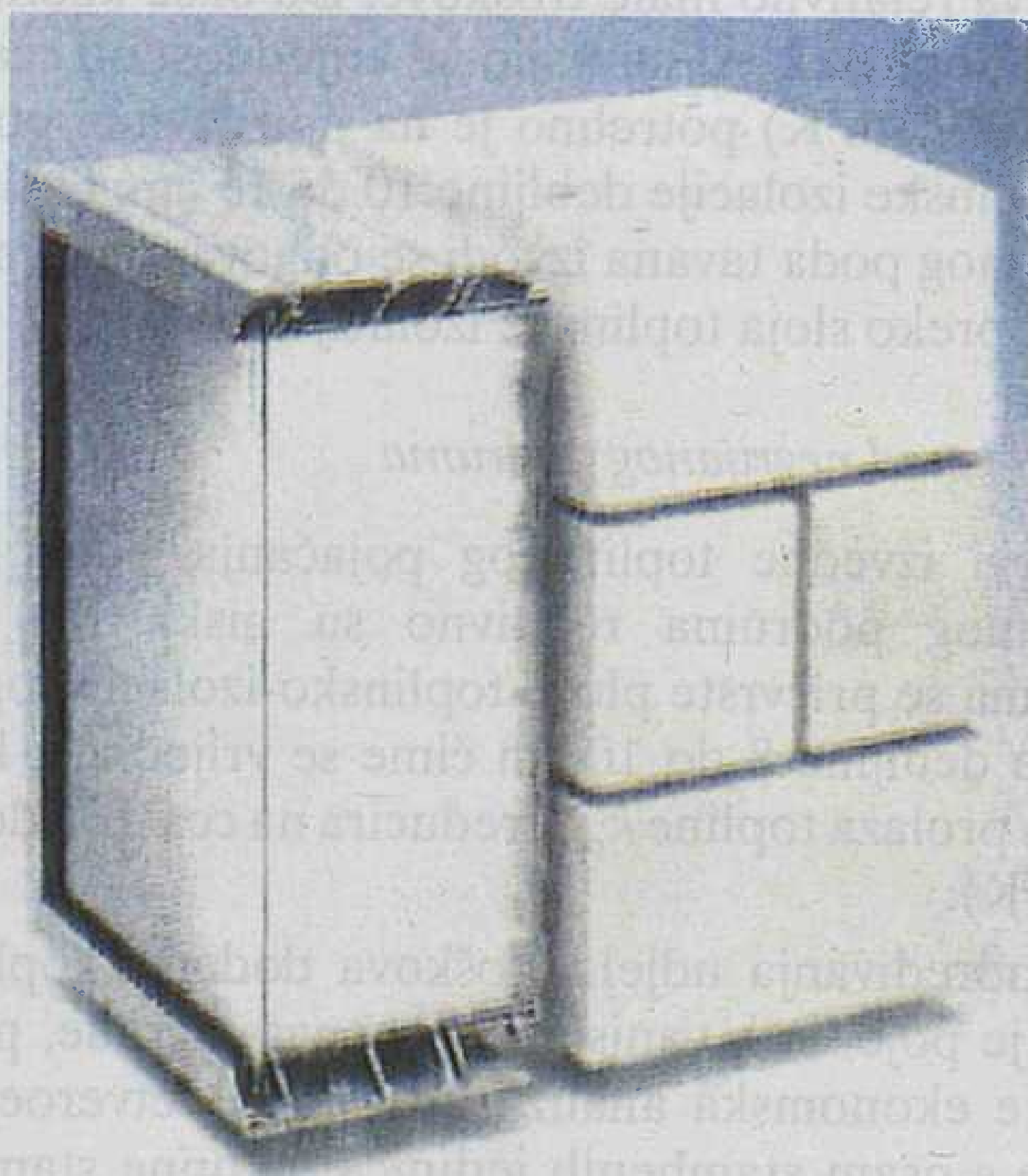
- lake izolacijske ploče od drvene vune
- troslojne izolacijske ploče od drvene vune s jezgrom od ekspaniranog polistirena ili kamene vune.

### 3.5. Transparentni toplinsko-izolacijski materijali

Transparentni (prozirni) toplinsko-izolacijski materijali veliko su dostignuće suvremene tehnologije na polju poboljšanja toplinske zaštite zgrada.

Prozirna se izolacija proizvodi od sintetičke mase u različitim oblicima, a glavna joj je karakteristika propuštanje svjetlosti.

Transparentna se izolacija može ugrađivati u svjetlonepropusni presjek ispred masivnog dijela vanjskog zida ili u svjetlopropusni presjek između izo-stakla, što daje potpuno novu dimenziju arhitekturi i graditeljstvu jer zid optimalnih toplinskih karakteristika ujedno propušta i svjetlost (sl. 1) [2].



Slika 1. Detalj presjeka zida s transparentnom izolacijom



U presjecima između dva stakla kao transparentna se izolacija mogu koristiti:

- folije
- polikarbonat saćaste strukture (transparentna izolacija u obliku pčelinjeg saća)
- mjehurići, pjena, vlakna ili granulirani aerogel
- mikroporozni materijal (homogeni aerogel).

Presjek materijala transparentne izolacije sadrži sitne kapilarne cijevi koje idu poprečno s jedne na drugu stranu ploče. Postavljanjem u presjek vanjskog zida stvara se gusta mreža kanala koji omogućuju prodor sunčevih zraka i time grijanje masivnih dijelova zidova. Na ovaj način akumulirana toplina koristi se za zagrijavanje prostora, pri čemu se učinak može dodatno pojačati postavljanjem izo-stakla i toplinske rolete u zračni sloj ispred transparentne izolacije.

Jedan od uspješnih primjera korištenja transparentne izolacije je zgrada u Lausanni, gdje je postavljanjem prozirne izolacije na polovici površine pročelja zgrade (cca 130 m<sup>2</sup>), apsorpcijom sunčane energije priskrbljeno 60% energije potrebne za grijanje prostora zgrade.

### 3.6. Toplinska vodljivost

Osnovni zahtjev na sve vrste toplinsko-izolacijskih materijala je postići što nižu vrijednost toplinske vodljivosti. Kod nekih materijala (npr. pluto, ekspanzirani polistiren, pjenostaklo, produkti perlita i dr.) na toplinsku vodljivost, prvenstveno, utječe toplinska vodljivost i gustoća sirovine, dok je za izolacijske materijale na bazi vlakana (drvenih ili celuloznih) karakteristično da na toplinsku vodljivost u velikoj mjeri utječe i struktura vlakana (tabl. 1) [1].

Tablica 1. Toplinska vodljivost raznih toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali	Toplinska vodljivost, $\lambda$ W/(mK)
<i>Anorganski materijali</i>	
Staklena vuna	0,038
Kamena vuna	0,038
Perlit u granulama	0,060
Pjenostaklo	0,050
<i>Umjetni organski materijali</i>	
Poliuretanska pjena proizvedena na gradilištu	0,040
Ploče od poliuretanske pjene	0,028
Ekspanzirani polistiren	0,040
Ekstrudirani polistiren	0,030
<i>Prirodni organski materijali</i>	
Ploče od ekspaniranog pluta	0,043
Ploče od drvenih vlakana	0,085

Sljedeće svojstvo toplinsko-izolacijskih materijala koje znatno utječe na toplinsku vodljivost je svojstvo upijanja vode u porama materijala.

Navlaženje materijala vanjskih elemenata građevine može biti rezultat:

- hidroskopske vlažnosti materijala
- upijanja vode kroz kapilare materijala
- prodora oborinske vlage kroz vanjske plohe građevinskih elemenata pod tlakom vjetra
- kondenzacije vodene pare na unutarnjoj površini ili unutar građevinskog elementa (usljed difuzije)
- vlage iz terena.

Kako je toplinska vodljivost vode više od 20 puta veća od toplinske vodljivosti zraka u porama toplinsko-izolacijskih materijala ( $\lambda_{\text{vode}} \approx 0,58$  W/mK,  $\lambda_{\text{zraka}} \approx 0,024$  W/mK) vodoupijajući materijali nemaju dobre toplinsko-izolacijske karakteristike. Zaleđivanjem vode tijekom zimskih mjeseci dolazi do daljnjeg povećanja vrijednosti toplinske vodljivosti ( $\lambda_{\text{leda}} \approx 2,2$  W/mK) i pogoršanja toplinsko-izolacijskih svojstava materijala.

Radi sprječavanja i minimiziranja vodoupijajućih karakteristika toplinsko-izolacijskih materijala, prvenstveno onih vlaknaste strukture, materijali se dodatno obrađuju raznim vodoodbojnim sredstvima. Osim toga, važno je građevinske elemente tako komponirati i toplinsko-izolacijski dimenzionirati da se potpuno izbjegne ili svede na minimum kondenzacija vodene pare u uvjetima korištenja.

Za ispravan odabir toplinsko-izolacijskih materijala, posebno onih organskog podrijetla potrebno je poznavati *faktor otpora difuziji* vodene pare,  $\mu$ , pojedinog materijala (tabl. 2).

Tablica 2. Gustoće i faktori otpora difuziji vodene pare toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Faktor otpora difuziji vodene pare, $\mu$
<i>Anorganski materijali</i>		
Staklena vuna	8-500	1
Kamena vuna	8-500	1
Perlit u granulama	90	1
Pjenostaklo	100-500	( $\infty$ )
<i>Umjetni organski materijali</i>		
Poliuretanska pjena proizvedena na gradilištu	37-40	30/100
Ploče od poliuretanske pjene	30 i više	30/100
Ekspanzirani polistiren	15-30	20/100
Ekstrudirani polistiren	25-35	80/300
<i>Prirodni organski materijali</i>		
Ploče od ekspaniranog pluta	80-500	5/10
Ploče od drvenih vlakana	360-650	2/5



### 3.7. Kriteriji odabira toplinsko-izolacijskih materijala

Jedan od važnih kriterija odabira toplinsko-izolacijskih materijala je njegovo ponašanje pod mehaničkim opterećenjem.

Zbog mogućnosti usporedbe materijala koji će biti izloženi tlačnim opterećenjima važno je poznavanje tlačne čvrstoće materijala pri 10%-tnom tlaku (tabl. 3) [1].

Tablica 3. Tlačne čvrstoće toplinsko-izolacijskih materijala pri 10%-tnom tlaku

Toplinsko-izolacijski materijali	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Tlačna čvrstoća pri 10%-tnom tlaku (kN/m <sup>2</sup> )
<i>Anorganski materijali</i>		
Staklena vuna	8-500	40-80
Kamena vuna	8-500	40-80
Perlit u granulama	90	
Pjenostaklo	100-500	
<i>Umjetni organski materijali</i>		
Poliuretanska pjena proizvedena na gradilištu	37-40	100
Ploče od poliuretanske pjene	30 i više	180-1000
Ekspandirani polistiren	15-30	100-200
Ekstrudirani polistiren	25-35	350-800
<i>Prirodni organski materijali</i>		
Ploče od ekspandiranog pluta	80-500	100-200
Ploče od drvenih vlakana	360-650	

Vlačna čvrstoća toplinsko-izolacijskih materijala nije od posebne važnosti, te se navode samo minimalne vrijednosti koje materijal treba zadovoljiti.

Za toplinsko-izolacijske materijale vlaknaste strukture izložene tijekom korištenja vjetru ili ugrađene na pročelja građevina potrebno je poznavati svojstva raslojavanja, dok je za umjetne organske materijale nužno poznavati postojanost oblika materijala i otpornost na povišenu temperaturu od 80°C.

Kod odabira lakih građevinskih ploča od drvene vune važan čimbenik je otpornost na savijanje.

Prema normi HRN DIN 4102-1, svi toplinsko-izolacijski materijali ispituju se na zapaljivost i gorivost, te razvrstavaju u razrede dane u tablici 4.

Tablica 4. Razredi zapaljivosti/gorivosti toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Razred
<i>Anorganski materijali</i>		
Staklena vuna	8-500	A1/A2
Kamena vuna	8-500	A1
Perlit u granulama	90	A1
Pjenostaklo	100-500	A1
<i>Umjetni organski materijali</i>		
Poliuretanska pjena proizvedena na gradilištu	37-40	B2
Ploče od poliuretanske pjene	30 i više	B1/B2
Ekspandirani polistiren	15-30	B1/B2
Ekstrudirani polistiren	25-35	B1
<i>Prirodni organski materijali</i>		
Ploče od ekspandiranog pluta	80-500	B2
Ploče od drvenih vlakana	360-650	B1

Razred A1 ..... negoriv materijal

Razred A2 ..... goriv materijal

Razred B1 ..... teško zapaljiv materijal

Razred B2 ..... normalno zapaljiv materijal

Za energetsko-ekonomski optimalan odabir, uz poznavanje tehničkih karakteristika (čvrstoće, zapaljivosti, gorivosti, toplinske vodljivosti, otpornosti na vlagu, te međusobne kompatibilnosti karakteristika u određenim kombinacijama materijala), važno je poznavati prosječnu vrijednost energije potrebne za proizvodnju toplinsko-izolacijskih materijala (tabl. 5).

Tablica 5. Prosječna energija potrebna za proizvodnju toplinsko-izolacijskih materijala

Toplinsko-izolacijski materijali	Prosječna energija za proizvodnju (MJ/m <sup>3</sup> )
Drvo	300
Vlaknasti čelijasti materijali	580
Ploče od drvenih vlakana	650
Plinobeton	1 350
Kamena vuna	1 400
Ekspandirani polistiren	1 550
Porobeton	2 100
Poliuretanska pjena	3 850
Lagani betoni s poroznim dodacima	5 400



Prosječna energija za proizvodnju obuhvaća:

- energiju za proizvodnju osnovne sirovine
- energiju za proizvodnju toplinsko-izolacijskog materijala
- energiju potrebnu za rad tvorničkih postrojenja.

U tablici 6 navedeni su podaci o količini toplinsko-izolacijskih materijala proizvedenih u Njemačkoj u razdoblju od 1990. - 1996. godine.

**Tablica 6. Količina proizvedenih toplinsko-izolacijskih materijala u Njemačkoj u razdoblju od 1990. do 1996. godine**

Toplinsko-izolacijski materijali (u 1000 m <sup>3</sup> )	1990.	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.	1996.
Mineralna vuna	10 500	12 500	13 900	15 650	17 250	18 600	18 980
Ekspandirani polistiren	5 162	6 131	6 405	7 354	8 773	9 071	9 100
Poliuretanska pjena	888	977	1 022	1 134	1 253	1 291	1 365
Ekstrudirani polistiren	538	591	688	766	890	957	985
Ploče od drvenih vlakana	261	277	295	307	366	343	310

Iz tablice je vidljiv porast proizvodnje svih promatranih toplinsko-izolacijskih materijala, pri čemu je proizvodnja pojedinih materijala porasla približno:

- mineralna vuna 1,8 puta
- ekspandirani polistiren 1,8 puta
- poliuretanska pjena 1,5 puta
- ekstrudirani polistiren 1,8 puta
- ploče od drvenih vlakana 1,2 puta.

Nastavak rada na ovoj temi u sklopu programa KUEN<sub>zgrada</sub> obuhvatit će prikupljanje i analizu podataka o količini toplinsko-izolacijskih materijala proizvedenih u Hrvatskoj i energiji potrebnoj za njihovu proizvodnju.

Važno je naglasiti, da uz sve opisane građevinsko-fizikalne i energetske-ekonomske kriterije, odlučujući čimbenik prigodom odabira toplinsko-izolacijskog materijala treba biti njegovo djelovanje na zdravlje čovjeka i zaštitu okoliša.

#### 4. VISOKOTEHNOLOŠKI, ENERGETSKI EFIKASNI GRAĐEVINSKI SUSTAVI I ELEMENTI

##### 4.1. Pasivni sunčani elementi i sustavi

Praktično korištenje sunčeve energije temelji se na postavljanju tehničkog uređaja koji sunčevu energiju prihvaća a zatim je transformira u neki drugi korisni oblik energije, najčešće u toplinsku ili električnu. Takvi se uređaji nazivaju pretvornicima sunčeve energije [3]. Pretvornici u toplinsku energiju se prema svom djelovanju mogu podijeliti u dvije osnovne kategorije:

- aktivne
- pasivne.

Pretvornici u električnu energiju dijele se na:

- niskotemperaturne (solarni pond)
- visokotemperaturne (fokusirajuće)
- fotonaponske.

Pasivni pretvornici koriste globalno sunčevo zračenje za prirodno grijanje, hlađenje i osvjetljavanje u stambenim i gospodarskim zgradama, pri čemu bioklimatski koncept osigurava zadovoljavanje toplinske i svjetlosne udobnosti korisnika zgrade u svim godišnjim dobima, jer isti pasivni sustav zimi grije i provjetrava, a ljeti hladi zgradu.

U današnjoj su projektantskoj i tehnološkoj praksi u primjeni najčešće osnovni tipovi pasivnih sunčanih

pretvornika i sustava, čija je energetska efikasnost i ekonomska isplativost već dokazana.

Temeljni principi djelovanja i tipovi pasivnih pretvornika su sljedeći:

*Izravni zahvat* (sl. 2.a)

Princip djelovanja: građevina je prijatelj sunčeva zračenja;

Karakteristika: otvorenost arhitektonskog prostora za maksimalnu insolaciju.

*Termoakumulacijski zid* (sl. 2.b)

*Staklenik* (sl. 2.c)

Karakteristike: selektivne višeslojne staklene stijene s UV zaštitom i ispunom od teškomolekularnih plinova;

Varijante sustava: sa ili bez termoakumulacijskog zida i podnog spremnika topline.

*Krovni skupljač* (sl. 2.d)

Princip djelovanja: izravan zahvat sunčeve energije u krovni zračni kolektor i hibridna distribucija.

*Konvekcijski sustav* (sl. 2.e)

Princip djelovanja: cirkulacija prirodno zagrijanog zraka u vanjskom elementu pročelja zgrade.

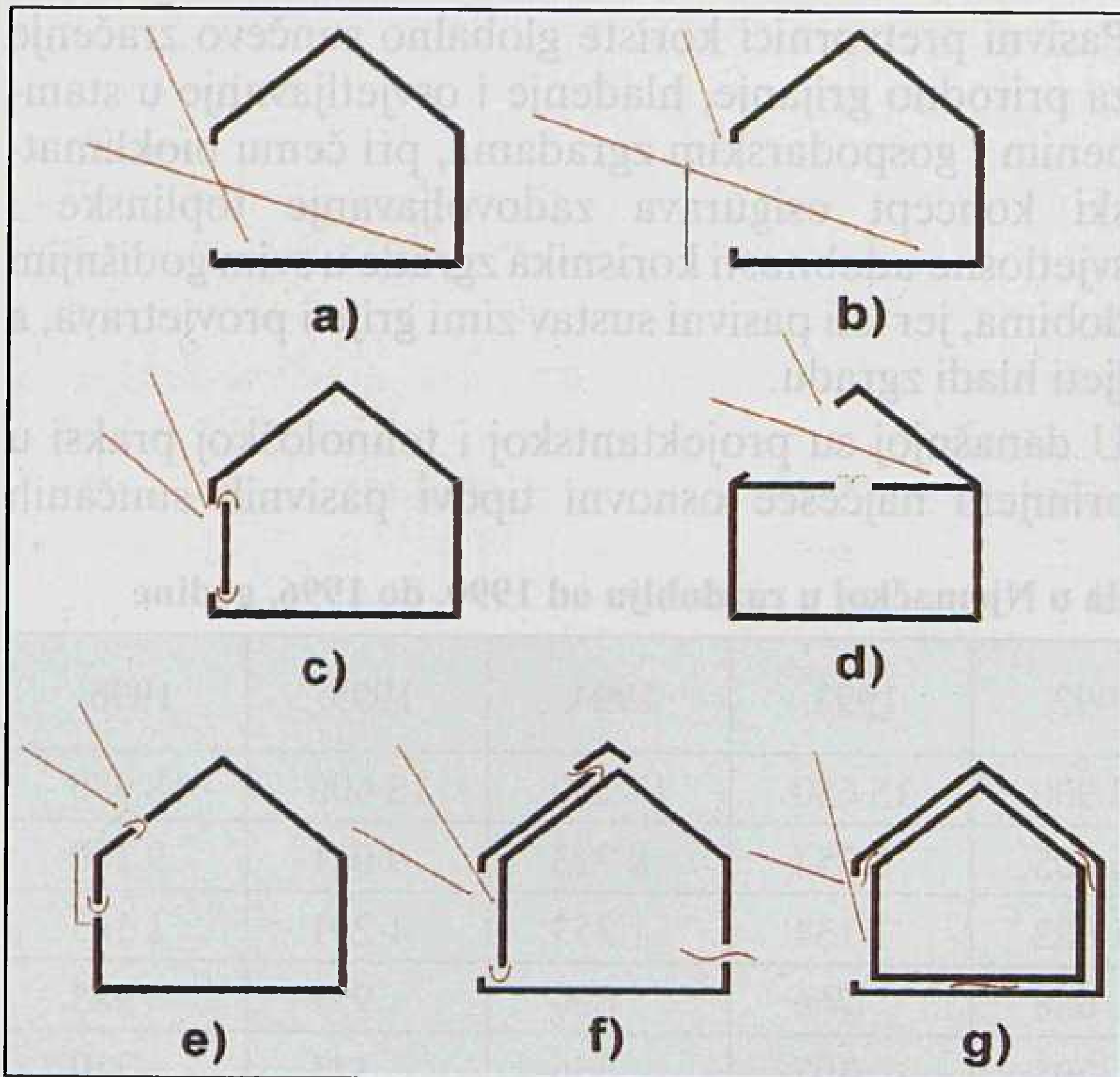
*Sunčani dimnjak* (sl. 2.f)

Karakteristika: maksimalno učinkovito rješenje za hlađenje prostora.

*Dvostruki vanjski omotač zgrade* (sl. 2.g)

Princip djelovanja: zračni bioklimatski sustav unutarnjih konstrukcijskih elementata (Barra-Costatini sustav) baziran na prirodnoj cirkulaciji zraka iz zračnih kolektora, termoakumulacijskih zidova i (ili) podnih (stropnih) i zidnih spremnika.

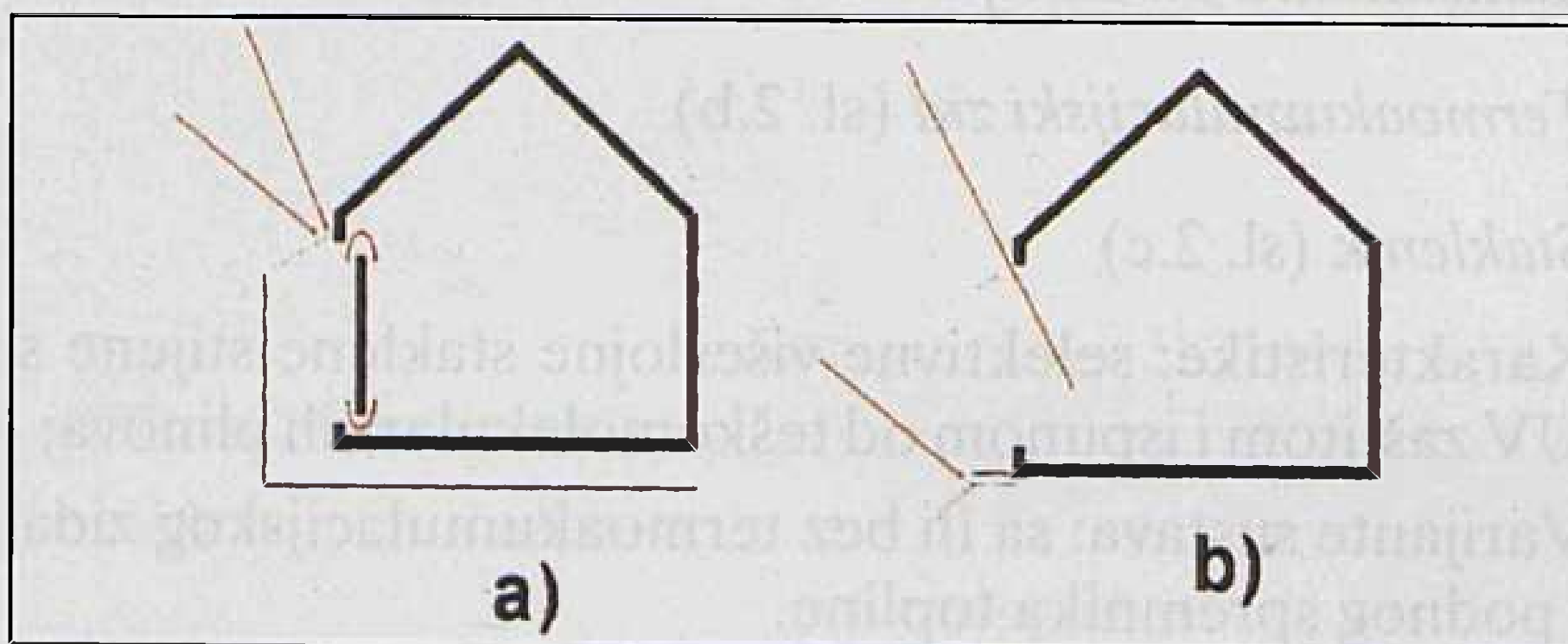




Slika 2. Sheme osnovnih tipova pasivnih sunčanih pretvornika

Bazirani na kombinacijama osnovnih tipova pasivnih sunčanih pretvornika, ekološki i energetski izuzetno uspješnima pokazali su se sljedeći sustavi:

- *Termoakumulacijski zid sa spremnikom topline* (sl. 3a);
- *Kombinirani sustav sastavljen od skupljača, spremnika topline i staklenika* (sl. 3.b)



Slika 3. Sheme sustava pasivnih sunčanih pretvornika

Uz prethodno opisane temeljne principe djelovanja i osnovne tipove i sustave pasivnih sunčanih elemenata, u posljednje se vrijeme intenzivno razvijaju visokotehnološki, sve složeniji sustavi pasivne sunčane arhitekture bazirani na suvremenom energetsko-ekološkom konceptu:

#### *Akumulacijski sustavi:*

Princip djelovanja: akumuliranje velike količine nekog medija (masivnog materijala, vode i dr.) u nadzemnim i podzemnim spremnicima za razne korisnike (komunalne sustave, pojedinačne korisnike i dr.).

#### *Hibridni sustavi:*

Princip djelovanja: distribucija toplinske energije aktivnim instalacijskim sustavima (sunčani kolektori, dizalice topline, fotonaponski sustavi i dr.);

#### *Integrirani sustavi:*

Karakteristika: termoakumulacijski, cirkulacijsko-konvekcijski i dr. sustavi izvedeni tipskim (prefabriranim) ili unikatnim arhitektonskim elementima.

#### *Pasivna sunčana kuća nulte energetske potrošnje:*

Karakteristika: kuća bez potrebe grijanja i hlađenja, minimalne emisije CO<sub>2</sub> i drugih polutanata u skladu s najnovijim preporukama Vijeća Europske unije.

#### *Energetski samodostatna arhitektura:*

Karakteristika: energetski inteligentna arhitektura bazirana na visokotehnološkoj opremi i računalno podržanim kontrolnim, regulacijskim i automatizacijskim sustavima.

### 4.2. Termoakumulacijski zid

Izum i patentiranje masivnog, ostakljenog, termoakumulacijskog zida, južno orijentiranog pročelja tipa *Trombe-Michel* krajem šezdesetih godina, unosi novu dimenziju u bioklimatsku, energetski efikasnu arhitekturu i graditeljstvo [3].

Rad termoakumulacijskog zida temelji se na akumulaciji dozačene energije sunca u masivnom dijelu presjeka, te na zagrijavanju zraka u šupljem dijelu presjeka zida (između ostakljenja i masivnog dijela) koji pokreće cirkulaciju zraka u prostoru građevine.

U realizacijama pasivnih sunčanih obiteljskih kuća u Hrvatskoj (oko 45°S), termoakumulacijski zid se pokazao, s jedne strane energetski efikasnim, a s druge ekonomski isplativim zbog zanemarivo niske dodatne investicije u odnosu na ukupnu cijenu građevine. Ovdje treba naglasiti da bi prefabrikacija ovog arhitektonsko-građevinskog elementa dodatno reducirala njegovu cijenu, uz istodobno poboljšanje kvalitete pojedinih detalja.

Nadalje, prefabrikacija bi maksimalno smanjila vrijeme potpune isplativosti zida, kroz njegovu masovninu primjenu u stambenim i gospodarskim zgradama [8], [9].

### 4.3. Energetski efikasno staklo

Brojna istraživanja i razvitak tehnologije proizvodnje stakla rezultirali su građevinskim proizvodima izvanrednih energetskih karakteristika:

- visokokvalitetna toplinska zaštita
- foto, termo i elektrokromatska fleksibilnost
- selektivnost apsorpcije i refleksije
- vatrootpornost
- neprobojnost.

Ostakljeni dijelovi građevine toplinskim gubicima s jedne, a solarnim doprinosima s druge strane, značajno utječu na energetsku bilancu zgrade.

Iako veliki izbor višestrukih presjeka i odličnih karakteristika građevinskog stakla s obzirom na energetsku



efikasnost zadovoljava brojne zahtjeve, statička i akumulacijska svojstva zida, staklo još uvijek nije dostiglo. Transmisijska, refleksijska i apsorpcijska svojstva stakla u najvećoj mjeri zavise od tvari iz koje je ono izrađeno, te od naknadnih tretmana radi poboljšanja pojedinih svojstava. Suvremena tehnološka dostignuća rezultiraju staklima s malim udjelom željeza i promjenjivih karakteristika. Antirefleksijski tretman i nizak koeficijent emisije, ispunjena izolacijskog stakla plinovima velike molekularne težine (npr. argon ili kripton), te integracija elektrokromatskog stakla, rezultiraju smanjenjem koeficijenta prolaza topline,  $k$ , i povećanjem koeficijenta zasjenjenja,  $SC$ , (od eng. shading coefficient). Kombinacijom raznih svojstava postiže se inteligentna selektivnost koja omogućuje optimalan energetska učinak istog presjeka staklene površine kroz sva godišnja doba [10].

Zaštita od ultraljubičastog zračenja osigurava se:

- premazivanjem stakla
- metalizacijom plohe stakla metalnim oksidima
- dodavanjem unutarnjih folija.

Svjetlopropusnost je maksimalna, a zbog izravnog blještavila ili odbljesaka s raznih ploha iz okoliša, preporuča se metalizacija od cca 10%, pri čemu vanjska zaštita od sunca nije potrebna već je predviđena jedino unutarnja zaštita od blještavila i pogleda.

Jedno od visokotehnoloških, energetska efikasnih stakala poznato pod nazivom *toplinsko ogledalo* (od eng. heat mirror) upotrebljava se u širokoj primjeni, u sustavu tvornički prefabriciranih staklenika "Four Seasons". *Toplinsko ogledalo* se sastoji od dvije staklene plohe između kojih je ugrađena prozirna, visokokvalitetna poliesterska membrana, naparena tankim slojem odgovarajućeg metala, koja stvara dva zračna prostora. Karakteristike *toplinskog ogledala* bolje su od značajki trostrukog ostakljenja. Ovo staklo zimi zadržava toplinu u prostoru dok je u ljetnim mjesecima i za najvećih vrućina, pod njim ugodno, bez dodatne zaštite od sunca.

Trenutačno je u uporabi nekoliko klasa *toplinskog ogledala* pod rednim brojevima 22, 44, 66 i 88. *Toplinska ogledala* 22 i 44, korištena u strešnoj konstrukciji staklenika zadržavaju strme, ljetne, sunčane zrake, dok *toplinsko ogledalo* 66 ugrađeno u vertikalne stijene propušta niske, zimske, sunčane zrake i tako pasivnim načinom štedi energiju potrebnu za zagrijavanje prostora. Energetska najefikasnije je *toplinsko ogledalo* 88 koje u presjeku ima dvije poliesterske membrane, čime je omogućen niz drugih selektivnih varijacija.

Nadalje, zavisno od klase i primijenjene varijacije, *toplinsko ogledalo*, u prosjeku zadržava cca 99.5% UV sunčanih zraka, čiji je utjecaj na čovjekovo zdravlje dokazano negativan.

Sljedeće u nizu visokokvalitetnih, energetska efikasnih stakala, poznato pod nazivom *sunčano staklo*, izumio je i patentirao njemački arhitekt Koster. Ovo dvoslojno staklo ima posebno oblikovane nepomične horizon-

talne lamele trokutastog presjeka s konkavnim stranicama, koje funkcioniraju kao modulator dnevnog osvjetljenja, odnosno prijama sunčanog zračenja. Najdulja stranica (hipotenuza) obrađena kao folija visokog metalnog sjaja, okrenuta je prema gore, pod kutom koji za određenu geografsku širinu funkcionira kao hvataljka svjetla i ploha refleksije za ekvinoctijske i zimske zrake (sezona grijanja) prema unutarnjem prostoru. Unutarnja donja stranica presjeka (kateta) isključivo je bijele boje, tako da je refleksijom od nje, maksimalno direktno propuštanje niskih, zimskih zraka još dodatno pojačano. Vanjska donja kateta presjeka, također obojena u bijelo, osigurava reflektiranje svjetlosti prema van, tako da strme, ljetne zrake ne mogu direktno prodrijeti kroz *sunčno staklo* i time dodatno, nepotrebno zagrijati prostor.

Najnovija tehnologija proizvodnje stakla rješava i problem prekida toplinskog mosta u samom rubu (okviru) izo-stakla dodavanjem izolacijske trake organskog podrijetla, uz dodatno oblaganje okvira nepropusnom aluminijskom folijom koja onemogućava izlaz plina. U patentiranom američkom proizvodu poznatom pod komercijalnim nazivom *Warmedge*, dodatna izolacijska traka izvedena je od filca, što se pokazalo dobrim rješenjem. U suvremenim staklenicima tipske proizvodnje u svim presjecima konstrukcije imaju prekinut toplinski most. Današnji tipični rubni detalj sa šupljim metalnim profilom, toplinski je most koji se više ne tolerira u presjecima stakala visoke energetska efikasnosti, za koja je karakterističan vrlo nizak koeficijent prolaza topline,  $k$  (oko  $0.45 \text{ Wm}^2/\text{K}$ ).

Opisane značajke suvremenih, visokotehnoloških, energetska efikasnih stakala omogućuju projektantima izuzetno velike slobode u arhitektonskom oblikovanju energetska efikasnih ostakljenja i inteligentnih pročelja građevina [3].

#### 4.4. Sustavi za dnevno osvjetljenje unutarnjih prostora zgrade

Energija potrebna za umjetno osvjetljenje unutarnjih prostora zgrade, mnogo je veća no što se naizgled čini, pri čemu ispravno projektiranje dnevnog osvjetljenja ne reducira samo energetska potrošnju umjetne rasvjete već i potrošnju raznih uređaja za rashlađivanje prostora dodatno pregrijanih rasvjetnim tijelima. Prirodno, dnevno osvjetljenje u arhitekturi je povijesni motiv istraživanja koji rezultira tradicionalnim i unutarnjim rješenjima radi što uspješnije regulacije željenog intenziteta osvjetljenja unutarnjih prostora zgrade [3].

Radi djelotvorne zaštite od preintenzivnog osvjetljenja primjenjuju se sljedeća rješenja:

- arhitektonska geometrija: trijemovi, rebrance, žaluzine, tende i dr.;
- elementi vanjske zaštite od sunca: razni pokretni i nepokretni brisoleji, inteligentna pročelja, suvremena selektivna ostakljenja i dr.



Uspješni sustav dnevnog osvjetljenja uključuje brojne elemente o kojima treba voditi računa već u početnoj fazi planiranja i projektiranja zgrade:

- orijentacija, prostorna organizacija i geometrija prostora;
- raspored, oblici i dimenzioniranje otvora kroz koje prodire dnevno svjetlo;
- smještaj i površinska svojstva unutarnjih pregrada koje reflektiraju dnevno svjetlo i doprinose njegovoj raspodjeli;
- raspored, oblici i karakteristike raznih pokretnih ili nepokretnih uređaja za zaštitu od preintenzivnog svjetla i blještavila;
- svjetlosne i toplinske značajke ostakljenih ploha;
- zadovoljenje standarda svjetlosne udobnosti (eng. visual comfort);
- osiguravanje zdravstveno-bakteriološke funkcije optimalne dnevne osunčanosti stambenih prostora;
- poboljšanje energetske efikasnosti i ušteda energije ispravnim dimenzioniranjem sustava umjetne rasvjete, ventilacije i klimatizacije.

Važno je naglasiti nužnost pooštavanja propisa o zdravstveno bakteriološkoj funkciji insolacije i time prekinuti s dosadašnjom praksom po kojoj je higijensko-zdravstveni minimum propisani projektantski optimum [3].

#### 4.5. Zračni pretvornici-kolektori

Zračni pretvornik-kolektor je energetski efikasan element u serijskoj proizvodnji koji se sve više koristi u suvremenim arhitektonskim ostvarenjima. Vizualno i dimenzionalno nalik je na toplinske vodene pretvornike-kolektore, a može se, kao obložni element ugrađivati na kose i vertikalne plohe. Ovi se pretvornici u modernim arhitektonskim rješenjima postavljaju kao integralni dio arhitektonskog omotača zgrade, tvoreći "sunčano pročelje" ili "sunčani krov" na kojima kolektor integriran u samu konstrukciju zgrade tvori materijal završne obloge zidova ili pokrova.

Zračni kolektori se mogu postavljati na ravne i kose krovove tako da se uopće ne vide iz pješačkih vizura, a u slučaju najvećih ograničenja u kontekstu zaštite kulturne ili povijesne baštine, mogu se postavljati u okolišu građevine (nastrešnice, ograde i dr.). Primjer uspješne primjene zračnih kolektora je višestambena zgrada izgrađena u okviru Međunarodne izložbe arhitekture u Berlinu (IBA), 1987. godine, prema projektu arhitekta prof. Hasse Schrecka, gdje se u postavljenim kolektorima zrak zagrijavao na 25-30°C, što je rezultiralo uštedom od cca 50% godišnjih potreba za zagrijavanje zgrade [3].

#### 4.6. Spremnici topline

Osnovna zadaća spremnika topline je viškove dozračene sunčeve energije što sigurnije pohraniti za vrijeme kad će sunčevo zračenje biti nedovoljno za

podmirivanje energetske potreba, pri čemu je jedan od glavnih problema odabir materijala zadovoljavajućih termofizičkih karakteristika [3].

Masa nosive i nenosive strukture građevine, ovisno o zapremnini i vrsti materijala, ima zimsku i ljetnu toplinsku akumulaciju koja se uračunava u energetske bilancu građevine. U pasivnoj sunčanoj arhitekturi spremnici za akumulaciju topline su posebno projektirani i izvedeni dijelovi masivnih zidnih i podnih/stropnih konstrukcija. Insolacijske i klimatske značajke Hrvatske (prvenstveno mediteranski dio) temelj su učinkovite primjene spremnika topline. Važno je naglasiti da će značaj akumuliranja solarne energije dodatno porasti stupanjem na snagu novog propisa o toplinskoj zaštiti zgrada koji će obvezati projektante na proračun solarnih i internih toplinskih doprinosa radi daljnjeg stimuliranja razvoja pasivne sunčane arhitekture [6], [7].

### 5. ZAKLJUČAK

Višom razinom građevinske toplinske zaštite smanjuju se troškovi grijanja i povećava toplinska udobnost kroz čitavo vrijeme korištenja zgrade uz porast investicijskih troškova izgradnje ili rekonstrukcije zgrade. Brojne analize dodatnih investicijskih troškova u poboljšanje toplinske zaštite, u većini slučajeva dokazuju ekonomsku opravdanost ulaganja. Pored trajnog smanjenja troškova za grijanje, viša razina toplinske zaštite znači i ugodniju klimu u prostoru zgrade, zdravije stanovanje i duži životni vijek zgrade. Navedene činjenice trebale bi djelovati poticajno na potencijalne graditelje da projektiraju i izvedu zgrade s ekonomski optimalnom vrijednosti toplinske zaštite, ali u praksi to, nažalost, nije tako. Za stambenu izgradnju je karakteristična situacija da investitor, vlasnik stana i stanar nisu ista osoba. Investitor snosi troškove gradnje, a budući stanari troškove grijanja, što ima za posljedicu sasvim prirodnu suprotnost interesa. Investitor nastoji što jeftinije graditi i prilikom prodaje ostvariti što veći profit, pri čemu troškovi korištenja zgrade nisu njegov prvenstveni interes i kao takvima im nije posvećena dovoljna pažnja. Ovdje nastupa moment kad je potrebno da država kao zaštitnik javnih interesa i općeg dobra zakonski obveže sve sudionike na racionalno gospodarenje energijom. Sljedeći korak u uspostavi energetske efikasnosti u zgradarstvu je iznalaženje uspješnih načina kontrole implementacije mjera energetske efikasnosti i zaštite okoliša.

Glavni principi gospodarenja energijom u zgradi bazirani na visokotehnološkim, suvremenim dostignućima su sljedeći:

- ispravno orijentiranje i dimenzioniranje prostora unutar zgrade;
- kvalitetna toplinska izolacija (npr. transparentna izolacija);
- primjena energetski efikasnih ostakljenja i inteligentnih pročelja;



- energetske efikasne sustave rasvjete, grijanja, hlađenja i provjetravanja;
- sustave za dnevno osvjetljenje;
- pasivni sunčani elementi i sustavi;
- aktivna solarna postrojenja;
- energetske i ekološke efikasne građevinske materijale i elemente.

Suvremene tehnologije, energetske efikasne građevinske materijale i elemente, principi pasivne sunčane arhitekture i aktivna solarna postrojenja omogućuju ostvarivost izgradnje kuće nulte energetske potrošnje.

Bioklimatski koncept kuće nulte energetske potrošnje osigurava potpuno kompatibilan odnos energetike, arhitekture i urbanističkog planiranja prema prirodnom i izgrađenom okolišu građevine [4].

Prigodom odabira načina gradnje ili rekonstrukcije zgrade, građevinskih tehnologija, materijala i elemenata, te energetske uređaja, postrojenja i sustava trebaju biti zadovoljeni energetske, ekonomske i ekološke zahtjevi u najvećoj mogućoj mjeri.

#### LITERATURA

- [1] V. KOLEGA [et. al.] "KUEN<sub>ZGRADA</sub> - Program energetske efikasnosti u zgradarstvu: prethodni rezultati i buduće aktivnosti", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, travanj 1998.
- [2] L. F. JESCH: "Transparent insulation technology", ETSU-OPET, For the Commission of the European Communities, DG XVII, Harwell, Oxfordshire, 1993.
- [3] B. HRASTNIK [et. al.] "SUNEN - Program korištenja energije sunca: prethodni rezultati i buduće aktivnosti", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, travanj 1998.
- [4] M. BRUER: "Das neue System 2000", Isorast-Technikhandbuch, Isorast GmbH, Taunusstein, 1997.
- [5] W. FEIST: "Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern", Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Verlag das Beispiel, Darmstadt, 1996.
- [6] V. KOLEGA "Uvod u nacionalni program energetske efikasnosti u zgradarstvu - KUEN<sub>ZGRADA</sub>", Energija br. 5, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, listopad 1999.
- [7] Smjernice Vijeća Europske unije 89/106 o građevinskim proizvodima, Temeljni dokument o uštedi energije i toplinske zaštite, 21. prosinca 1988.

- [8] LJ. MIŠČEVIĆ: "Passive Solar Architecture in Croatia", Solar World Congress, Proceedings, Budapest, 1993.
- [9] LJ. MIŠČEVIĆ: "Bioclimatic Rehabilitation of Dwellings in Croatia, Sun at Work in Europe, The Franklin Comapny Consultants Ltd., Vol. 8: No. 3, Birmingham, UK, 1993.
- [10] M. DRAGOVIĆ, J. GRABOVAC: "Staklo u energetskoj bilanci zgrade, Uvjeti kvalitetne izgradnje hrvatskih regija, Zbornik radova međunarodnog stručnoznastvenog simpozija, Savez energetičara Hrvatske, Zagreb, 1994.

#### TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF NATIONAL ENERGY EFFICIENCY PROGRAMME IN BUILDINGS - KUEN<sup>Building</sup>

The paper analyses the economic justification of investment into buildings' heat insulation and describes the technological characteristics as well as the choice criteria of heat insulation materials.

Furthermore, an overview of current achievements in passive solar architecture is given with the aim of increasing energy efficiency and environmental protection in buildings.

#### DAS NATIONALE PROGRAM: ENERGETISCHER GÜTEGRAD IM GEBÄUDEWESEN - "KUEN<sub>ZGRADA</sub>". TECHNOLOGISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE MERKMALE

Im Artikel wird die wirtschaftliche Berechtigung der Anlage in die Besserung des Wärmeschutzes von Gebäuden erörtert und technologische Merkmale sowie Maßstäbe für die Wahl der Wärmedämmstoffe beschrieben.

Weiters sind, zum Zweck der Erhöhung des energetischen Gütegrades und des Umweltschutzes, neuzeitliche Errungenschaften passiver Sonnenarchitektur dargestellt.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.**  
**Energetski institut "Hrvoje Požar"**  
**Savska cesta 163**  
**10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2000-06-02.