

# Ekološki principi projektovanja omotača zgrada i dalje: Pasivne i aktivne mere

Thaleia Konstantinou<sup>1\*</sup> i Alejandro Prieto<sup>2</sup>

\* Autor za korespondenciju

1 Fakultet za arhitekturu i građenu sredinu, Tehnološki univerzitet u Delftu, e-mail: t.konstantinou@tudelft.nl

2 Fakultet za arhitekturu i građenu sredinu, Tehnološki univerzitet u Delftu, e-mail: A.I.PrietoHoces@tudelft.nl

APSTRAKT

**Težnja za smanjenjem potrošnje energije i generisanja gasova sa efektom staklene bašte u sektoru zgrada stavlja pasivne i održive arhitektonske objekte u prvi plan. Jednostavne metode i tehnike koje se prožimaju sa odgovarajućim projektantskim merama i izborom materijala i sistema i koje odlikavaju razmatranje elemenata lokalnog okruženja, kao što su vazduh i Sunčevo zračenje, obezbeđuju toplotni i vizuelni komfor uz manju upotrebu neobnovljivih izvora energije. Ove tehnike se nazivaju ekološkim ili bioklimatskim principima projektovanja. Postoje dva osnovna tipa mera: pasivne i aktivne. Pasivni projektantski principi eksploatišu svojstva omotača zgrade radi smanjenja ili povećanja gubitaka ili dobitaka toplote, odnosno radi smanjenja potrebe za energijom. Pored toga, aktivne mere kao što su sistemi grejanja i solarne tehnologije električne energije koriste se za proizvodnju i distribuciju energije potrebne za dostizanje korisničkog komfora. Cilj ovog poglavlja je da pruži pregled principa projektovanja udobnijih i energetske efikasnih zgrada. Pasivni i aktivni projektantski principi predstavljaju integralni deo koncepta ekološke ispravnosti kojima se unapređuje ponašanje zgrada, bilo da se radi o postizanju udobnosti i funkcionalnosti uz racionalne energetske zahteve ili čak o postizanju standarda održivosti kao što su nula-energetska ili pasivna kuća.**

KLJUČNE REČI ekološki, bioklimatsko projektovanje, pasivni, aktivni

## 1 Uvod

Cilj da se smanje potrošnja energije i generisanje gasova sa efektom staklene bašte u sektoru zgrada stavlja pasivne i održive arhitektonske objekte u prvi plan. Za ispunjenje pomenutog cilja mogu se koristiti jednostavne metode i tehnike počev od odgovarajućeg oblikovanja zgrade i izbora materijala i sistema, u odnosu na elemente okruženja, kao što su voda i Sunčevo zračenje, i radi pružanja toplotnog i vizuelnog komfora korisnicima. Ove tehnike su poznate kao ekološki ispravno ili održivo projektovanje. Ideje na kojima su bazirane datiraju još od vremena kada je čovek tragao za skloništem. Kao pojam, bioklimatsko projektovanje je prihvaćeno i razvijano od 1960-ih godina. Bioklimatska pitanja kao što su toplotni komfor i pasivna, niskoenergetska arhitektura predstavljaju polazište za projektovanje novih i obnovu postojećih zgrada.

Razlikuju se dve osnovne grupe mera: pasivne i aktivne. S jedne strane, pasivne mere su principi integrisani sa arhitektonskim projektom, kojima se svojstva omotača zgrade eksploatišu na način da se povećanjem ili smanjenjem gubitaka i dobitaka toplote redukuje potreba za energijom. Aktivni sistemi se, s druge strane, koriste za proizvodnju i distribuciju energije radi ostvarivanja korisničkog komfora. Upotrebu otpadne energije takođe treba uzeti u razmatranje kako na nivou pojedinačnih zgrada tako i na nivou susedstva.

Cilj ovog poglavlja je da pruži pregled pasivnih i aktivnih projektantskih principa koji se odnose na oblikovanje omotača zgrada i izbor sistema, a primenjuju se radi postizanja udobnosti i energetske efikasnosti. Na početku su razmatrane opšte smernice i moguća klasifikacija strategija sa akcentom na hijerarhijske modele koji potpomažu projekatnski proces. Hijerarhijski pristup održivosti na prvom mestu sugerise prevenciju korišćenja energije zatim upotrebu obnovljivih izvora energije u najvećoj mogućoj meri i, konačno, efikasnu upotrebu fosilnih goriva. U poglavlju je potom objašnjeno koji pasivni i aktivni projektantski principi i na koji način doprinose konceptima ekološke ispravnosti. Poglavlje se završava obrazlaganjem načina mogućeg vrednovanja predstavljenih mera na osnovu klimatskih karakteristika.

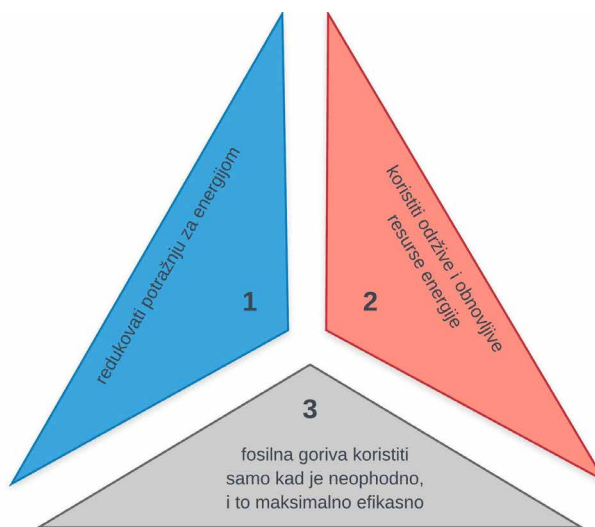
## 2 Hijerarhijski pristup projektovanju održivih zgrada

Nekoliko autora je razmatralo implementaciju strategija za uštedu energije u kontekstu njihovog organizovanja na osnovu više različitih parametara. Tako je Lechner 1991. godine predložio pristup projektovanju održivih zgrada koji sadrži tri nivoa [Lechner, 2014]. Prvi nivo podrazumeva primenu osnovnih projektantskih strategija kao što su orijentacija, izolacija i korišćenje spoljne solarne zaštite. Ako ovo nije dovoljno da se ispune zahtevi, što je u toplom klimatskom području čest slučaj, uvodi se drugi nivo mera koje obuhvataju pasivne i hibridne sisteme. Mere drugog nivoa su zasnovane na prirodnoj energiji i tiču se uvođenja rashlađivanja putem isparavanja, korišćenja tla i dnevne/noćne ventilacije. Na kraju, u okviru trećeg nivoa mera može se u zgradu

koja je prethodno pasivno optimizovana uvesti mehanička oprema, ukoliko je to potrebno.

Herzog, Krippner i Lang (2004) su na sličan način definisali dva niza strategija za upravljanje regulatornim funkcijama fasada (Herzog, Krippner, & Lang, 2004). Ovde je prioritet dat razmatranju mera poput toplotne izolacije, korišćenja solarne zaštite i čak vegetacije. Zatim slede intervencije u domenu uvođenja dopunskih servisa zgrade kao što su veštačko osvetljenje i klimatizacija, ali samo ako je to neophodno. Autori su takođe razmatrali upotrebu toplotnih kolektora ili fotonaponskih panela što se dovodi u vezu sa hibridnim korišćenjem prirodne energije koju je Lechner opisao kao alternativu korišćenju fosilnih goriva.

1996. godine Lysen je uveo termin „energetsko trojstvo“ („Trias Energetica“) (AgentschapNL, 2013) zasnovan na trostepenoj shemi Duijvestein-a (1993) za rangiranje mera održivosti u građevinskoj industriji. Na prvom mestu, tu je *prevencija* upotrebe energije, zatim *korišćenje obnovljivih izvora* u najvećoj mogućoj meri i, konačno, ukoliko je to i dalje neophodno, upotreba fosilnih goriva na *najefikasniji* mogući način. Međunarodno prihvatanje energetskog trojstva je započeto 2001. godine usvajanjem modela od strane bivšeg predsednika Međunarodnog društva za solarnu energiju (en. International Solar Energy Society) (Entrop & Brouwers, 2010). Za nula-energetske zgrade i, naročito, kuće treći korak sugeriše veoma efikasno korišćenje konačnih energetskih izvora i stopostotnu kompenzaciju obnovljivom energijom (AgentschapNL, 2013).



SL. 2.1 Princip „Energetsko trojstvo“ („Trias Energetica“)

U novije vreme, energetsko trojstvo je zamenjeno *strategijom novih koraka* (en. New Stepped Strategy – NSS). Ovde je uveden značajan korak između minimalizovanja zahteva i korišćenja obnovljivih izvora i inkorporirana je strategija toka otpada po uzoru na princip *od klevke do klevke* (en. Cradle-to-Cradle). Prethodni poslednji korak kojim se

ipak prihvatala upotreba fosilnih goriva je sa novim modelom zastareo (van den Dobbelsteen, 2008).

<b>PASIVNE/ PROJEKTANTSKE MERE</b>	<b>Toplotna zaštita</b>	Izolacija	Organska Mineralna Naftni derivati Drugo	
		Izolovani prozori	Izolovani stakleni paneli Izolovani ramovi	
		Infiltracija		
		Solarna zaštita	Trajni elementi (npr. konzole) Fiksni solarni elementi Pokretni/adaptabilni solarni elementi Staklo sa funkcijom solarne zaštite	
	<b>Solarni toplotni dobici</b>	Direktni solarni dobici		
		Solarni bafer prostori	Zimska bašta Dvostruka fasada	
		Indirektni solarni dobici	Trombov zid Dodati staklenik	
	<b>Odbijanje toplote</b>	Ventilisanje	Dnevno ventilisanje Noćno ventilisanje	
		Rashlađivanje isparavanjem / adijabatsko rashlađivanje	Direktno Indirektno	
		Rashlađivanje preko tla		
		Hidrogeotermalno/ dubokojezersko/oceansko rashlađivanje		
		Rashlađivanje zračenjem		
	<b>AKTIVNE MERE/ OPREMA</b>	<b>Generisanje toplote</b>	Grejanje uz efikasno korišćenje neobnovljivih izvora	Kotao Toplotna pumpa Kombinovani sistemi (toplota+električna energija)
			Grejanje pomoću obnovljive energije	Solarni kolektori Obnovljiva goriva Geotermalna energija
		<b>Disipacija toplote</b>	Električno rashlađivanje Parno-kompresioni ciklus	Potpuno vazdušni sistemi Potpuno vodeni sistemi Vazdušni i vodeni sistemi Direktni sistemi sa rashlađivačem
Alternativni sistemi rashlađivanja Rashlađivanje toplotom			Sorpcioni Sa desikantom	
<b>Električna energija</b>		Dnevno svetlo		
		Električni uređaji	Efikasno osvetljenje Efikasni uređaji	
		Generisanje električne energije iz obnovljivih izvora	Fotonaponski paneli na zgradi Integrirani fotonaponski paneli Mikroturbine	

TABELA 2.1 Pregled pasivnih i aktivnih mera i njihova svrha u kontekstu ekološki ispravnog projektovanja

Zajednička svim pomenutim pristupima je činjenica da se mere koje se primenjuju pri projektovanju ekološki ispravnih zgrada generalno mogu klasifikovati kao pasivne i aktivne. Pasivne mere se odnose na projekat zgrade i svojstva i funkciju njenog omotača a aktivne na korišćenje mehaničke opreme. Svrha i pasivnih i aktivnih mera je pospešivanje toka toplote ka korisnom prostoru i od njega, pri čemu je krajnji cilj ostvarivanje toplotnog komfora. U Tabeli 2.1 je dat prikaz ovih mera i

navedeni su njihovi ciljevi. Sledeći odeljci u okviru poglavlja obrazlažu principe na osnovu predložene klasifikacije aktivnih i pasivnih mera.

### 3 **Pasivne / projektantske strategije**

Pasivni projektantski principi teže da minimalizuju potražnju za energijom u zgradi. Pravilno razmatranje lokalnih klimatskih uslova i elemenata okruženja, oblika zgrade i svojstava materijala čine redukciju energetske potrebe mogućom. Pasivni principi se prema svojoj osnovnoj funkciji mogu podeliti na toplotnu zaštitu, ostvarivanje solarnih dobitaka toplote i odbijanje toplote.

#### 3.1 **Toplotna zaštita**

Radi smanjenja energetske potrebe omotač zgrade treba da spreči ili bar minimalizuje tok toplote usled temperaturne razlike. Zimi se tok odvija od unutrašnjeg ka spoljnom prostoru a leti, kada je spoljna temperatura viša od unutrašnje, je obrnut. Mali prolaz toplote komponenta je, dakle, zahtevan tokom svih godišnjih doba. Povećanje zaptivosti i toplotnog otpora omotača zgrade uz korišćenje izolacionih materijala na neprovidnim delovima omotača i izolovanih prozora zajedno čine glavnu strategiju toplotne zaštite.

##### 3.1.1 **Izolacija**

Materijal sa velikim toplotnim otporom koji se suprotstavlja transferu toplote između zona sa različitim temperaturama se smatra izolatorom (McMullan, 2002, str. 37). Ovakvi materijali se obično primenjuju na neprovidnim građevinskim komponentama i služe da unaprede toplotnu i zvučnu izolaciju zgrade. Oni redukuju transmisionu gubitke toplote i dovode do povećanja površinskih temperatura (Hausladen, Saldanha, & Liedl, 2008).

Efekat izolacije je rezultat male provodljivosti toplote vazduha koji je zatvoren u poroznom materijalu. Široki asortiman izolacionih materijala obuhvata poznate vrste, kao što su polistiren i mineralna vuna, i alternativne materijale koji postepeno postaju dostupni na tržištu, npr. ovčiju vunu ili konoplju. U Tabeli 3.1 su prikazani tipični izolacioni materijali klasifikovani na prvom mestu po poretku sirovine na organske, neorganske/mineralne i naftne derivate. Treba pomenuti da tehnologije izolacije mogu biti i veštački proizvedene kao što je to, na primer, slučaj sa vakuumskim izolacionim panelima. U literaturi su dostupne dodatne informacije o specifikacijama, formama i primeni različitih materijala (AEA, 2010; Giebeler, 2009; Greenspec, 2013; Lyons, 2010; Papadopoulos, 2005).

	IZOLACIONI MATERIJAL	GUSTINA $\rho$ [KG/M <sup>3</sup> ]	PROVODLJIVOST TOPLOTE $\lambda$ (W/MK)	INDEKS OTPORA NA DIFUZIJU VODENE PARE $\mu$	KLASA OTPOR- NOSTI NA POŽAR EUROCLASS	DOSTUPNE FORME	PRIMENA	DEBLJINA SLOJA IZOLACIJE ZA U-VREDNOST 0.2 W/M <sup>2</sup> K (CM)	UGRAĐENA ENERGIJA (MJ/KG)
ORGANSKI	Lan	20-50	0.038-0.045	1-2	E	Rolne, prskani materijal, rastresita ispuna	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-20	11-30
	Konoplja	20-50	0.038-0.045	1-2	E	Rolne, prskani materijal, rastresita ispuna	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-36	10.5-33
	Drvena vlakna	150-250	0.040-0.081	2-5	E	Table, prskani materijal	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-36	17
	Drveno-vunene table	60-600	0.080-0.100	2-5	E	Table	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	40-45	10.8
	Pluta	100-120	0.038-0.050	10-18	E	Granule, table	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-25	26
	Trska	155	0.040-0.065	2	E	Rolne	Spoljni zid, pod, potkrovlje, krov	20-29	
	Ovčija vuna	20-50	0.040-0.044	1-2	E	Rolne, prskani materijal	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-20	20.9
	Celuloza	25-66	0.040-0.045	1-2	E	Rastresita ispuna, prskani materijal	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-20	7,6
MINERALNI	Kamena vuna	20-40	0.031-0.040	1-2	A1	Rolne, prskani materijal, table	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	16-22	16,8
	Staklena vuna	16-25	0.031-0.040	1-2	A1	Rolne, prskani materijal, table	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	16-22	49,6
	Mineralna pena	70	0.035-0.051	3-5	A1	Table	Spoljni zid, ETICS, pod, potkrovlje, krov	16-20	
	Perlit	60-160	0.040-0.060	5-25	A1	Rastresita ispuna	Spoljni zid, šupljina, pod, potkrovlje	25	
	Čelijsko ili penasto staklo	10-120	0.040-0.055	$\infty$	A1	Rastresita ispuna, table	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	18-25	26
	Aerogel	180	0,013	$\infty$	A	Rolne, granule, monolitni	Spoljni zid, potkrovlje, krov	6,5	53
NAFTNI DERIVATI	Ekspandirani polistiren (EPS)	15-30	0.035-0.040	20-100	od D do F	Table	Spoljni zid, ETICS, potkrovlje, krov	16-18	108
	Ekstrudirani polistiren (XPS)	20-50	0.030-0.040	5-23	E	Table	Spoljni zid, ETICS, pod, krov	13-18	95
	Poliuretan	30-40	0.025-0.040	30-100	C (B za sendvič-panele sa metalnim licem)	Table (PUR/PIR), nanošenje pene na licu mesta	Spoljni zid, šupljina, ETICS, pod, potkrovlje, krov	11-18	101
DRUGO	Vakuumski izolacioni paneli (VIP)	150-180	0.07-0.10	$\infty$	A (za VIP jezgro)	Paneli	Spoljni zid, pod, potkrovlje	3-4	81.9
	Transparentna izolacija			5-26		Table	Spoljni zid		

TABELA 3.1 Tipični izolacioni materijali (Konstantinou, 2014, Tabela 4.3)

Pored svojstava u vezi toplote i vlage, ostali parametri koji usmeravaju konačan izbor izolacionog materijala su otpornost na dejstvo vatre, zvučna izolacija, mehaničke osobine, cena, pogodnost i jednostavnost

ugradnje, ekološke karakteristike i sadržaj zagađujućih materija, proces proizvodnje i hemijski sastav.

Izolacioni materijali se prema formi mogu podeliti na vlaknaste, penaste, granulaste i rastresite (Hausladen et al., 2008). Adekvatnost različitih izolacionih materijala zavisi od njihove primene. Rastresite ispune se mogu ubaciti između drvenih stubova i greda ili, u opštem slučaju, u konstruktivno šuplje prostore. Izolacioni paneli i podloge se seku prema meri i onda ugrađuju prema tačnim dimenzijama. Izolacione table od čvrste pene su zbog veće otpornosti pogodne za spoljnu upotrebu.

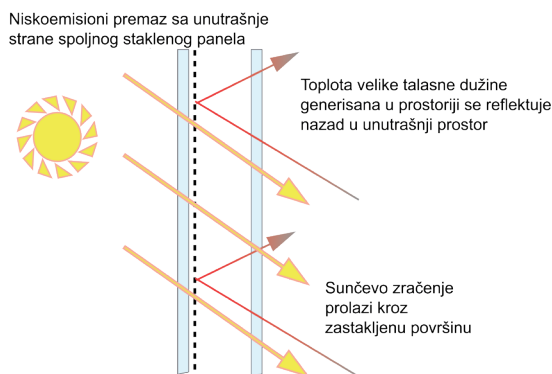
### 3.1.2 Izolovani prozori

Otvori su integralni deo omotača zgrade i omogućavaju vizuelni kontakt sa spoljnim prostorom, prolaz dnevnog svetla i ventilisanje. Da bi ostvarili svoju ulogu, otvori su obično operabilni i napravljeni od transparentnog materijala, najčešće stakla, čiji nedostatak predstavljaju loše toplotne karakteristike. S druge strane, tehnologija pruža mogućnost korišćenja izolovanih prozora koji se sastoje od staklenih panela i ramova sa manjom toplotnom provodljivošću.

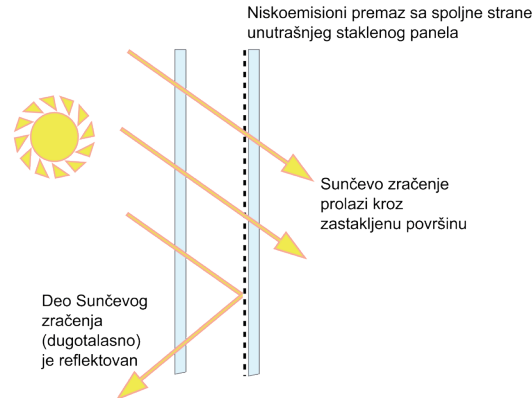
Tokom poslednjih decenija, zamena prozora sa jednostrukim zastakljenjem prozorima sa višestrukim staklenim panelima i vazдушnim međurazmacima rezultovala je značajnim povećanjem njihove izolacione moći. Provodljivost vazdušnog međuprostora između staklenih panela se dodatno smanjuje kada se on ispuni gasom sa manjom provodljivošću i sporim kretanjem, npr. argonom ili kriptonom, čime se poboljšavaju toplotne performanse zastakljenih jedinica.

Niskoemisioni premazi (en. Low-emissivity coatings – Low-E) se koriste radi redukovanja površinske emisivnosti stakla. Oni su sačinjeni od mikroskopski tankih filmova od metalnih oksida ili poluprovodnika i primenjuju se na strani staklenih panela koja je okrenuta prema vazdušnoj šupljini (međuprostoru između panela). Uglavnom su transparentni pri izlaganju vidljivom delu spektra svetlosti ali imaju sposobnost da redukuju dugotalasno infracrveno toplotno zračenje koje stakleni panel apsorbuje i emituje. Ukoliko je premaz apliciran na spoljnom panelu, što je preporuka za hladno klimatsko područje, re-emisija se usmerava ka unutrašnjem prostoru zgrade i tako redukuje gubitak toplote. U toplom području premaz treba postaviti na unutrašnji panel tako da se Sunčevo zračenje reflektuje nazad u spoljno okruženje (Sl. 3.1).

## Hladna klima: Propuštanje Sunčevog zračenja



## Topla klima: Deo Sunčevog zračenja je reflektovan



SL. 3.1 Sheme pozicioniranja niskoemisionog premaza

Za vrednovanje performansi staklenih panela obično se koristi koeficijent prolaza toplote ili *U-vrednost*. Ukupna toplotna provodljivost prozora zavisi od broja panela, širine međuprostora između njih, ispune gasom i postojanja premaza. U Tabeli 3.2 upoređene su karakteristike različitih tipova zastakljenja. Iako date vrednosti mogu da variraju za određene proizvode, svrha njihovog predstavljanja ovde je da se ukaže na toplotne osobine zastakljenja prema pripadajućim specifičnostima.

ZASTAKLJENJE	BROJ PANELA	ISPUNA GASOM	DIMENZIJE (MM)	U-VREDNOST (W/M <sup>2</sup> K)
Jednostruko	1	-	4	5.6
Dvostruko	2	Vazduh	4-6-4	3.3
Dvostruko	2	Vazduh	4-12-4	2.8
Trostruko	3	Vazduh	4-6-4-6-4	2.3
Trostruko	3	Vazduh	4-12-4-12-4	1.9
Dvostruko sa niskoemisionim premazom	2	Vazduh	4-6-4	2.5
Dvostruko sa niskoemisionim premazom	2	Vazduh	4-12-4	1.7
Trostruko sa 2 niskoemisiona premaza	3	Vazduh	4-6-4-6-4	1.6
Trostruko sa 2 niskoemisiona premaza	3	Vazduh	4-12-4-12-4	1.0
Dvostruko sa niskoemisionim premazom i argonom	2	Argon	4-6-4	2.1
Dvostruko sa niskoemisionim premazom i argonom	2	Argon	4-12-4	1.3
Trostruko sa 2 niskoemisiona premaza i argonom	3	Argon	4-6-4-6-4	1.2
Trostruko sa 2 niskoemisiona premaza i argonom	3	Argon	4-12-4-12-4	0.8

TABELA 3.2 Poređenje vrednosti tipičnog prolaza toplote kroz različite varijante zastakljenja (Izvor: ISO10077-1, 2006, str. 18, Tabela C.2)

Sa unapređenjem toplotnih karakteristika zastakljenja i zida fokus u rešavanju problema se premešta na toplotne mostove. Da bi se ispunili postavljeni zahtevi za većom efikasnošću omotača zgrade uvode se toplotni prekidi u okviru profila prozorskih ramova. Neki od materijala koji se koriste u ovu svrhu su: ABS (akrilonitril butadien stiren), polietilen velike gustine, poliamid (najlon), PVC-U (polivinilhlorid), polipropilen i poliuretan (ISO10077-2, 2006). Definicija prolaza toplote za okvire *U<sub>f</sub>* razmatra debljinu materijala za ram, toplotni prekid, zastakljenje i zaptivku.



Prozorski ramovi se izrađuju od različitih materijala (Sl. 3.3). Najviše se koriste ramovi od drveta, aluminijuma, čelika ili plastike. Izbor vrste rama zavisi od svojstava, cene materijala i željenog arhitektonskog izraza.

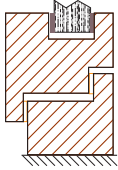
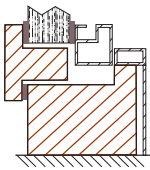
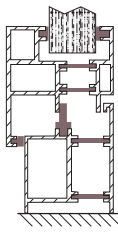
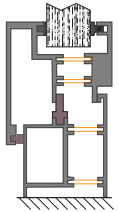
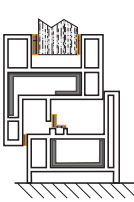
MATERIJAL	HEMATSKI PRESEK *	KARAKTERISTIKE	OGRANIČENJA	PROVODLJIVOST TOPLOTE $\lambda$ (W/MK)*
<b>Drvo</b>		<p>Psihološki/estetski doživljaj 'toplog' materijala</p> <p>Niska vrednost ugrađene energije</p> <p>Dobro toplotno ponašanje</p>	<p>Potrebno redovno održavanje</p> <p>Posebna razmatranja radi sprečavanja prodiranja vode i zaštite od buđi i insekata</p>	0.13
<b>Drvo/aluminijum</b>		<p>Aluminijski deo potpuno pokriva spoljnu stranu rama</p> <p>Zaštita od vremenskih uslova</p> <p>Psihološki/estetski doživljaj 'toplog' materijala u enterijeru</p>	<p>Potrebno redovno održavanje</p> <p>Posebna razmatranja radi sprečavanja prodiranja vode i zaštite od buđi i insekata</p>	Videti provodljivost toplote za drvo i aluminijum
<b>Aluminijum</b>		<p>Ekstrudirani profili</p> <p>Strukturalni integritet</p> <p>Precizna, zaptivena konstrukcija</p> <p>Jednostavno održavanje</p>	<p>Velika toplotna provodljivost</p> <p>Potrebna toplotni prekid</p> <p>Veliko početno ulaganje</p> <p>Visoka vrednost ugrađene energije</p>	160
<b>Čelik</b>		<p>Profili od preklopnog lima</p> <p>Velika otpornost na savijanje i torziju</p> <p>Dobra svojstva u pogledu protivpožarne zaštite</p>	<p>Potrebna toplotni prekid</p> <p>Visoka cena</p> <p>Potrebna zaštita od korozije</p>	50
<b>Plastika (uPVC)</b>		<p>Ekstrudirani profili</p> <p>Otpornost na grebanje i druge uticaje</p> <p>Niska cena</p> <p>Jednostavna ugradnja i održavanje</p> <p>Otpornost na dejstvo vode i na koroziju</p>	<p>Podložnost deformacijama pod dejstvom toplote</p> <p>Neotpornost na dejstvo vatre</p> <p>Ograničena strukturalna jačina</p>	0.17

TABELA 3.3 Tipovi prozorskih ramova (Konstantinou, 2014, Tabela 4.5)

\*prilagodeno iz ISO10077-2 (2006)

### 3.1.3 Infiltracija

Infiltracija ili curenje vazduha podrazumeva njegovo kretanje kroz zatore, pukotine ili druge nenamerno formirane otvore u omotaču zgrade (Sherman & Chan, 2004). Osnovno svojstvo zgrade u vezi sa infiltracijom je vazдушna zaptivenost. Sa energetskog stanovišta, curenje vazduha je među vodećim uzrocima gubitaka toplotne energije, jer omogućava da ugrijani vazduh ode iz tretiranog prostora. I pored

prisutnosti standarda u pogledu zaptivenosti, curenje omotača može da poveća zahteve za energijom za 5-20 kWh/(m<sup>2</sup>a) u umerenom klimatskom području (BPIE, 2011, str. 51). Curenje degradira efektivnost izolacije i omogućuje da vlaga sa potencijalno štetnim dejstvom prodre u unutrašnjost omotača. Ono se javlja na spojevima komponenata, oko prozora i vrata, u pukotinama masivnih zidova i dr., kao i na mestima gde cevi i kablovi prolaze kroz zgradu (Hall, 2008a, str. 49). Kako bilo, težnja ka zaptivenosti omotača mora biti udružena sa odgovarajućim sistemom ventilacije koji sveži vazduh kontrolisano uvodi u zgradu radi očuvanja adekvatnog nivoa kvaliteta vazduha unutrašnjeg prostora.

Vrednosti infiltracije mogu biti iskazane standardima i propisima, kao  $n$  (vol/h), tok vazduha/spoljni omotač ili tok vazduha/površina poda, za razliku u pritiscima od 50 Pa, odnosno 10 Pa ili 4 Pa. Druga jedinica za merenje infiltracije i ventilacije je broj izmena vazduha po satu (en. skr. ACH); ona pokazuje koliko puta je vazduh u nekom definisanom prostoru, tj. prostoriji izmenjen. Velika vazдушna zaptivenost kod energetski efikasnih zgrada znači oko 1.2 ACH pri 50 Pa (EN15242, 2007), dok se 0.6 ACH odnosi na standard pasivne kuće. Izmerene vrednosti do 16 ACH pri 50 Pa (Stephen, 2000) kod postojećih zgrada pokazuju da je potrebno značajno unapređenje zaptivenosti postojećeg fonda.

Adekvatna zaptivenost se postiže pažljivom primenom mera tokom faza projektovanja i izvođenja. Materijali i njihova primena zavise od tipa curenja. Za sprečavanje pojave nekontrolisanog toka vazduha i vode mogu se koristiti membrane za vazdušne barijere i zaptivke, kao što su ekspanzirana pena, zaptivke primenjene pomoću pištolj-aplikatora, trake i ispunjivači.

Kod prozora se curenje vazduha javlja oko okvira, na spojevima sa zidom i između pokretnih delova okvira. Curenje na spoju zid-okvir može da učestvuje sa 14% od ukupnog curenja. Ovaj izvor curenja se može zaustaviti primenom različitih metoda zaptivanja (Sherman & Chan, 2004). Neki materijali koji se koriste za zaptivanje i zaštitu od vremenskih uslova su dati standardom ISO10077-2 (2006).

### 3.1.4 Solarna zaštita

Kao što je objašnjeno u odeljku 3.2, Sunčevo zračenje se tokom zime smatra poželjnim ali tokom leta ono može da uzrokuje pregrevanje zauzetog unutrašnjeg prostora. Najbolja solarna zaštita je spoljna; njome se direktno Sunčevo zračenje presreće pre nego što dospe do prozora nekog zida. Sistemi zaštite su različitih oblika, dimenzija i položaja u prostoru i u odnosu na omotač, pa tako variraju od jednostavnih venecijanera do naprednijih i složenijih sistema koji određuju ukupnu arhitekturu zgrade (npr. Sl. 3.2). Izbor zavisi od željenih performansi i funkcionalnih i estetskih zahteva. Na primer, spoljna zaštita je efikasnija od unutrašnje iako zahteva više održavanja.

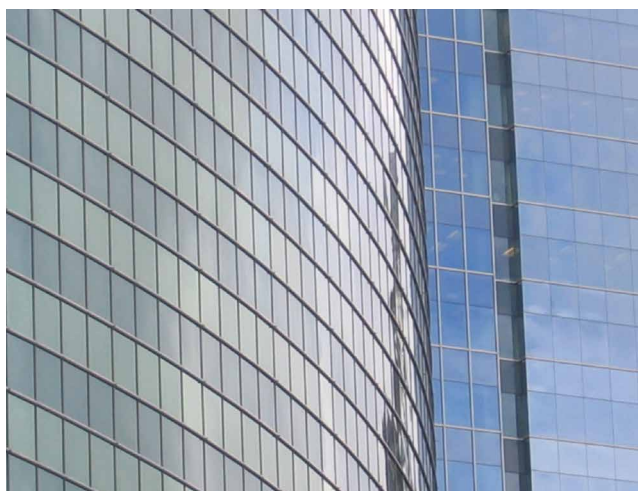
U odnosu na mogućnost kontrole sistemi solarne zaštite se mogu podeliti na pokretne i fiksne. Dok prvi korisnicima nude više opcija ali podrazumevaju i veće troškove održavanja, drugi se smatraju efikasnijim (ukoliko su dobro projektovani) ali i sa promenljivim učinkom tokom dana zbog nemogućnosti promene položaja. Pokretni sistemi se obično nazivaju adaptivnim jer se prilagođavaju promenljivim unutrašnjim ili spoljnim uslovima.

Pri određivanju vrste solarne zaštite orijentacija predstavlja glavni faktor. Horizontalni elementi solarne zaštite na južnoj strani odbijaju direktno Sunčevo zračenje uz mali vizuelni uticaj. Trajni elementi kao što su konzole funkcionišu kao sezonska solarna zaštita. Oni blokiraju letnje zrake koji su pod većim uglom a omogućavaju solarno grejanje zimi dozvoljavajući zracima sa manjim upadnim uglom da prodru u unutrašnje prostorije. Na istočnoj i zapadanoj fasadi su poželjni pokretni vertikalni elementi (lamelle) jer je Sunce na manjoj visini. Pravilnim određivanjem ugla lamela Sunčevo zračenje se blokira a vizure ka spolja delimično zadržavaju (Hausladen et al., 2008).

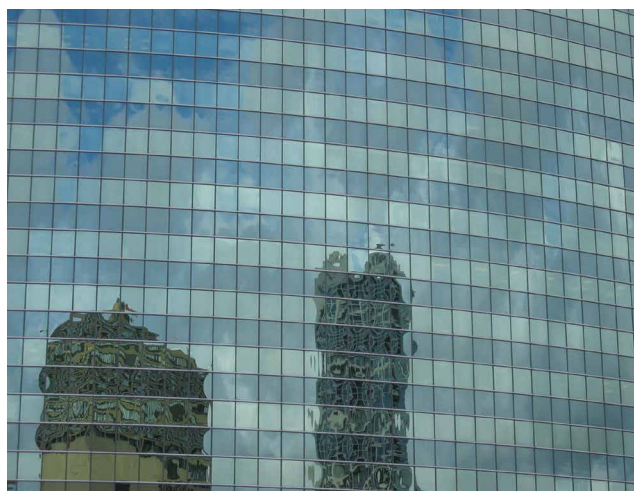


SL. 3.2 Al-Bahr kule, Abu Dabi.  
Mašrabija videna iznutra – otvoreni  
prostor 'nebeske' bašte (Fotografija:  
Abdulmajid Karanouh, Ramboll  
(Karanouh & Kerber, 2015))

Izbegavanje uvođenja viška Sunčevog zračenja može se, štaviše, postići korišćenjem specijalnih vrsta stakla kao što je obojeno, presvučeno ili staklo sa promenljivim karakteristikama. Staklo se boji dodavanjem malih količina metalnih oksida u smesu običnog ili valjanog stakla dajući mu bronzanu, zelenu, plavu ili sivu boju koja ne utiče na osnovne osobine osim što menja karakteristike prolaza Sunčeve energije.



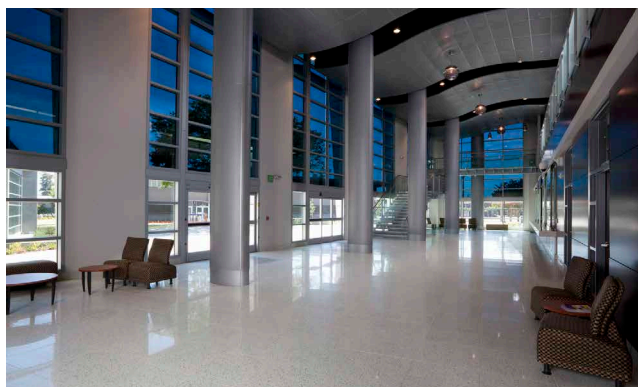
A



B

SL. 3.3 A+B: Reflektujuće staklo na poslovnim zgradama u Čikagu, SAD

Savremene tehnologije omogućile su razvoj stakala čija se svojstva transmisije regulišu reverzibilnom promenom od tamnije ka svetlijoj boji i od providnog do prozirnog materijala. Na primer, fotohromatsko staklo sa premazima od srebro halida se usled incidentnog Sunčevog zračenja menja od providnog do tamnog. S druge strane, termohromatsko staklo je sa premazom od vanadijum oksida koji pri porastu temperature uzrokuje reverzibilnu faznu promenu (Soltani, Chaker, Haddad, & Kruzelecky, 2008). Elektrohromatsko staklo je više kontrolabilno jer je presvučeno volfram trioksidom koji se menja od čistog do tamnog kada se koristi električna struja. Efekat koji se postiže je prelaz stakla od bistrog u transparentno plavo obojeno bez narušavanja kvaliteta vidljivosti (Sl. 3.4). Gornji raspon vidljive transmisije kod tipičnih elektrohromatskih prozora kreće se od 0.50 do 0.70 a donji od 0.02 do 0.25.



A



B

SL. 3.4 A+B: Primer hromogenog zastakljenja (Fotografija: SAGE Electrochromics, Inc., Prava: Eric Sahlin Photography)

Staklo sa promenljivim osobinama koje u novije vreme postaje sve popularnije je poznato kao tehnologija tečnih kristala. Kada se električna struja primeni na tankom sloju tečnih kristala, koji se nalazi između staklenih panela, kristali menjaju svoj raspored što dalje dovodi do promene boje stakla od svetle ka tamnoj uz zadržavanje transparentnosti (Sl. 3.5). Prozori mogu da prelaze u sva međustanja između svetlog i tamnog. *G-vrednost* prozora kreće se u rasponu od 0.45 do 0.09.



SL. 3.5 Primer tehnologije prozora sa tečnim kristalima (Fotografija: Merck Window Technologies B.V.)

## 3.2 Solarni toplotni dobici

Pasivno solarno grejanje je važno tokom zimskog perioda kada je za toplotni komfor u unutrašnjem prostoru potrebna toplotna energija. Ova tehnika podrazumeva postojanje transparentnih elemenata na omotaču zgrade preko kojih se sakuplja, skladišti i distribuiraju solarna energija bez ili sa minimalnim učešćem mehaničke opreme (Hyde, 2008). Tokom leta, kada efekat grejanja nije potreban, zastakljeni delovi treba da se otvore ili zaštite odgovarajućom solarnom zaštitom.

Pasivno solarno grejanje se primarno odvija na južnoj strani zgrade, odnosno na severnoj strani na južnoj hemisferi. Na nivou kuće ovo obično ne predstavlja veliki problem jer se dobici toplote distribuiraju na malim rastojanjima i tako smanjuju ukupno toplotno opterećenje. S druge strane, kod većih zgrada je potreba za zoniranjem korišćenja energije u odnosu na orijentaciju izvesnija (Hall, 2008b). Pošto su prozori jedan od primarnih izvora gubitaka toplote, to znači da dobici toplote kroz prozore moraju da premaše toplotne gubitke.

### 3.2.1 Direktni solarni dobici

Sunčeva energija se u zgradama direktno sakuplja preko zastakljenih površina na fasadi, a posebno preko površina koje su orijentisane prema ekvatoru. Specifične fizičke osobine stakla omogućavaju korišćenje Sunčevog zračenja za grejanje unutrašnjeg prostora. Efekat grejanja se zasniva na činjenici da staklo propušta zračenje kratkih talasa (ultraljubičasto zračenje) koje potiče od Sunca ali ne propušta toplotno zračenje dugih talasa koje emituju materijali. Orijehtacija, položaj i veličina transparentnih površina i organizacija unutrašnjeg prostora

u kombinaciji sa toplotnim zoniranjem zajedno određuju efektivnost direktnog solarnog grejanja (Hegger, Fuchs, Stark, & Zeumer, 2008).

### 3.2.2 Solarni bafer prostori

Solarni bafer (tamponski) prostor je smešten između upotrebljivog unutrašnjeg prostora zgrade i njenog neposrednog spoljnog okruženja. On nije klimatizovan a greje se isključivo od Sunčevog zračenja. Bafer prostor smanjuje transmisionu gubitke toplote unutrašnjeg prostora jer ima temperaturu vazduha koja je viša od spoljne temperature. Kod kuća se bafer prostor još naziva i zimskom baštom jer temperatura u njemu može ostati u opsegu komfora tokom dužeg dela godine zahvaljujući solarnim dobitcima toplote. Na taj način se povećava korisna površina stambenog prostora.

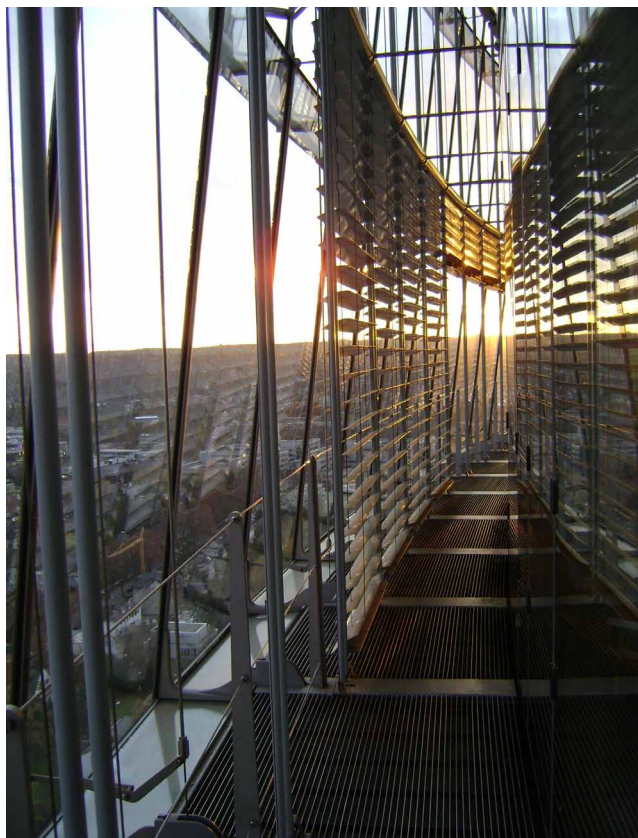


SL. 3.6 Zimska bašta, Pret-a-loger, TU Delft univerzitetski kampus, Holandija

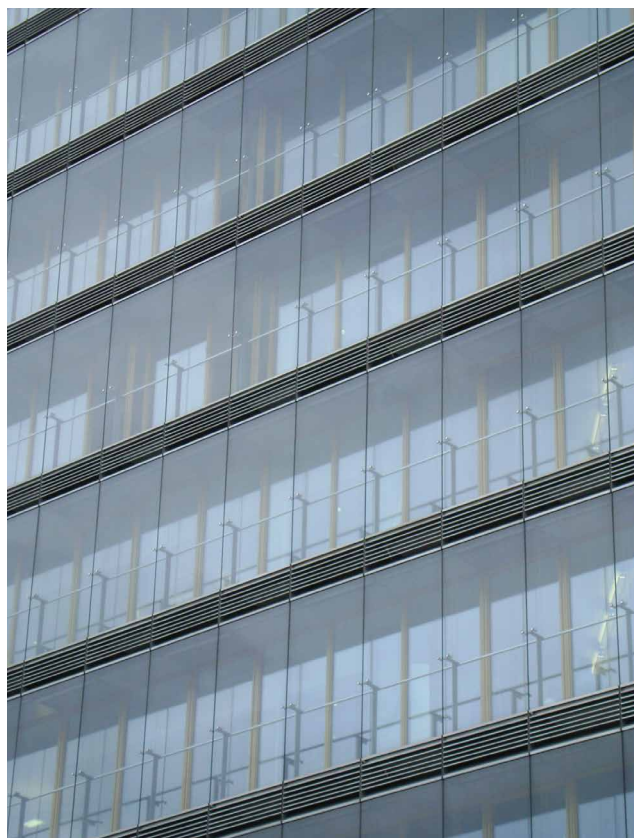
Konstrukcije dvostrukih fasada takođe učestvuju u stvaranju bafer prostora. Sloj spoljne fasade u konstrukciji dvostruke fasade je odvojen od (unutrašnjih) fasadnih elemenata koji zatvaraju upotrebnii prostor. Razmak između unutrašnjeg i spoljnog sloja je promenljiv. U zavisnosti od metode koja je upotrebljena za provođenje vazduha kroz međuprostor, dvostruke fasade se mogu grupisati u četiri osnovne kategorije (Knaack, Klein, Bilow, & Auer, 2007):

- kutijaste-prozorske (en. box-window) fasade kod kojih vazduh cirkuliše isključivo u okviru pojedinačnih fasadnih elemenata;
- šaht-kutijaste (en. shaft-box) fasade kod kojih se vazduh kreće naviše kroz vertikalne šahtove;
- hodničke (en. corridor) fasade kod kojih vazduh cirkuliše u horizontalnoj šupljini visine jedne etaže i
- fasade 'druga koža' (en. second-skin) kod kojih vazduh teče kroz celu, neprekinutu šupljinu između dve 'kože'.

Osim toplotnog bafer efekta, dodatne funkcije dvostruke fasade odnose se na obezbeđivanje ventilisanja (videti odeljak 3.3.1) i pružanje zvučne zaštite i zaštite od vetra.



A

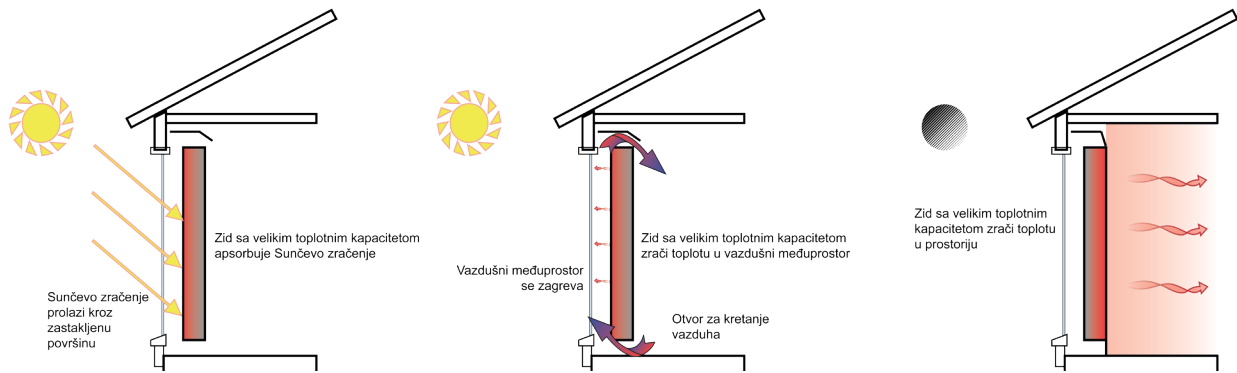


B

SL. 3.7 Primeri dvostrukih fasada: Post Tower, Bonn (A). Stadttor Düsseldorf (B)

### 3.2.3 Indirektni solarni zahvat

Indirektni solarni zahvat se ostvaruje skladištenjem toplote u komponentama sa velikom toplotnom masom, na primer korišćenjem transparentnog spoljnog sloja i elementa koji apsorbuje toplotu poreklom od incidentnog Sunčevog zračenja. Solarna energija koja je prenešena preko transparentnog sloja se apsorbuje preko spoljne površine zida i provodi kondukcijom do njegove unutrašnje površine nekoliko sati kasnije, ili se prenosi kroz vazduh u prostor između zastakljenja i zida. Ovakve metode mogu biti od velike koristi, posebno kada se kombinuju sa merama za cirkulisanje vazduha u zonama sa promenljivim Sunčevim zračenjem (Smith, 2005). Među poznatijim tehnologijama indirektnog solarnog grejanja su Trombov zid i staklenik (Sl. 3.8). Osim što doprinose energetskej efikasnosti ovakve konstrukcije mogu da se koriste i za povećanje površine stambenog prostora.



Sl. 3.8 Princip Trombovog zida i staklenika

### 3.3 Disipacija toplote

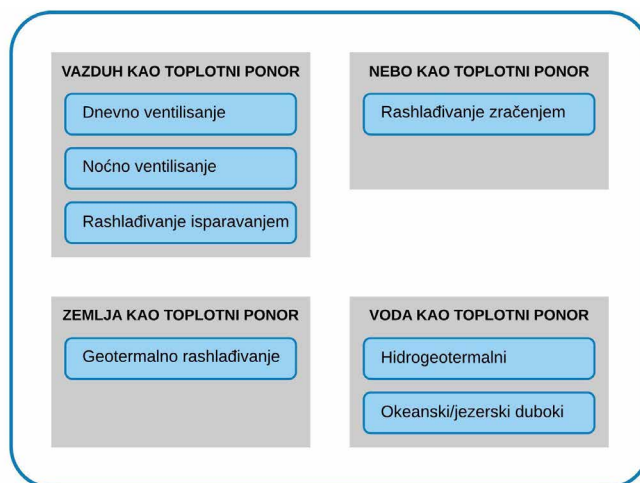
Kao što je ranije rečeno, korišćenje solarne zaštite predstavlja veoma efikasnu metodu sprečavanja ulaska toplote u zgradu, kojom se pregrevanje minimalizuje a ukupni zahtevi za rashlađivanjem prostora smanjuju. Međutim, javljanje unutrašnjih dobitaka toplote i neželjeni solarni dobici zbog difuznog Solarnog zračenja (uprkos prisutnim elementima solarne zaštite) čine da primena strategija prevencije toplote obično nije dovoljna da smanji temperature u unutrašnjem prostoru do nivoa komfora, naročito tokom leta. Stoga je važno razmotriti pasivne strategije za disipaciju toplote koja je generisana ili uskladištena u unutrašnjem prostoru (Givoni, 1994; Santamouris & Asimakopoulos, 1996).

Strategije za odbijanje ili disipaciju bave se uklanjanjem unutrašnje toplote i njenim oslobađanjem u prirodne rezervoare (voda, zemlja, vazduh). Pasivne strategije disipacije toplote ovo postižu bez potrošnje energije, mada se njihova efikasnost može poboljšati dodatnom opremom kao što su pumpe i ventilatori u tzv. hibridnim ili nisko-eksergetskim sistemima za odbijanje toplote (Ala-Juusela, 2003; Kalz & Pfafferott, 2014). Efikasnost ovih strategija se dalje povećava kada su primenjene zajedno sa metodama za modulaciju toplote, kao što je korišćenje toplotne mase za skladištenje toplote, tako da se disipacija u spoljni toplotni ponor obavlja u povoljnom trenutku, npr. tokom noći (Hegger et al., 2008, str. 98). Teške konstrukcije, npr. od betona, opeke ili krečnjaka, mogu da obezbede dovoljnu toplotnu masu ali njihova efikasnost obavezuje na direktno povezivanje komponenata sa unutrašnjim prostorom. Unutrašnje obloge i spuštene plafoni sprečavaju kretanje toka toplote između unutrašnje temperature i toplotne mase zgrade. Alternativno se za skladištenje toplote umesto masivnih konstruktivnih elemenata mogu koristiti fazno promenljivi materijali.

Strategije disipacije toplote se klasifikuju prema ponoru toplote koji predstavlja okosnicu njihovih principa rashlađivanja (Samuel, Nagendra, & Maiya, 2013). Korišćenje tla, vazduha i vode u neposrednoj blizini zgrade, kao i otvorenog neba, u vidu ponora toplote definiše mogućnosti disipacije toplote (Sl. 3.9). Kao što je ranije pomenuto, u većini slučajeva se efikasna primena ovih strategija oslanja na upotrebu



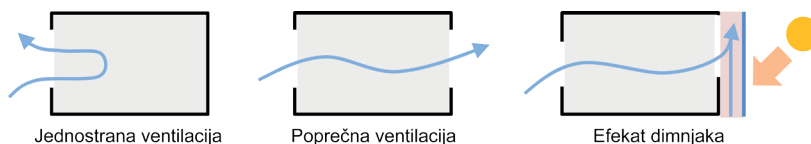
pomoćne mehaničke opreme. Opis koji sledi se zato odnosi na principe pasivnog rashlađivanja koji podupiru svaku pojedinačnu strategiju, bez razmatranja dalje upotrebe aktivnih komponenata kao što su pumpe ili ventilatori. Posebno će u daljem tekstu biti istražene strategije ventilisanja zbog velikog potencijala uštede energije i jednostavnosti primene u striktno pasivnom režimu rada.



SL. 3.9 Pasivne/nisko-eksergetske strategije disipacije toplote prema vrsti toplotnog ponora

### 3.3.1 Ventilisanje

Ventilisanje je najčešća metoda disipacije toplote koja radi smanjenja unutrašnje temperature kao rezervoar toplote koristi spoljni vazduh. Ovde se razlikuju dve osnovne strategije: komforno – dnevno ventilisanje i noćno ventilisanje. Prva unapređuje korisnički doživljaj komfora u vreme vršnih zahteva, dok druga funkcioniše odbijanjem uskladištene toplote u noćnom periodu da bi se zgrada rashladila do sledećeg dana. Visoke dnevne temperature mogu biti kontraproduktivne u primeni strategije dnevnog ventilisanja. S druge strane, istraživanja pokazuju da su korisnici voljni da prihvate više temperature unutrašnjeg prostora ako im je obezbeđena prirodna ventilacija, što dalje vodi do razmatranja upotrebe u okviru modela adaptivne kontrole komfora (Nicol, Humphreys, & Roaf, 2012). Na Sl. 3.10 su prikazane različite strategije ventilisanja.

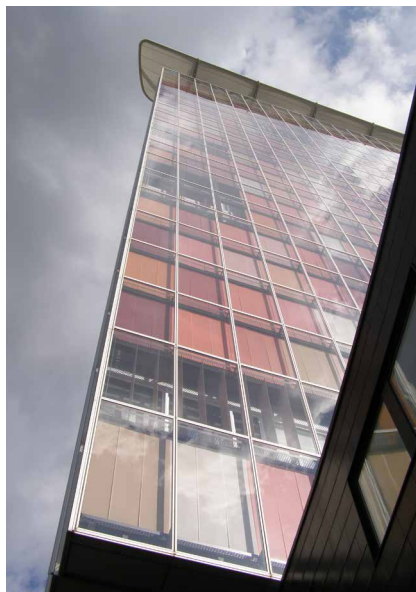


SL. 3.10 Strategije ventilisanja: jednostrana, poprečna i ventilacija sa efektom dimnjaka

Noćno ventilisanje je efikasna metoda rashlađivanja koja se tokom poslednjih 20 godina tretira kao interesantna istraživačka tema (Prieto, Knaack, Klein, & Auer, 2017). Neka rana iskustva tiču se evaluacije strategija ventilisanja merenjem na licu mesta, dok su se u drugim

slučajevima za procenu potencijala energetske uštede koristile simulacije a zatim diskutovale mogućnosti primene u različitim klimatskim područjima (Artmann, Manz, & Heiselberg, 2007; Geros, 1999). Nekoliko istraživanja pokazalo je da se potencijal uštede usled primene prirodnog ventilisanja kreće od 40% do 80%, u zavisnosti od protoka vazduha, klimatskog konteksta i specifičnosti zgrade (Ferrari & Zanotto, 2012; Roach, Bruno, & Belusko, 2013). Strategije noćnog ventilisanja su efikasnije u područjima sa velikim toplotnim oscilacijama između perioda dana i noći (više od 10°C) jer koriste niže noćne temperature da oslobode toplotu koja je uskladištena tokom dana.

Prirodno ventilisanje (strujanje vazduha bez upotrebe ventilatora) se zasniva na dva osnovna načela: ventilisanje podstaknuto vetrom i ventilisanje podstaknuto efektom dimnjaka. Prvo se vezuje za diferencijalne pritiske usled dejstva vetra i ulazne otvore za vazduh u fasadi, dok drugo obuhvata konvekcione tokove usled vertikalnih temperaturnih gradijenata. Primena principa ventilisanja podrazumeva donošenje projektantskih odluka u ranim fazama izrade projekta zgrade. Orijentacija prostorija, oblik zgrade i veličina i položaj prozora su faktori od značaja koji omogućavaju jednostranu ili poprečnu ventilaciju, dok arhitektonski elementi kao što su atrijumi, solarni dimnjaci ili višestruke fasade posebno promovišu ventilisanje sa efektom dimnjaka.



A



B



C

SL. 3.11 A+B+C: Ventilisana dvostruka fasada i vazdušni ulazi, kojima se omogućava poprečna ventilacija u zgradi GSW u Berlinu

### 3.3.2 Rashlađivanje isparavanjem / adijabatsko rashlađivanje

Rahlađivanje isparavanjem obezbeđuje efekat hlađenja isparavanjem vode. Ovde su unutrašnji dobici toplote iskorišćeni kao latentna toplota za faznu promenu iz tečnog stanja vode u paru koja ulazi u sadržaj vlage unutrašnjeg vazduha. Efektivnost strategije ogleda se u cirkulisanju

vazduha pre nego što dostigne nivo zasićenja vlagom, oslobađajući topli i vlažan vazduh u spoljnu sredinu. Ove tehnike se zajedno sa strategijama ventilisanja radi uvođenja prethodno rashlađenog vazduha u zgradu najviše koriste u toplim i suvim klimatskim zonama (Sl. 3.12). Njihova efikasnost analizirana je i u drugim klimatskim zonama kako bi se istražio potencijal šire primene (Morgado, Melero, Neila, & Acha, 2011).



A



B



C

SL. 3.12 A+B+C: Adijabatsko rashlađivanje u unutrašnjim dvorištima, Maroko

Primena ovih tehnologija praćena je dvema mogućnostima a to su direktni i indirektni sistemi za rashlađivanje isparavanjem. Direktni sistemi povećavaju vlažnost u prostoriji ili direktnom integracijom vode sa prostorom ili njenim mešanjem sa vazdušnom strujom. S druge strane, indirektni sistemi zadržavaju vodu u zatvorenom ciklusu, osim one količine koja pristiže sa svežim vazduhom. Drugi sistem je kompleksniji ali pogodniji za primenu u slučajevima kada je nivo unutrašnje vlažnosti relevantan. Aplikacija sistema za rashlađivanje isparavanjem u zgradama podstakla je istraživanje mogućnosti za integrisanje sa fasadnim modulima ili solarnim dimnjacima i u kombinaciji sa strategijama za ventilisanje (Abdallah, Yoshino, Goto, Enteria, Radwan et al., 2013; Abu Khadra & Chalfoun, 2014).

### 3.3.3 Rashlađivanje preko tla

Rashlađivanje preko tla ili geotermalno rashlađivanje koristi zemlju kao ponor toplote tokom letnje sezone, s obzirom da je na dubini većoj od 6 m temperatura konstantna tokom cele godine. Kada se primenjuje zajedno sa drugim tehnikama poput toplotnog skladišta, rashlađivanja isparavanjem ili ventilisanja preko solarnih dimnjaka ova strategija zahteva korišćenje razmenjivača toplote tipa zemlja-vazduh sa unapređenom efektivnošću. Geotermalna strategija je dalje

istražena u odeljku 4.1.2 u sklopu razmatranja geotermalnog grejanja korišćenjem obnovljivih izvora energije.

### 3.3.4 Hidrogeotermalno / dubokojezersko / okeansko rashlađivanje

Hidrogeotermalno/dubokojezersko/okeansko rashlađivanje prati isti princip kao kod rashlađivanja preko tla ali se ovde kao rezervoar toplote koristi velika masa vode umesto zemlje. U prvom slučaju primarni izvor je podzemna voda, dok je u drugom to donji sloj jezera i okeana (Samuel et al., 2013). Primena ovih tehnologija je uglavnom ograničena na velike infrastrukturne i ofšor projekte, pa su u ovom pregledu one razmatrane radi pružanja potpunijeg uvida u predmetne mere.

### 3.3.5 Rashlađivanje zračenjem

Rashlađivanje zračenjem kao toplotni ponor koristi spoljni prostor, odbijajući toplotu u formi elektromagnetnog zračenja dugih talasa sa površina koje su izložene nebu tokom noćnog perioda (Samuel et al., 2013). Tako se krov može smatrati najvažnijim pasivnim elementom rashlađivanja zračenjem u okviru zgrade, pri čemu projektantski parametri poput boje i korišćenja pomične izolacije mogu da povećaju efektivnost strategije (Santamouris & Asimakopoulos, 1996). Rashlađivanje zračenjem je efikasnije pod vedrim i nezagađenim nebom a primena se posebno preporučuje u toploj i suvoj klimatskoj zoni.

## 4 Aktivne mere / Oprema

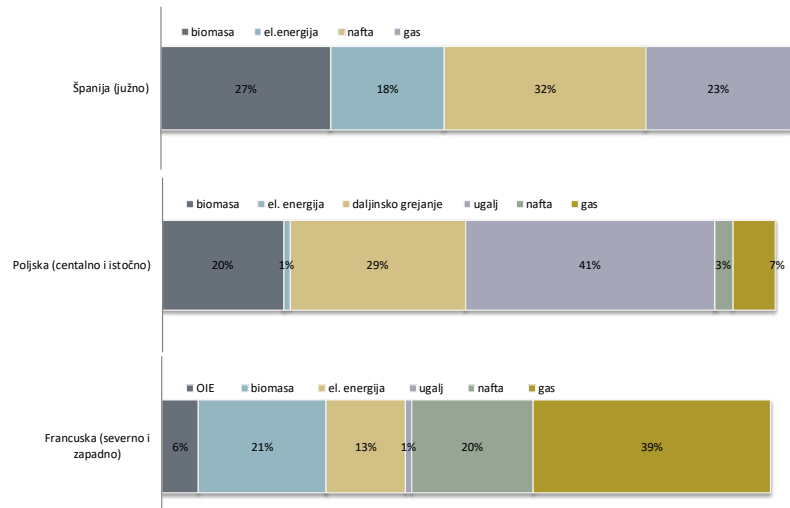
Isključivom primenom pasivnih projektantskih principa ne mogu se podmiriti sve potrebe za energijom tokom cele godine. Čak i nakon primene pasivnih mera, potrebnu dodatnu energiju obezbeđuju tehnički sistemi zgrade, tj. pojedinačna ili kombinovana tehnička oprema za grejanje, rashlađivanje, ventilisanje, zagrevanje vode i osvetljenje.

### 4.1 Generisanje toplote

#### 4.1.1 Grejanje uz efikasno korišćenje energije iz neobnovljivih izvora

Sistemi grejanja se nose sa zahtevima za obezbeđivanjem toplotne energije u bilo kojem unutrašnjem prostoru, na način da se dostigne i održava unutrašnja temperatura koja odgovara standardima komfora. Hidronički sistemi za prenos toplote od mesta generisanja do emitera

koriste vruću vodu. Najpoznatiji tip generatora toplote u hidroničkom sistemu je *kotao*. Kotlovi su dostupni u velikom broju vrsta i veličina i funkcionišu uz korišćenje različitih goriva kao što su gas, nafta, električna energija ili biomasa. Na Sl. 4.1 prikazana je kombinacija izvora energije za grejanje u različitim evropskim zemljama.



Sl. 4.1 Vrste izvora energije za grejanje  
(Izvor: BPIE, 2011)

Efikasnost kotla pokazuje koliko dobro prenosi toplotu generisanu prilikom sagorevanja (Hall, 2008b). Tokom poslednje dve decenije efikasnost kotlova je porasla do čak 91% (SEDBUK, 2005). Ovaj podatak je posebno značajan pri razmatranju retrofita jer je nivo efikasnosti sistema grejanja u starijim zgradama najčešće manji od aktuelnih standarda. Direktiva o energetskom ponašanju zgrada (en. skr. EPBD) sugeriše da kotlove starije od 15 godina treba pregledati i zameniti, a nove kontrolisati na svake 2 do 4 godine.

Toplotne pumpe takođe mogu generisati vruću vodu za hidroničke sisteme grejanja. One obuhvataju sisteme rashlađivanja sa kompresijom vodene pare ili rashladno/sorbentne parove za prenos toplote od izvora, koristeći električnu ili toplotnu energiju visoke temperature, do ponora toplote (EN15316-4-2, 2007). Toplotne pumpe koriste različite izvore niske toplote. Pumpe koje kao izvor koriste vazduh (en. skr. ASHP) nude pogodnosti u pogledu prostornih zahteva i jednostavnog instaliranja, ali ne mogu da obezbede jednaku efikasnost tokom cele godine kao drugi izvori. Toplotne pumpe koje koriste vodu (en. skr. WSHP) imaju najbolji koeficijent ponašanja (CoP) ali zahtevaju postojanje izvora vode u blizini. Pumpe kod kojih je izvor toplote zemlja (en. skr. GSHP) ne treba poistovetiti sa geotermalnom energijom. Cevi u GSHP sistemu su položene na samo 1 m dubine od površine kako bi se iskoristila solarna energija uskladištena u tlu. S druge strane, geotermalna energija je toplota u zemlji na dubini od oko 30 m (Hall, 2008a). Toplotne pumpe čija je upotreba za grejanje široko rasprostranjena su reverzibilne vazduh-vazduh jedinice koje se takođe mogu koristiti za rashlađivanje (CISBE, 2005). Ovi sistemi će biti istraženi u odeljku 4.2.1 u okviru diskusije o kompresionom rashladnom ciklusu.

Hidronički sistemi mogu da rade sa različitim emiterima toplote kao što su radijatori, konvektorska tela ili podno grejanje. Na osnovu efikasnosti emitera, mreže za cirkulaciju toplote i kotla određuje se ukupna efikasnost sistema za grejanje.

Topli vazduh, bilo iz nezavisnih grejnih tela ili centralizovanih postrojenja za upravljanje vazduhom, je drugačiji sistem grejanja. U mnogim slučajevima isti pogon se koristi za letnje rashlađivanje/ventilisanje. Izlaz toplote se uglavnom obezbeđuje konvekcijom kroz topli vazduh. Ovi sistemi imaju kraće vreme odziva od hidroničkih sistema.

Postrojenja za kombinovanu proizvodnju električne i toplotne energije (en. skr. CHP) ili postrojenja za kogeneraciju generišu više oblika energije u okviru istog procesa. Energetska efikasnost instalacija kogeneracije koje su integrisane sa zgradom kreće se, u zavisnosti od tehnologije, od 75% do 105%, što znači da energetska output može biti i veći od inputa (EN15316-4-4, 2007). CHP sheme su korisne za grupe gusto raspoređenih korisnika kao što su stanovi u visokim zgradama i čak se mogu primeniti na nivou zajednice (Emmanuel & Baker, 2012).

Daljinsko grejanje je efikasan način obezbeđivanja toplote, pogotovu kada se kombinuje sa CHP jedinicama. Toplota se generiše u centralnom izvoru i na zahtev dostavlja grupi zgrada u formi vruće vode (Hall, 2008b). Ovaj princip se može primeniti i tokom leta, u obrnutom obrascu, mada je primena daljinskog rashlađivanja retka.

#### 4.1.2 Grejanje iz obnovljivih izvora

Toplota se može generisati iz obnovljivih izvora, na primer preko aktivnih solarnih sistema ili korišćenjem biomase. Aktivni solarni toplotni sistem (npr., solarni toplotni panel sa vakuum cevima) u kombinaciji sa velikim skladištem za zagrejanu vodu koja se koristi u domaćinstvu predstavlja dobro rešenje u letnjem periodu. Solarni kolektori konvertuju direktno Sunčevo zračenje u druge oblike energije, tj. vrše predgrevanje vode korišćenjem zatvorenog toka. Postoji više vrsta solarnih kolektora sa različitim konstruktivnim karakteristikama. Solarni paneli sa vakuum cevima su efikasniji od klasičnih ravnih kolektora i bolje rade pri hladnim, oblačnim i vetrovitim vremenskim uslovima. Veća efikasnost vakuum cevi u solarnom kolektoru znači i manju zauzetost površine krova.

Pojedini sistemi grejanja koriste obnovljiva goriva kao što je biomasa. Biomasa je organska materija. U energetske smislu, biomasa biljnog porekla se smatra obnovljivom sirovinom koja obezbeđuje energiju bez proizvodnje dodatnih količina gasa CO<sub>2</sub> tokom svog životnog ciklusa, s obzirom da je količina oslobođenog CO<sub>2</sub> jednaka količini koju su biljke preuzele tokom perioda rasta. Zato je biomasa CO<sub>2</sub>-neutralni izvor čiji je primarni energetska faktor niži nego kod drugih goriva (Hegger et al., 2008). Moderni sistemi grejanja na biomasu predstavljaju alternativu konvencionalnim sistemima koji koriste fosilna goriva a nude jednaku efikasnost i jednostavnost primene. Kao gorivo u modernim sistemima

grejanja mogu da se koriste različite obnovljive vrste, pretežno drvo (u formi peleta ili strugotine, kao što je prikazano na Sl. 4.2), ali i biljno ulje, biogas i dr. Karakteristike goriva biomase određuju ponašanje sistema.



A



B



C

SL. 4.2 Kotao na biomasu (A), drveni pelet (B) i strugotina (C) (Fotografije: 3N e.V.)

Geotermalno grejanje je zasnovano na svojstvu konstantne temperature u zemlji na većoj dubini; na dubini od otprilike 30 m temperatura tla odgovara prosečnoj temperaturi vazduha (Hegger et al., 2008). Voda koja se upumpava u bušotinu u tlu i ide nazad do površine prenosi toplotu jednostavnom kondukcijom od zemlje do vode a zatim se koristi za grejanje u zgradi.

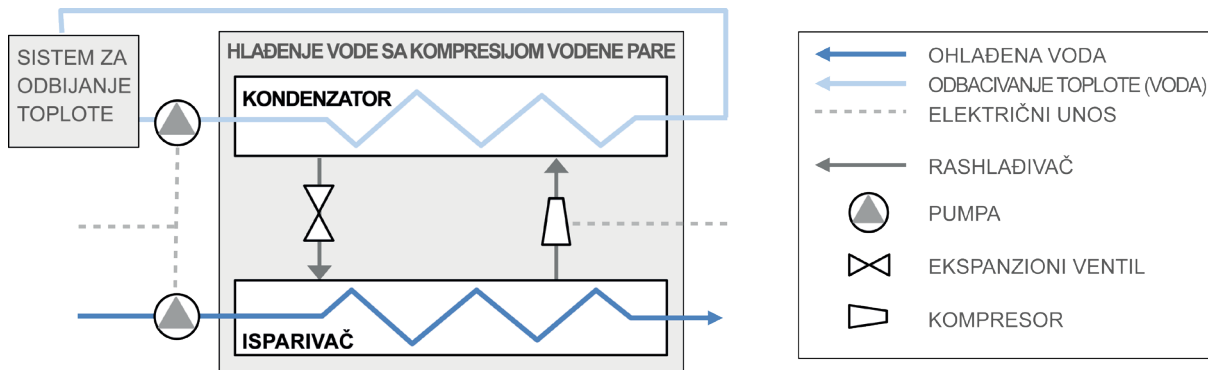
## 4.2 Disipacija toplote – ventilisanje i hlađenje

Ako upotreba strategija pasivnog rashlađivanja nije dovoljna da bi se garantovale udobne temperature tokom letnje sezone, onda među servise u okviru zgrade treba uključiti i sistem mehaničkog hlađenja. Korišćenje ovakvih sistema je često u toplom klimatskom području, a posebno potrebno u komercijalnim zgradama u kojima se veliki unutrašnji dobici toplote javljaju usled prisustva značajnog broja korisnika, veštačkog osvetljenja i kancelarijske opreme. Studije su pokazale da su hlađenje i klimatizacija odgovorni za oko 15% od ukupno potrošene električne energije u svetu (CICA, 2002). U poslovnim zgradama udeo potrošnje energije za ove aktivnosti može dostići čak i 50% od ukupnih energetske potrebe u toplim i vlažnim sredinama (Qi, 2006). Zato je za pravilno planiranje i projektovanje i prevenciju predimenzionisanja i dodatne energetske potrošnje važno razumeti principe funkcionisanja i osnovne komponente sistema ventilisanja i hlađenja.

### 4.2.1 Električno hlađenje: parno-kompresioni ciklus

Sistem mehaničkog hlađenja ima pet elemenata/stupnjeva: prostoriju koju treba rashladiti; opremu za prenos toplote; mašinu za hlađenje; opremu za odbijanje toplote i spoljni ponor toplote. Generisanje hlađenja je zasnovano na termodinamičkim ciklusima. Najviše se koristi parno-kompresioni ciklus koji je prisutan u oko 90% svih instaliranih sistema. Princip rada je zasnovan na kompresiji a zatim i ekspanziji tečnog

rashladnog sredstva koje cirkuliše u zatvorenom krugu. Ekspandirani rashlađivač isparava u kontaktu sa unutrašnjim vazduhom apsorbujući ambijentalnu toplotu. Nakon kompresije, oslobađajući latentnu toplotu u okruženje, toplota kasnije kondenzuje u spoljnom prostoru, da bi se ciklus ponovo pokrenuo (Sl. 4.3).



SL. 4.3 Funkcionalna shema konvencionalnog sistema parno-kompresione klimatizacije

Dostupno je više tehnologija zasnovanih na kompresiji pare, koje se prema sredstvu za prenos toplote mogu svrstati u četiri kategorije: potpuno vazdušne sisteme, potpuno vodene sisteme, vazdušne i vodene sisteme i direktne sisteme (Daniels, 2003; Lechner, 2014). Kod potpuno vazdušnih sistema vazduh se direktno hladi i isporučuje preko kanala a kod potpuno vodenih sistema voda (ili druga tečnost kao što je glikol) se rashlađuje i zatim isporučuje preko cevi. Vazdušni i vodeni sistemi predstavljaju kombinaciju prethodna dva sistema, koja ima za cilj da odgovori na sve zahteve za hlađenjem, pri čemu potpuno vodeni sistem obično obavlja najveći deo aktivnosti hlađenja. Konačno, direktni sistemi se sastoje od mašina za rashlađivanje i dva ventilatora koji isporučuju ohlađeni vazduh i odbijaju toplotu prema spoljnoj sredini. U praktičnom smislu, sistemi direktnog rashlađivanja kao sredstvo prenosa koriste vazduh ali se on isporučuje direktno – bez kanala u okviru centralizovane mašine za rashlađivanje. U tom smislu, ovi se sistemi mogu smatrati i potpuno vazdušnim sistemima s tom razlikom što su decentralizovani. Tipični sistemi koji se koriste u zgradama a izvedeni su od pomenutih tehnologija su prikazani u Tabeli 4.1.



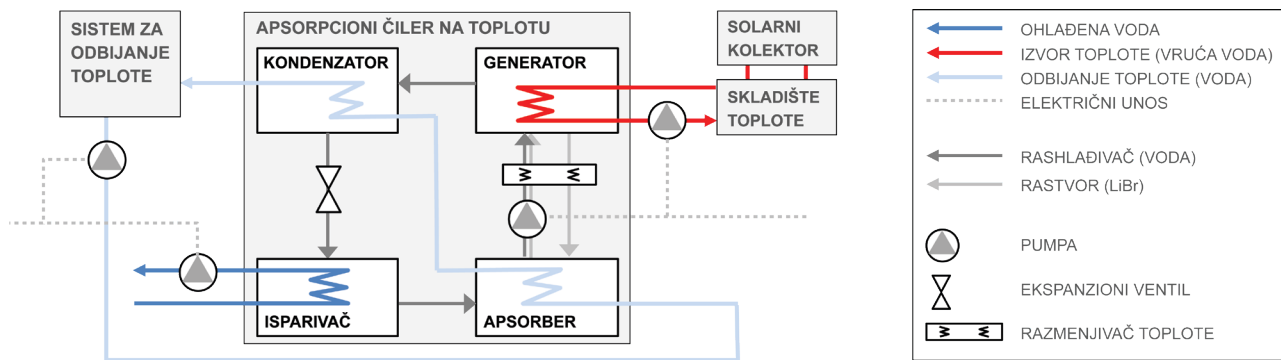
MEDIJUM ZA PRENOS TOPLOTE		VAZDUH	VODA
<b>Generisanje hladnoće</b>	Centralna primena	- Direktni ekspanzioni sistemi (krovne jedinice)	- Sistemi sa rashlađenom vodom (čileri)
	Decentralizovana primena	- Prozorske jedinice - Split sistemi	-
<b>Distribucija hladnoće</b>		- Kanali za vazduh / Ventilatori	- Hidronički sistemi / Pumpe
<b>Isporuka hladnoće</b>	Hlađenje vazduha	- Difuzeri	- Fan-coil jedinice - Indukcione jedinice
	Površinsko hlađenje	-	- Usadene cevi (termički aktivirani sistemi zgrade) - Montirane cevi (hladni plafoni) - Kapilarne cevi

TABELA 4.1 Uobičajene tehnologije zasnovane na parno-kompresionoj klimatizaciji

#### 4.2.2 Alternativni sistemi hlađenja: ciklus hlađenja preko toplote

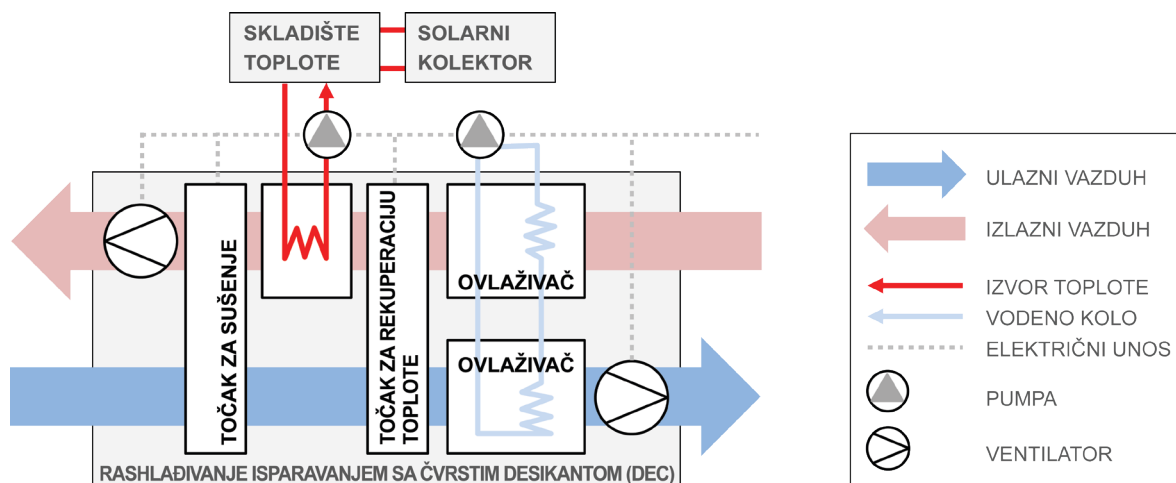
Alternativni sistemi za rashlađivanje prostora potencijalno mogu da zamene tehnologije parne kompresije i smanje potrošnju energije uz istovremeno eliminisanje potrebe za korišćenjem ekološki štetnih rashladnih sredstava. Neke od istraženih mogućnosti su sorpciono, desikantno, magnetno, termoakustično, termoelektrično i transkritično CO<sub>2</sub> rashlađivanje (Brown & Domanski, 2014). Svaka od ovih tehnologija ima specifične komponente i može biti obećavajuća alternativa u budućnosti ako se nastavi dalji razvoj. U ovom poglavlju se detaljnije istražuju dve najstarije metode – sorpcija i desikacija – i analizira mogućnost za njihovu sadašnju primenu u građenoj sredini.

Ove tehnologije kao pokretač ciklusa rashlađivanja koriste toplotu, potražujući pritom električnu energiju samo za minimalnu pomoćnu opremu kao što su pumpe i ventilatori. Potencijalna upotreba toplote – energije niskog stupnja – za rashlađivanje godinama je privlačila pažnju istraživača koji su svojim radom promovisali alternative zasnovane na ponovnoj upotrebi otpadne toplote ili upotrebi solarne energije iz toplotnih kolektora. Danas solarno toplotno hlađenje predstavlja čvrsto utemeljeno istraživačko polje koje se bavi solarnim tehnologijama sorpcije i desikacije kroz implementaciju mnogih projekata i razvoj prototipova i sistema koji imaju komercijalnu primenu u zgradama. Poput parno-kompresionih sistema sorpciono rashlađivanje se zasniva na osnovnom ciklusu hlađenja koji rezultuje usled kontinualog isparavanja i kondenzovanja određenog rashlađivača. Međutim, mehanička kompresiona jedinica je kod sorpcionog hlađenja zamenjena 'toplotnim kompresorom' koji ciklus vodi korišćenjem toplote iz spoljnog izvora (Henning, 2007). Efekat rashlađivanja se postiže radnim parom rashlađivača i sorbenta. Rashladno sredstvo isparava u isparivaču izvlačenjem unutrašnje toplote, nakon čega se meša sa sobentom, zatim razdvaja i konačno ponovo kondenzuje odbijajući izvučenu toplotu napolje.



SL. 4.4 Funkcionalna shema solarnog apsorpcionog čilera

U okviru ovog osnovnog principa razlikuju se dve tehnologije koje se kategorišu prema vrsti sorbenta. ApSORPCIONE toplotne pumpe kao sorbent koriste tečni rastvor a adsORPCIONE čvrsti sorbentni materijal. Obe tehnologije kao osnovno rashladno sredstvo (rashlađivač) i kao sredstvo za distribuciju hladnoće u zatvorenom ciklusu koriste vodu (Sl. 4.4). Prema tome, komplementarne komponente za distribuciju i odbijanje toplote moraju se razmatrati paralelno sa sistemom ventilisanja koji u zgradu uvodi sveži vazduh. ApSORPCIONI čilери predstavljaju zrelu tehnologiju (OECD/IEA, 2012) koja je komercijalno dostupna u širokom opsegu kapaciteta rashlađivanja, od 4.5 do preko 20.500 kW. AdsORPCIONI sistemi se zbog manje efikasnosti i povremenog rada manje koriste. Međutim, kako njihov radni ciklus nije uslovljen postojanjem pokretnih delova, oni se jednostavnije održavaju i rade bez generisanja buke (Balaras, Grossman, Henning, Infante Ferreira, Podesser et al., 2007)



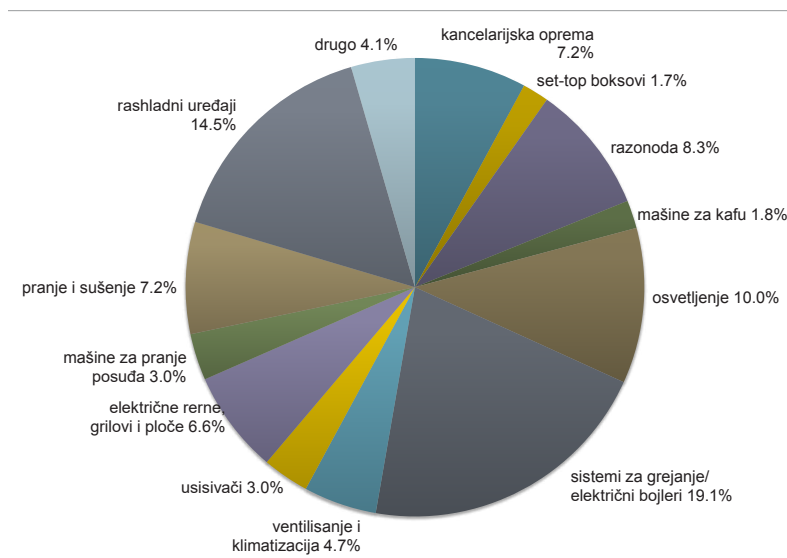
SL. 4.5 Funkcionalna shema solarnog sistema za hlađenje sa čvrstim desikantom

Tehnologije rashlađivanja isušivanjem, takođe zasnovane na sorpciji, koriste radni par rashlađivača i sorbentnog materijala. Za razliku od sorpcionog rashlađivanja koje funkcioniše u zatvorenim sistemima, desikantni sistemi obezbeđuju hladan vazduh direktno u zgradi preko

procesa sa otvorenim završetkom. Na taj način se unutrašnja toplota uklanja tokovima kretanja kondicioniranog svežeg vazduha i pri tom obezbeđuje ne samo kontrolu temperature u unutrašnjem prostoru već i njegovo ventilisanje (Kohlenbach & Jakob, 2014). Efekat hlađenja se postiže kombinacijom dehumidifikacije i adijabatskog rashlađivanja dolazećeg toka vazduha, pa su zato ove tehnologije poznate i kao desikantno-isparavajući sistemi rashlađivanja (en. desiccant-evaporative cooling systems – DEC). Na početku ciklusa spoljni vazduh se isušuje direktnim kontaktom sa desikantom a zatim rashlađuje korišćenjem indirektnih ili direktnih isparavajućih kulera. Za prethodno hlađenje ulaznog vazduha i poboljšanje efikasnosti sistema često se koriste razmenjivači toplote dok toplotni izvor regeneriše desikantni materijal (Sl. 4.5). Prema ovom principu i vrsti desikanta razlikuju se dve osnovne tehnologije. Čvrsti DEC sistemi koriste čvrst higroskopi adsorpcioni materijal koji se obično postavlja u rotirajuće ležišće poznato kao 'desikantni točak' a tečni DEC sistemi koriste higroskopi rastvor koji se aplicira na nosaču ili direktno usprejava u tok dolaznog vazduha (Kohlenbach & Jakob, 2014).

#### 4.3 Električna energija

S obzirom da u stambenim zgradama na rad električnih uređaja odlazi 11% a na osvetljenje 10% ukupno potrošene energije (Sl. 4.6), razmatranjem udela potrošnje energije u fazi projektovanja mogu se ostvariti koristi u pogledu ukupnog energetskeg ponašanja zgrade.



Sl. 4.6 Potrošnja električne energije u sektoru stanovanja, region EU-27, 2009. (izvor: JRC) (prema Bertoldi, Hirt, & Labanca, 2012, str. 35, Tabela 31)

#### 4.3.1 Električno osvetljenje i uređaji

Unapređenje efikasnosti osvetljenja i električnih uređaja predstavlja prvi korak ka smanjenju potrošnje energije. Direktive o eko-dizajnu (Directive, 2009/125/EC) i energetske označavanju proizvoda (Directive, 2010/30/EU) obezbeđuju pravni okvir. Osim efikasnosti proizvoda koju obezbeđuje proizvođač, upotrebu energije određuju i obrasci korišćenja a oni se mogu poboljšati unapređenim i pametnim sistemima kontrole.

#### 4.3.2 Dnevno svetlo

Pored pasivnog grejanja, energija Sunca se može koristiti za povećanje prirodne osvetljenosti prostora u zgradama i time za redukovanje potrošnje energije za električno osvetljenje. U stvari, dnevno svetlo je preferencijalni način osvetljavanja unutrašnjeg prostora. Ljudsko oko je evoluiralo koristeći prirodno svetlo i njegov pun spektar znači bolju reprodukciju boja u odnosu na bilo koji drugi izvor svetlosti (Hall, 2008b). Najvažnije, imajući u vidu da se za osvetljenje u stambenom prostoru potroši 10% ukupne električne energije (Bertoldi et al., 2012), odnosno čak do 30% u visokim poslovnim zgradama (Wood & Salib, 2013), korišćenje dnevnog umesto električnog osvetljenja može da smanji potražnju za energijom u velikoj meri.

Količina Sunčevog zračenja propuštenog u unutrašnji prostor pre svega zavisi od veličine providnih i delimično providnih delova fasade, a zatim i od orijentacije zgrade, primenjene solarne zaštite, reflektivnosti okolnih objekata i vremenskih uslova (Hausladen et al., 2008).

#### 4.3.3 Generisanje energije iz obnovljivih izvora

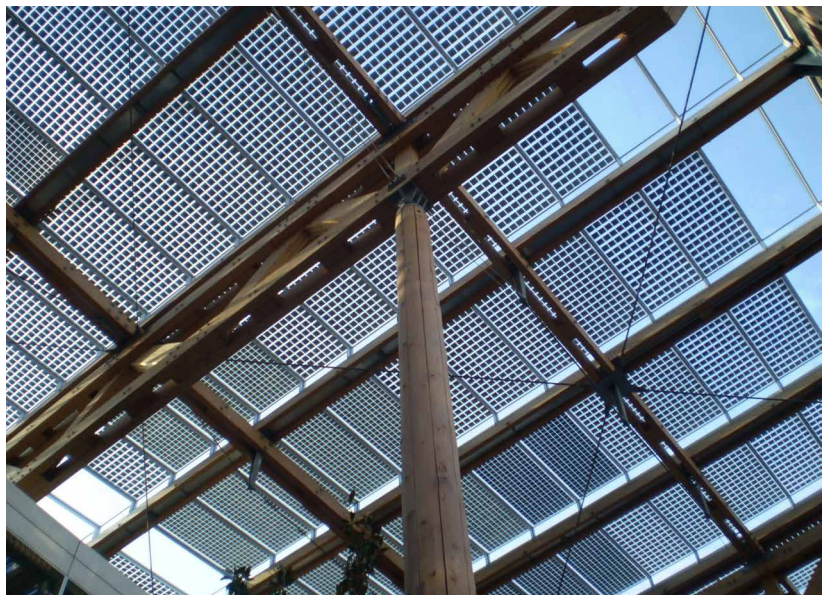
Za razliku od korisne energije dobijene iz fosilnih goriva kao što su nafta ili gas obnovljiva energija je povezana sa prirodnim procesima koji se stalno ponavljaju, npr., solarno zračenje, kretanje vode ili vetra i dr. I električna i toplotna energija se mogu generisati iz obnovljivih izvora. Obnovljiva energija obuhvata geotermalnu energiju i biomasu koje su razmatrane u prethodnim odeljcima, solarnu energiju i energiju vode i vetra. Udeo obnovljivih izvora u korišćenju električne energije se povećava (Eurostat, 2016). U ovom radu se razmatraju tehnologije proizvodnje energije iz obnovljivih izvora koje se na nivou zgrada najviše koriste, a to su fotonaponski paneli (često integrisani) i male vetroturbine.

Fotonaponski (skr. en. PV) sklopovi su tehnički sistemi koji solarno zračenje direktno pretvaraju u električnu energiju. U jezgru sklopa nalaze se solarne ćelije grupisane u okviru modula koji proizvode jednosmernu struju (Schittich, 2006). Tipične PV ćelije su uglavnom sačinjene od silicijuma sa jedno- ili višekristalnom strukturom. PV ćelije druge generacije se sastoje od tankih filmova od materijala

sa svojstvom poluprovodljivosti. U ćelije treće generacije koje su u razvoju spadaju organske solarne ćelije ili ćelije od polimera. One su prošle fazu 'dokazivanja koncepta' ali zahtevaju dalja istraživanja radi obezbeđivanja široke komercijalne primene (Munari-Probst & Roecker, 2012). Električna energija iz fotonaponskih modula se šalje u električnu mrežu ili se koristi da namiri energetske potrebe na licu mesta.

Godišnji učinak PV sistema zavisi od orijentacije i ugla pod kojim je instaliran. Najveća efikasnost PV sistema instaliranih na području severne Evrope, na primer, postiže se pri južnoj orijentaciji i uglu od 30°. Performanse značajno opadaju na vertikalnim površinama.

U opštem slučaju, raspoloživa površina fasada je znatno veća od površine krova. Stoga inkorporiranje PV sistema u projekat fasada u principu znači više generisane električne energije. U vezi s tim, iskustva koja se stiču istraživanjem i radom na razvoju PV sistema zasnovana su na vrednovanju novih konceptata poput dvostrukih fotonaponskih fasada i elemenata solarne zaštite sa integrisanim PV ćelijama, odnosno na proučavanju specifičnih rešenja kao što su polutransparentna PV zastakljenja i prilagođavanje boje solarnih modula. Ugrađivanje PV sistema u omotač zgrade je integralni zadatak. Vizuelna i konstruktivna integracija moraju da garantuju da instaliranje PV modula neće narušiti već ispuniti zahteve koji se stavljaju pred omotač zgrade.



SL. 4.7 Fotonaponske ćelije integrisane sa staklenim panelima na krovu zgrade Akademy Mont-Cenis, Stadtteilpark Mont-Cenis, Herne, Nemačka

Vetroturbine koriste kinetičku energiju vetra da rotiraju svoje krake, što pokreće generator i rezultuje proizvodnjom električne energije. Vetroturbine mogu biti slobodnostojeće ili se montiraju na zgradama, što je ređi slučaj. Pozicioniranje vetroturbina u blizini zgrada ima više prednosti od instaliranja na samim zgradama (Hall, 2008b). Integrisanje vetroturbina sa strukturom samih zgrada je mogućnost koja se razmatra u kontekstu održivog življenja u prostoru okruženja (Bobrova, 2015).

## 5 Diskusija i zaključak

U ovom poglavlju su predstavljene aktivne i pasivne mere koje su u skladu sa ekološkim i bioklimatskim principima i koje se primenjuju radi obezbeđivanja toplotnog komfora u zgradama uz minimum ili bez korišćenja neobnovljivih izvora energije. U predočenom okviru, glavne aktivnosti se svode na prevenciju/minimalizovanje zahteva za energijom za grejanje i rashlađivanje i na efikasno korišćenje energije iz obnovljivih izvora. Kako date mere nisu suprotstavljene, već su u međusobnoj interakciji i dopunjuju se, pri projektovanju ih treba razmatrati pararelno, uz izbegavanje preskakanja potrebnih koraka.

Predstavljene mere sumirane u tabeli 2.1. su povezane sa načinom tretiranja toplote od strane omotača zgrade i njenih sistema. Dok primena pasivnih mera rezultuje obezbeđivanjem toplotne zaštite, ostvarivanjem solarnih dobitaka toplote i odbijanjem neželjene toplote, aktivne mere su povezane sa disipacijom toplote i generisanjem energije.

Konačno, korišćenje energije u zgradama je povezano sa zahtevima i ponašanjem korisnika. Pri opisivanju mera u ovom poglavlju u obzir su uzeti zahtevi za energijom, poput grejanja, rashlađivanja i ventilisanja, a zadovoljstvo korisnika je smatrano preduslovom. Energetski zahtevi korisnika u vezi korišćenja energije potrebne za rad uređaja, veštačko osvetljenje i zagrevanje vode, na primer, nisu pod direktnim uticajem projekta zgrade. Kako bilo, neke od razmatranih mera, npr., generisanje električne energije ili povećanje prirodne osvetljenosti mogu doprineti smanjenju potrošnje energije.

Primena principa ekološke ispravnosti poboljšava performanse zgrada, bilo da se projektantska ambicija tiče oblikovanja udobnog i funkcionalnog arhitektonskog objekta sa racionalnim energetskim zahtevima ili postizanja standarda održivosti kao što je nula-energetska ili pasivna kuća.

Izbor mera je u krajnjoj liniji projektantski izbor od kojeg će zavistiti arhitektonski kvalitet i oblikovni izraz zgrade, kao i njena funkcija. Iako klimatske karakteristike i ekološke uslove lokalnog okruženja treba uzeti u obzir, odluka ne može biti isključivo bazirana na ovim stavkama, zbog prisustva mnogih drugih parametara koji se razmatraju. U skladu s tim, cilj ovog rada je predstavljanje pasivnih i aktivnih mera radi proširivanja znanja a ne radi davanja uputstava.

## Literatura

- Abdallah, A. S. H., Yoshino, H., Goto, T., Enteria, N., Radwan, M. M., & Eid, M. A. (2013). Integration of evaporative cooling technique with solar chimney to improve indoor thermal environment in the New Assiut City, Egypt. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4(1), 1-15. <https://doi.org/10.1186/2251-6832-4-45>
- Abu Khadra, A., & Chalfoun, N. (2014). Development of an integrated passive cooling façade technology for office buildings in hot arid regions. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 190, 521-533. DOI 10.2495/EQ140501
- AEA. (2010). Green Public Procurement: Thermal Insulation Technical Background Report. Harwell. Preuzeto sa [http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/thermal\\_insulation\\_GPP\\_%20background\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/gpp/pdf/thermal_insulation_GPP_%20background_report.pdf)
- AgentschapNL. (2013). Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen. U: A. M. v. E. Zaken (Ed.). Utrecht. Preuzeto sa <http://www.agentschapnl.nl/content/infoblad-trias-energetica>
- Ala-Juusela, M. e. (2003). *LowEx guidebook: low-exergy systems for heating and cooling of buildings*. Guidebook to IEA ECBCS annex 37. Birmingham, UK: ECBCS Bookshop.
- Artmann, N., Manz, H., & Heiselberg, P. (2007). Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. *Applied Energy*, 84(2), 187-201. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2006.05.004>
- Balaras, C. A., Grossman, G., Henning, H.-M., Infante Ferreira, C. A., Podesser, E., Wang, L., & Wiemken, E. (2007). Solar air conditioning in Europe—an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 299-314. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.02.003>
- Bertoldi, P., Hirtl, B., & Labanca, N. (2012). Energy Efficiency Status Report 2012. Electricity consumption and efficiency trends in the EU-27 Italy. Preuzeto sa <https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/energy-efficiency-status-report-2012.pdf>
- Bobrova, D. (2015). Building-integrated wind turbines in the aspect of architectural shaping. *Procedia Engineering*, 117, 404-410. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.185>
- BPIE. (2011). Europe's buildings under the microscope. Brussels: Building Performance institute Europe. Preuzeto sa [http://www.bpie.eu/eu\\_buildings\\_under\\_microscope.html](http://www.bpie.eu/eu_buildings_under_microscope.html)
- Brown, J. S., & Domanski, P. A. (2014). Review of alternative cooling technologies. *Applied Thermal Engineering*, 64(1-2), 252-262. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.12.014>
- CICA. (2002). *Industry as a partner for sustainable development-Refrigeration*. UNEP.
- CISBE. (2005). *Guide B: Heating, ventilating, air conditioning and refrigeration*. London: The Chartered Institution of Building Services Engineers.
- Daniels, K. (2003). *Advanced building systems: A technical guide for architects and engineers*. Birkhäuser.
- Directive (2009/125/EC) establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Brussels: The European Parliament and of the Council.
- Directive (2010/30/EU) on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by energy-related products. Brussels: The European Parliament and of the Council.
- Emmanuel, R., & Baker, K. (2012). *Carbon management in the built environment*. Routledge.
- EN15242. (2007). *Ventilation for buildings – Calculation methods for the determination of air flow rates in buildings including infiltration*. European Committee for Standardization (CEN).
- EN15316-4-2. (2007). *Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-2: Space heating generation systems, heat pump systems*. European Committee for Standardization (CEN).
- EN15316-4-4. (2007). *Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 4-4: Heat generation systems, building-integrated cogeneration systems*. European Committee for Standardization (CEN).
- Entrop, A. G., & Brouwers, H. J. H. (2010). Assessing the sustainability of buildings using a framework of triad approaches. *Journal of Building Appraisal*, 5(4), 293-310. <https://doi.org/10.1057/jba.2009.36>
- Eurostat. (2016). Theme 6: Climate change and energy. Sustainable development indicators. Preuzeto sa <http://ec.europa.eu/eurostat/web/sdi/indicators/climate-change-and-energy>
- Ferrari, S., & Zanotto, V. (2012). Office buildings cooling need in the Italian climatic context: Assessing the performances of typical envelopes. *Energy Procedia*, 30, 1099-1109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.123>
- Geros, V., Santamouris, M., Tsangrasoulis, A. & Guarracino, G. (1999). Experimental evaluation of night ventilation phenomena. *Energy and Buildings*, 29, 141-154. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00056-5)
- Giebeler, G. (2009). *Refurbishment manual: maintenance, conversions, extensions*. Basel: Birkhäuser.
- Givoni, B. (1994). *Passive low energy cooling of buildings*. Wiley.
- Greenspec. (2013). Energy-efficient house refurbishment/retrofit. Preuzeto sa <http://www.greenspec.co.uk/>
- Hall, K. (2008a). *Green Building Bible Vol.1* (4<sup>th</sup> ed., Vol. 1). Green Building Press.
- Hall, K. (2008b). *Green Building Bible Vol.2* (4<sup>th</sup> ed., Vol. 2). Green Building Press.
- Hausladen, G., Saldanha, M. d., & Liedl, P. (2008). *Climateskin: building-skin concepts that can do more with less energy*. Basel, Boston: Birkhäuser.

- Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., & Zeumer, M. (2008). *Energy manual: Sustainable architecture*. Basel, Switzerland: Birkhäuser.
- Henning, H.-M. (2007). Solar assisted air conditioning of buildings – an overview. *Applied Thermal Engineering*, 27(10), 1734-1749. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2006.07.021>
- Herzog, T., Krippner, R., & Lang, W. (2004). *Façade construction manual*. Basel: Birkhäuser.
- Hyde, R. (Ed.) (2008). *Bioclimatic housing: innovative designs for warm climates*. London: Earthscan.
- ISO10077-2. (2006). *Thermal performance of windows, doors and shutters – Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames*. European Committee for Standardization (CEN).
- Kalz, D., & Pfafferoth, J. (2014). *Thermal comfort and energy – Efficient cooling of nonresidential buildings*. Springer International Publishing.
- Knaack, U., Klein, T., Bilow, M., & Auer, T. (2007). *Façades principles of construction*. Basel: Birkhäuser.
- Kohlenbach, P., & Jakob, U. (2014). *Solar cooling: The Earthscan expert guide to solar cooling systems*. Taylor & Francis.
- Konstantinou, T. (2014). *Facade refurbishment toolbox: Supporting the design of residential energy upgrades*. (PhD thesis). Delft University of Technology. Preuzeto sa <http://abe.tudelft.nl/index.php/faculty-architecture/article/view/konstantiou>
- Lechner, N. (2014). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. Wiley.
- Lyons, A. (2010). *Materials for architects and builders*. Elsevier Science.
- McMullan, R. (2002). *Environmental science in building*. Basingstoke: Palgrave.
- Morgado, I., Meleró, S., Neila, J., & Acha, C. (2011). Evaporative cooling efficiency according to climate conditions. *Procedia Engineering*, 21, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2016>
- Munari-Probst, M. e., & Roecker, C. e. (2012). *Solar energy systems in architecture*. Report T.41.A.2 IEA SHC Task 41 Solar energy and Architecture. I. Solar Heating & Cooling Programme. Preuzeto sa <http://task41.iea-shc.org/publications>
- Nicol, F., Humphreys, M., & Roaf, S. (2012). *Adaptive thermal comfort: Principles and practice*. Taylor & Francis.
- OECD/IEA. (2012). *Technology roadmap – Solar heating and cooling*. International Energy Agency (IEA). Preuzeto sa <https://webstore.iea.org/technology-roadmap-solar-heating-and-cooling>
- Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.05.006>
- Prieto, A., Knaack, U., Klein, T., & Auer, T. (2017). 25 years of cooling research in office buildings: Review for the integration of cooling strategies into the building façade (1990–2014). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 89-102. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.012>
- Qi, C. (2006). *Office building energy saving potential in Singapore*. (Master of Science Thesis). Singapore: National University of Singapore (NUS).
- Roach, P., Bruno, F., & Belusko, M. (2013). Modelling the cooling energy of night ventilation and economiser strategies on façade selection of commercial buildings. *Energy and Buildings*, 66, 562-570. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.034>
- Samuel, D. G. L., Nagendra, S. M. S., & Maiya, M. P. (2013). Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review. *Building and Environment*, 66, 54-64. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.016>
- Santamouris, M., & Asimakopoulos, D. (1996). *Passive cooling of buildings*. James & James.
- Schittich, C. (2006). *In detail: Building skins*. Basel: Birkhäuser.
- SEDBUK. (2005). *Boiler Efficiency Database*. Preuzeto sa <http://www.boilers.org.uk/>
- Sherman, M. H., & Chan, R. (2004). *Building airtightness: Research and practice*. Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBNL-53356. Preuzeto sa [http://www.aivc.org/sites/default/files/members\\_area/medias/pdf/Inive/LBL/LBNL-53356.pdf](http://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/LBL/LBNL-53356.pdf)
- Smith, P. F. (2005). *Architecture in a climate of change: A guide to sustainable design*. Oxford: Architectural Press.
- Soltani, M., Chaker, M., Haddad, E., & Kruzelecky, R. (2008). Thermochromic vanadium dioxide [VO<sub>2</sub>] smart coatings for switching applications. *Applied Physics in the 21st Century*. ISBN: 978-81-7895-313-7
- Stephen, R. (2000). *Airtightness in UK dwellings*. IHS BRE Press.
- van den Dobbelaere, A. (2008). Towards closed cycles - new strategy steps inspired by the cradle to cradle approach. In: Conference proceedings / PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008. Preuzeto sa [http://plea-arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/oral/PLEA\\_FinalPaper\\_ref\\_655.pdf](http://plea-arch.org/ARCHIVE/2008/content/papers/oral/PLEA_FinalPaper_ref_655.pdf)
- Wood, A., & Salib, R. (2013). *Guide to natural ventilation in high rise office buildings*. Routledge.