

ARHITEKTONSKI KONCEPTI ENERGETSKE EFIKASNOSTI ZGRADA

Dušan Vuksanović¹

SAŽETAK:

U radu su analizirani neki od projektantskih koncepata u arhitekturi, namijenjenih energetske efikasnosti, koji se primjenjuju u ranoj fazi procesa projektovanja – fazi shematskog projektovanja, odnosno zasnivanja arhitektonskog rješenja objekta. Po svojoj prirodi ove projektantske strategije imaju ulogu da budu dovoljno obuhvatne da obezbijede primjenu svojih ključnih potencijala, ali istovremeno da budu i dovoljno jednostavne kako ne bi opterećivale projektante pretjeranom količinom informacija.

Razmatrani su projektantski modeli za pasivno grijanje, pasivno hlađenje i prirodno osvetljavanje prostora na nivou objekta, zgrade. Podređivanje projektantskog koncepta jednom od navedenih pasivnih principa, odnosno njihova zastupljenost i usaglašavanje u okviru dnevnih i sezonskih ciklusa, zavisi od lokalnih klimatskih uslova i vrste objekta (stambeni, poslovni, školski). Prikaz modela praćen je tumačenjem fenomena uticaja (klima, namjena) i odgovora (koncept, pasivne komponente), vezanih za određenu strategiju, i ilustracijom strategije na primjeru izvedenog objekta (case study). Teme projektantskih strategija vezanih za energetske efikasnost razmatrane su kroz različite nivoe, kao što su prostorna organizacija, oblik i dodatne komponente zgrade i sastav i karakteristike konstrukcija fasada i krovova.

Ključne riječi: arhitektonska forma, energetske kriterijumi, pasivni principi, projektantske strategije

¹ Dr Dušan Vuksanović, Vanredni profesor na Arhitektonskom fakultetu Univerziteta Crne Gore, Arhitektonski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica, Tel.: 081/242-517; Fax: 081/269-317; E-mail: dusan@cg.ac.yu

1. UVOD

Osnovna premisa je da se najveći dio odluka koje utiču na potrošnju energije u zgradi donosi upravo u početnoj fazi projektovanja – u fazi shematskog projektovanja. Projektantski napor potreban za grubo sagledavanje energetskih aspekata u ovoj fazi je mali u poređenju sa naporom koji je potreban kasnije. Obrazloženje ove teze leži u okolnosti da se aktivnost projektanta odvija prvenstveno u smislu sinteze (povezivanje u ukrštanje ideja), a ne u smislu analize. Shodno tome, informacija i analiza problema treba da budu predstavljene, prije svega, na način koji generiše arhitektonski oblik. To pomaže projektantu da razumije kako se forme, generisane po energetskim kriterijumima, uklapaju u forme koje su nastale po drugim principima.

2. O ANALIZI KOJA PRETHODI PROCESU PROJEKTOVANJA

2. 1. Analiza konteksta prirodne i građene sredine

Analiza koja prethodi procesu projektovanja omogućava projektantu upoznavanje sa prirodnim i/ili (antropogenim djelovanjem) stvorenim uslovima lokacije. Riječ je o analizi konteksta prirodne i građene sredine koja obuhvata: analizu karakteristika sunčevog zračenja, vjetra i osvjetljaja za određenu lokaciju i tip klime, analizu samog objekta – od arhitektonske forme do strukture spoljašnjih konstrukcija, kao i namjenu i režim korišćenja objekta. Rezultati analize konteksta primjenjuju se u fazi formulisanja projektnog zadatka, tako što:

- pomažu u definisanju osnovnog problema: da li je to grijanje, hlađenje ili osvjetljavanje (toplotni i vizuelni komfor);

- omogućavaju uvid u to kako se potrebe za toplotnim i vizuelnim komforom mijenjaju tokom dana i tokom godine, kao i uvid u to kako promjene u obliku zgrade i njenim spoljašnjim konstrukcijama utiču na ove potrebe.

Sve prethodne analize, uključujući i projektni zadatak, rezultiraju oblikovanjem ideje o tome koji projektantski principi treba da budu dominantni – vodeći.

2. 2. Sadržaj analize

Analiza klime obuhvata analizu sunčevog zračenja, vjetra, sunčevog zračenja i vjetra posmatranih zajedno, dnevnog osvjetljaja i komfora.

Analiza sadržaja (programa) i režima korišćenja obuhvata analizu uticaja namjene zgrade (stambena, poslovna, školska, hotelska i dr.) na nivo unutrašnjih toplotnih dobitaka, odnosno na potrebe za grijanjem i hlađenjem.

Analiza oblika i omotača zgrade (spoljašnje konstrukcije) obuhvata analizu uticaja oblika zgrade, njene veličine i orijentacije i sastava konstrukcija njenog omotača na mogućnosti zgrade da gubi ili prima toplotnu energiju, što determiniše njene energetske potrebe.

Posebni dio predstavlja *kombinovano razmatranje interakcija – bioklimatski dijagram*, preko kojeg se analizira kombinovani uticaj interakcija klime, programa i oblika na potrebe za grijanjem i hlađenjem.

2. 3. Arhitektonski koncepti energetske efikasnosti – koncepti „pasivne” arhitekture

Kriterijumi koji se primjenjuju u odabiru projektantskih koncepata/strategija obuhvataju sljedeće aspekte: da se strategija odnosi na energiju, da je po prirodi „pasivna”, da mora ukazivati na osnovnu formu i relacije u prostornoj organizaciji, da obuhvata sagledavanje uticaja određene pasivne komponente na izgled objekta (fasadu), uključujući i posljedice primjene određenog funkcionalnog elementa na kasnije faze razrade projekta.

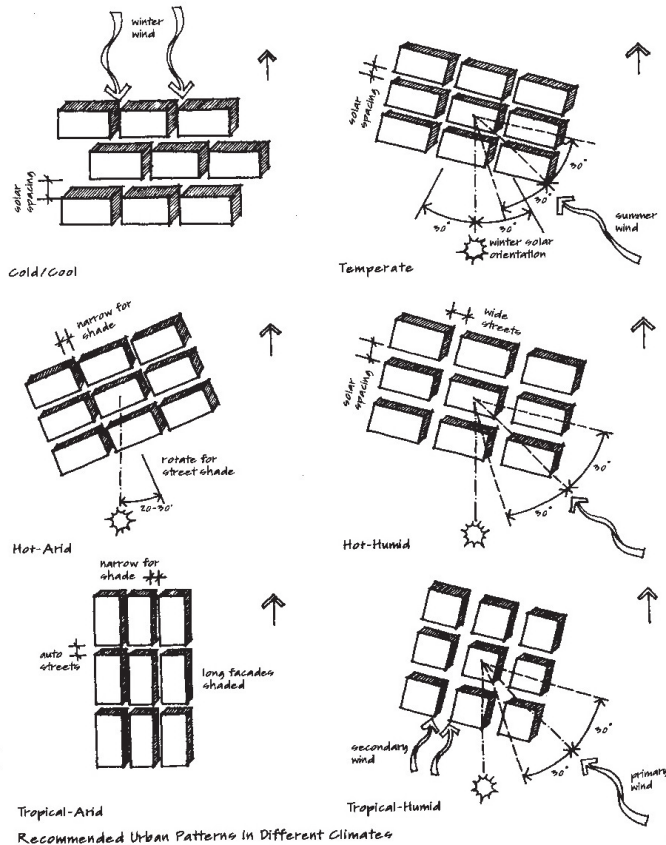
U skladu sa navedenim kriterijumima, razmatrani su ključni *koncepti „pasivne” arhitekture*: pasivno grijanje, pasivno hlađenje i prirodno osvjetljavanje.

3. TIPOVI KLIME I URBANE MATRICE

Urbane matrice – ulična mreža i gradski blokovi mogu biti orijentisani i dimenzionisani tako da integrisano izraze brigu o suncu, svjetlosti i sjenci u skladu sa prioritetima klime (strategije: grijanje, hlađenje i osvjetljavanje).

Orijentacija i širina ulica značajno utiču na mikroklimu u okolini zgrada, kao i na mogućnosti osunčavanja i korišćenja vazdušnih strujanja (vjetra) u zgradama. Šire ulice u pravcu istok – zapad omogućavaju bolje zimsko osunčavanje, dok šire ulice u pravcu preovlađujućih vjetrova pospešuju provjetravanje na nivou naselja. U pojasu većih geografskih širina (hladna klima sjeverne hemisfere) južna orijentacija je dominantnija u pogledu korišćenja sunca za grijanje prostora, u odnosu na srednje geografske širine (umjerena klima), gdje je situacija fleksibilnija, jer uključuje i otklone do 30° u odnosu na južnu orijentaciju. Uske ulice u pravcu sjever – jug omogućavaju uzajamno zasjenčenje zgrada u toplim suvim klimatima.

Zavisno od klime i vrste toplotnog opterećenja zgrade, različite kombinacije projektantskih strategija mogu biti odgovarajuće. Treba imati u vidu da *zgrade kod kojih dominira unutrašnje toplotno opterećenje* imaju veće potrebe za hlađenjem, nego *zgrade kod kojih dominira toplotno opterećenje preko omotača*.



Slika 1. Preporučene urbane matrice za različite tipove klime: orijentacija ulične mreže i proporcije gabarita zgrada

4. DIMENZIONISANJE OTVORENIH PROSTORA I MORFOLOGIJA ZGRADA

Grupacije zgrada formirane u vidu nizova po pravcu istok-zapad povećavaju solarni zahvat i obezbjeđuju osunčavanje za svaku zgradu (strategija: grijanje). Odgovarajuće rastojanje između zgrada za ravan teren determinisano je upadnim uglom sunčevog zraka na dan zimskog solsticijuma (21. decembar). Rastojanje između zgrada (S), prema kriterijumu sjenke, kao jedan od primarnih urbanističkih principa, predstavlja funkciju visine zgrade (H), korigovanu koeficijentom (X) čija vrijednost zavisi od geografske širine (za vrijednosti do 52° s. g. š.).

U slučaju novog stambenog naselja „Solar City Pilching” formirani su nizovi u pravcu istok – zapad prema upadnom uglu od 18° . Određena redukcija rasto-

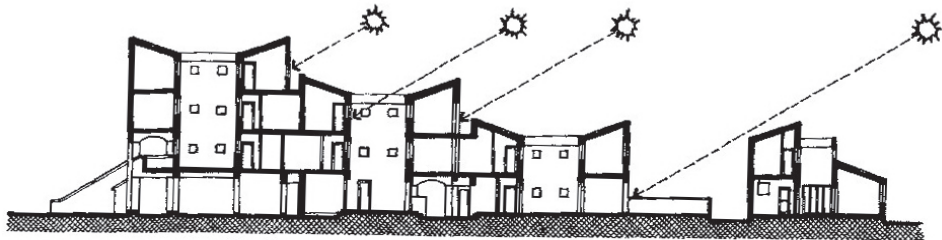
janja postignuta je izdizanjem prizemlja od nivoa terena, kao i djelimičnim „izostavljanjem” sjeverne polovine gabarita.

Kod stambenog kompleksa na ostrvu Đudeka, Venecija (G. Valle), formiranog takođe u pravcu istok – zapad, najviši blok je lociran na sjevernoj strani i spratnost se postepeno smanjuje ka jugu. Sjenka od najvišeg bloka ne ugrožava druge objekte, s obzirom na to da se sa sjeverne strane naselja nalazi park.

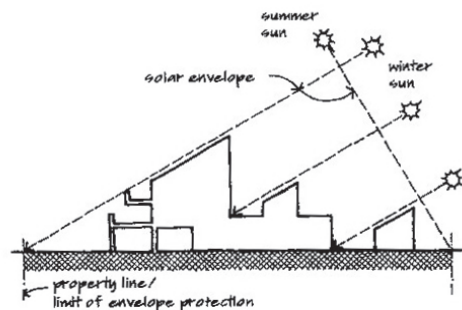
Za postizanje kako solarnog zahvata tako i zaštite od sunca oblikovanje siluete fizičke strukture (poprečnog presjeka objekata) treba da se u što većoj mjeri uklapa u okvire „solarnog omotača” koji definišu uglovi zimskog i ljetnjeg sunca.



Solar City Pilching, Linz, Austria, Norman Foster & Partners,
Section Through South Sector Housing



North-South Section, Public Housing Estate, Giudecca Island, Venice, Italy, Gino Valle



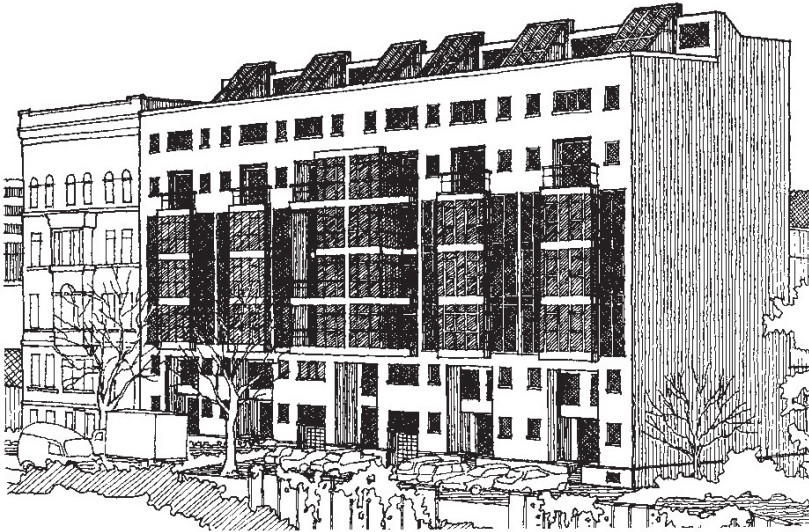
Solar Collection Within the Solar Envelope

Slika 2. Grupacije formirane u vidu nizova po pravcu istok-zapad:
kriterijumi sjenke – u pogledu razmaka objekata; aspekti
solarnog omotača – u morfologiji poprečnog presjeka

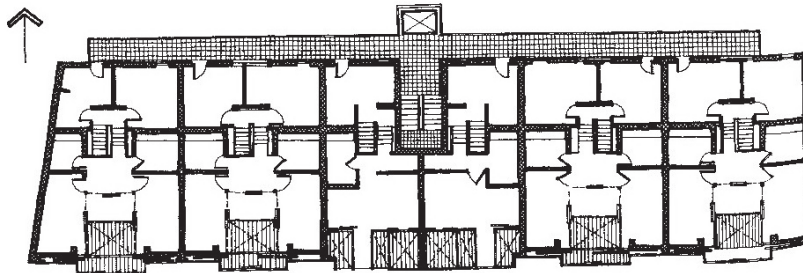
5. PASIVNI KONCEPTI U PROJEKTOVANJU ZGRADA – CASE STUDY

5. 1. Pasivno solarno grijanje – primjena staklenika kod višespratnih (stambenih) zgrada

U arhitektonskom smislu, staklenici se povezuju sa osnovnim korpusom zgrade na dva načina: kao pridodati, sa jednim zajedničkim zidom (otvoreni), ili kao „ugrađeni”, sa tri zajednička zida (poluzatvoreni). Primarno prenošenje toplote između staklenika i prostorija kojima služi obavlja se konvekcijom kroz otvore u zajedničkom zidu. Zajednički zid može biti i termički izolovan (sa unutraš-



South Facade, Solarhaus Lützowstrasse, Berlin, Germany, IBUS



Level 4 Plan, Solarhaus Lützowstrasse, Berlin, Germany, IBUS

Slika 3. Primjena staklenika kod višespratnih stambenih zgrada: Solarhaus Lützowstrasse, Berlin, 1990.

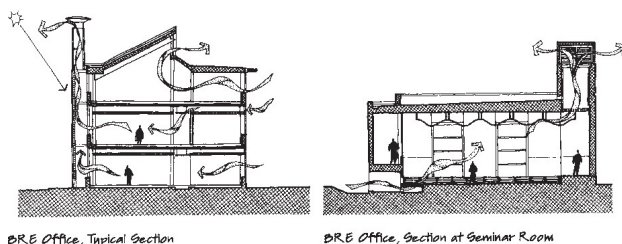
nje strane), pri čemu prenošenje toplote u potpunosti zavisi od pasivne (uzgonske) cirkulacije, po potrebi pospješene i ventilatorima. Da bi se obezbijedila dovoljna toplotna akumulacija (u slučaju izolovanog akumulacijskog zida), potrebno je koristiti masivnu konstrukciju i ispod poda staklenika.

Primjena staklenika kod višespratnih zgrada: Solarhaus Lützowstrasse, Berlin, 1990. Rješenja staklenika usklađena su sa arhitektonskim rješenjem zgrade: 1-etažni i 2-etažni staklenici za niveoe od trećeg do šestog sprata; pokretna klizajuća noćna TI; posebni staklenici namijenjeni su potkrovlju; sjeverno orijentisane spavaće sobe su denivelisane za ½ spratne visine zbog osunčavanja – zagrijavanje i osvjetljavanje.

5. 2. Pasivno hlađenje – prirodna ventilacija

Prirodna ventilacija – poprečna može biti efikasna strategija za hlađenje prostora u slučaju kada ima vjetera i kada je spoljašnja temperatura vazduha niža od unutrašnje. Imajući u vidu promjenljivost karakteristika vjetera, kao i raznolike stvorene faktore koji remete poželjna strujanja iz okoline, pouzdanije rješenje predstavlja uzgonska ventilacija (ventilacija po vertikali). Uzgonska ventilacija omogućava slične rashladne efekte kao poprečna ventilacija, i ne zavisi od orijentacije.

Efikasnost ovog tipa prirodne ventilacije predstavlja funkciju vertikalnog rastojanja ulaza i izlaza vazduha (gradijent pritiska vazduha), veličine otvora i razlike između spoljašnje temperature i srednje unutrašnje temperature, mjerene po visini prostorije.



BRE Office Building, Garston, UK, Feilden-Clegg

Slika 4. Prirodna ventilacija za pasivno hlađenje – korišćenje poprečne i uzgonske ventilacije: BRE Building, Garston, UK, 1997.

(gradijent pritiska vazduha), veličine otvora i razlike između spoljašnje temperature i srednje unutrašnje temperature, mjerene po visini prostorije.

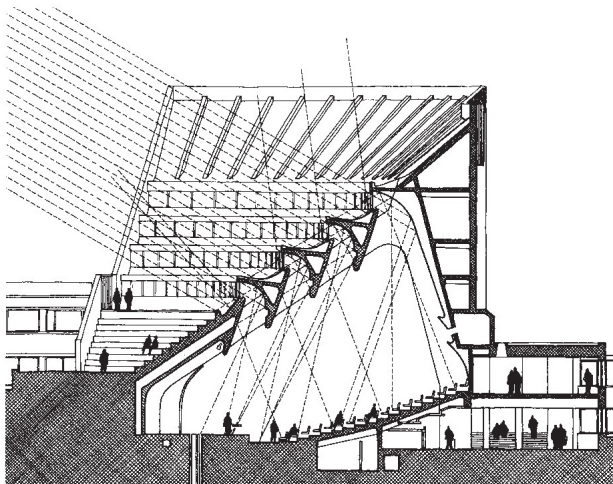
Prirodna ventilacija (poprečna i uzgonska) – pasivno hlađenje: Building Research Establishment Office Building (BRE Bldg), Garston, UK, 1997. Primijenjeni su mehanizmi i poprečne i uzgonske ventilacije:

– Uzgonska ventilacija: pet dimnjaka sa južne strane ventiliše dvije niže etaže; visina dimnjaka $>$ za 2 H od nivoa ulaza vazduha; južna strana im je zastakljena kako bi se povećala temperaturna razlika i uzgonski efekat.

– Poprečna ventilacija: prevladava otvoreni plan bez hodničkih zidova, a na sjevernoj strani individualne jedinice nisu kontinualne.

5. 3. Prirodno osvjtljavanje – reflektujuće površine

Refleksija unutrašnjih površina izuzetno je važna za povećanje vrijednosti *interreflektovane komponente* svjetlosnog dnevnog činioca koja inače ima ključnu ulogu u nivou osvjtljaja djelova prostorije udaljenijih od prozora. Važno je da površina koja prva reflektuje dnevnu svjetlost bude svijetle boje, radi obezbjeđivanja što veće količine dnevne svjetlosti reflektovane u prostor. Ova površina može biti pod, kada svjetlost dolazi direktno, ili plafon, kada se svjetlost reflektuje sa spoljašnjih površina u nivou terena.



Main Auditorium, Institute of Technology, Otaniemi, Finland, Alvar Aalto

Surface	Recommended Reflectance (%)	Color	Reflectance (%)
Ceilings	70-80	white	80-90
Walls	40-80	pale yellow & rose	80
Floors	20-40	pale beige & lilac	70
		pale blue & green	70-75
		mustard yellow	85
		medium brown	25
		medium blue & green	80-90
		black	10

Recommended Finish Reflectances

Daylight Reflectance of Colors

Slika 5. Primjena „reflektora”: Institute of Technology, Glavni amfiteatar, Otaniemi

ti pod, kada svjetlost dolazi direktno, ili plafon, kada se svjetlost reflektuje sa spoljašnjih površina u nivou terena.

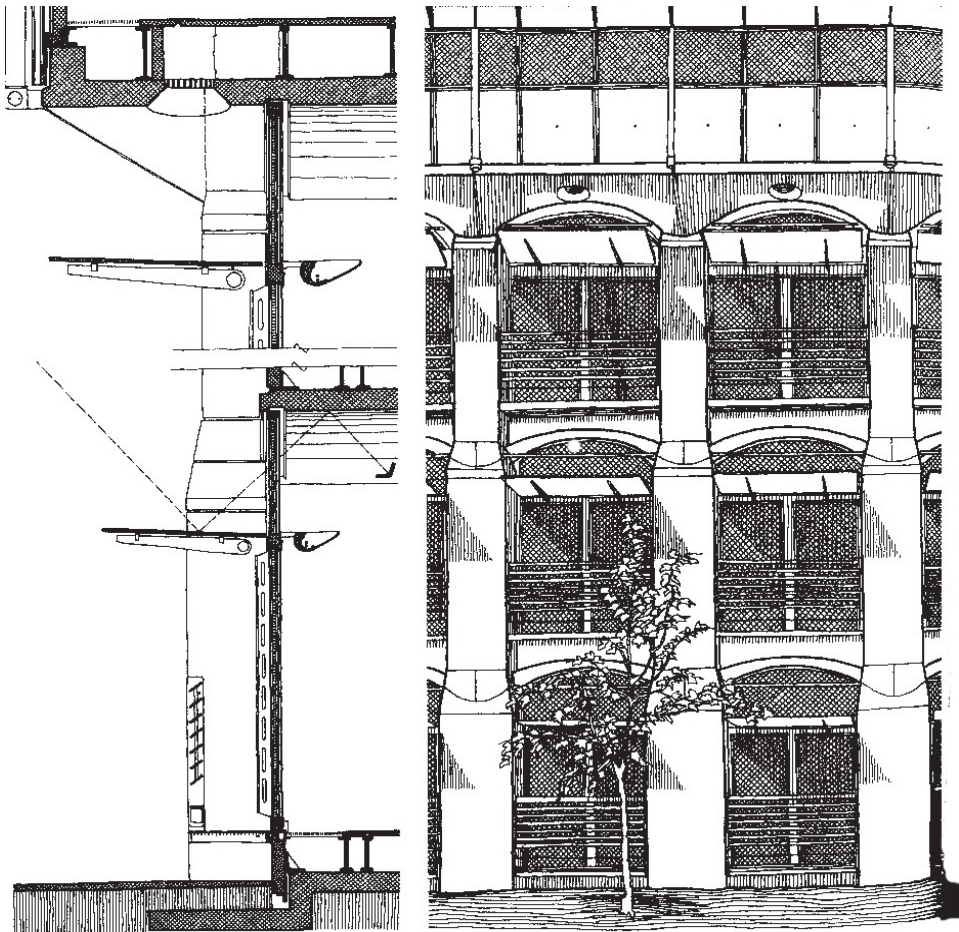
Površina	Preporučena refleksija (%)
Plafoni	70-80
Zidovi	40-80
Podovi	20-40

Tabela 1. Preporučene vrijednosti refleksije završno obrađenih površina

Primjena „reflektora”: Institute of Technology, Main Auditorium, Otaniemi, Finland, Alvar Aalto, 1975. Sunčeva svjetlost dolazi sa juž-

ne strane i pada na svijetlo obojene reflektujuće površine. Geometrija „reflektora” obezbjeđuje ravnomjerno difuzno raspršivanje dnevne svjetlosti u enterijeru.

Primjena reflektora – „svjetlosnih polica”: *Inland Revenue Offices, Nottingham, UK, 1995.* Reflektori – „svjetlosne police” (light shelves) primijenjene su kod tri niže etaže. Završni sprat ima centralnu lanternu koja obezbjeđuje više unutrašnje nivoe osvjtljaja. Svjetlost reflektovana od prozorskih „polica” pada na svodastu površinu tavanice koja obezbjeđuje njenu ravnomjernu distribuciju. Staklene police su blago prozirne (propuštaju 20% svjetlosti), čime je izbjegnuta bljesak u slučaju potpuno reflektujuće površine.



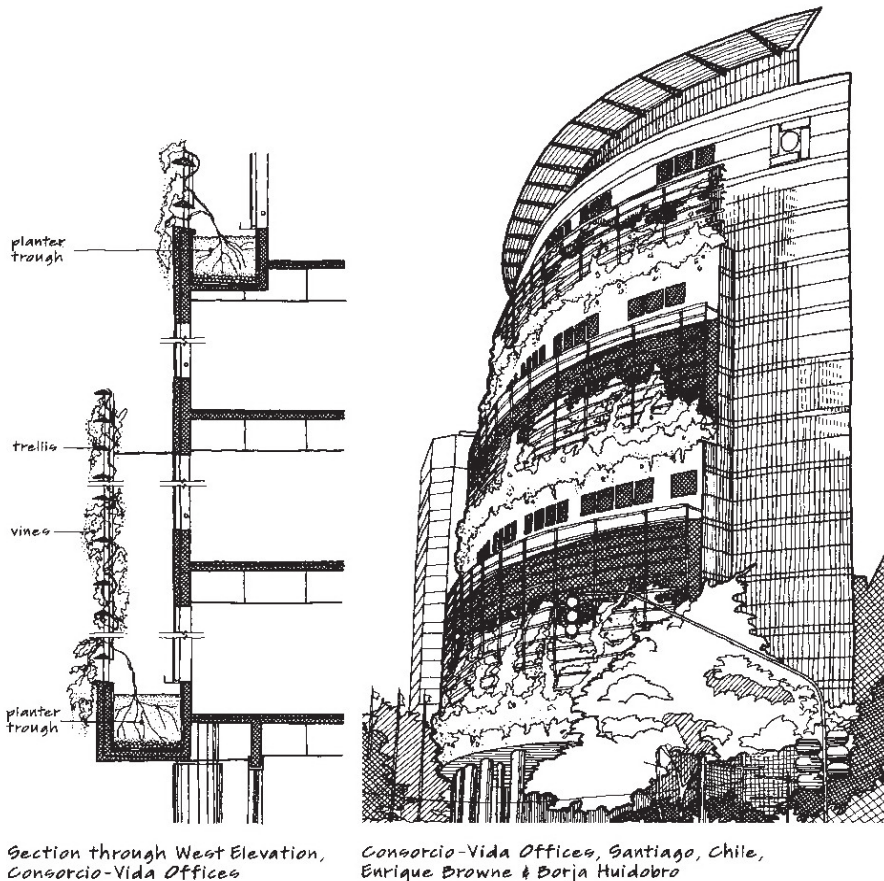
Inland Revenue Offices, Nottingham, England, Michael Hopkins & Partners

Slika 6. Primjena reflektora – „svjetlosnih polica”:
Inland Revenue Offices, Nottingham

5. 4. Zaštita od sunca – primjena barijere od listopadne vegetacije

Sloj/element dodat sa spoljašnje strane prozora/staklene fasade može efikasno zaštititi staklenu površinu i time redukovati solarne toplotne dobitke. Specifičnosti primjene različitih rješenja zaštite od sunca (horizontalnih, vertikalnih ili ukrštenih brisoleja) vezane su za neujednačenu sezonsku prilagođenost potrebama sprečavanja ili omogućavanja prodora sunčevog zračenja u prostorije. U tom smislu, pored pokretnih zastora tipa „sunscreens“, listopadne puzavice pružaju efikasno zasjenčenje, s obzirom na prirodnu usklađenost ritma listanja tokom godine sa sezonskim potrebama u pogledu zaštite od sunca.

Primjena vegetacijske barijere od listopadne puzavice: Consorcio – Vida Offices, Santiago, Chile, 1999. Primijenjen je vertikalni „screen“ od vinove loze, za-



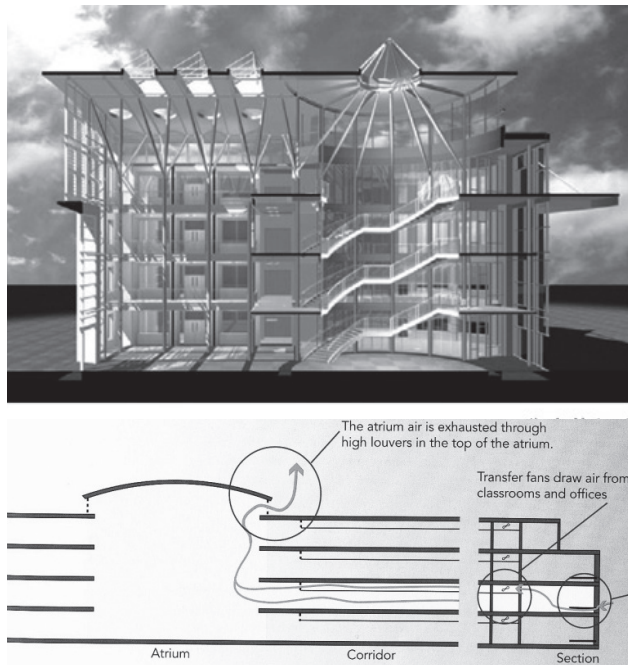
Slika 7. Korišćenje prirodne puzavice kao „elementa“ za zaštitu od sunca na poslovnoj zgradi u Santiagu, Chile, 1999.

sadene u linernu žardinjeru, kao zaštita od izuzetno nepovoljnog zapadnog sunca. Noseći ram je postavljen na 1.5 m od fasade. Lišće loze blokira oko 60% solaranog toplotnog opterećenja zida. Značajna je okolnost da vinova loza proizvodi gustu strukturu od lišća mnogo brže nego drveće.

5. 5. Koncept integrisane zgrade sa atrijumom

Primjena integrisanog koncepta sa atrijumom: Lillis Business Complex, University of Oregon, USA, 2003. Glavni hol – atrijum nove zgrade fakulteta predstavlja „centralni uređaj” primijenjenih sistema energetske efikasnosti koji sadrži i pasivne i aktivne sisteme. Pasivni sistemi odnose se na prirodnu ventilaciju i prirodno osvjetljenje, a aktivnim sistemima pripadaju fotonaponske ćelije integrisane u staklenu fasadu.

Sistem optimizovane kombinacije prirodnog i električnog osvjetljenja zasniva se, s jedne strane, na brisolejima čiji se položaj automatski prilagođava intenzitetu sunčeve svjetlosti tokom dana, dok je, s druge strane, intenzitet vještačkog osvjetljenja uslovljen i senzorski doziran propuštanjem i intenzitetom dnevne svjetlosti. Brižljivo projektovane učionice i kancelarije mogu se koristiti gotovo cijele godine bez upotrebe vještačkog osvjetljenja.



Slika 8. Atrijum (glavni hol) zgrade Lillis: ključna uloga u sistemu prirodne ventilacije i visok kvalitet prirodnog osvjetljenja

6. ZAKLJUČCI

Analiza energetske karakteristika zgrade omogućava projektantu da shvati ili bolje razumije kako zgrada koristi energiju. Na taj način se stvaraju uslo-

vi da odgovarajući arhitektonski koncepti postanu integralni dio početne projektantske ideje.

Teme projektantskih strategija vezanih za energetske efikasnost razmatrane su kroz različite nivoe: kroz organizaciju prostora i oblik, ali i kroz posebne funkcionalne komponente zgrade – dodate i/ili integrisane u konstrukcije fasada i krovova.

Podređivanje projektantskog koncepta jednom od osnovnih pasivnih principa, odnosno njihova zastupljenost i usaglašenost u odnosu na dnevne i sezonske cikluse, zavisi od lokalnih klimatskih uslova i vrste objekta (stambeni, poslovni, školski).

Prikazani primjeri imaju paradigmatički karakter, s obzirom na stepen i intenzitet primjene koncepta energetske efikasne arhitekture, zbog čega ih ne treba posmatrati kao jedino prihvatljive domete u kontekstu teme.

7. LITERATURA

- [1] D. Vuksanović: *Model energetske i ekološke rehabilitacije hotelskih objekata na primjeru hotela Maestral, Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene u zemlji*, Naučni skupovi – Knjiga 65, Odjeljenje prirodnih nauka – Knjiga 8, Crnogorska akademija nauka i umjetnosti, Podgorica, 2004., str. 165-173
- [2] J. Reynolds: *Heating Seminar*, University of Oregon, School of Architecture and Allied Arts, United States, 2006
- [3] G. Z. Brown, M. DeKay: *Sun, Wind & Light – Architectural Design Strategies*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., United States, 2001

DESIGN STRATEGIES FOR ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS

ABSTRACT:

Some of the design concepts for energy efficiency in architecture that apply in early stages of design – a schematic design, i. e. in the phase of making a concept of architectural solution, are analysed in this paper. These design strategies have a role to be comprehensive enough to provide application of their key potentials, but at the same time they need to remain simple enough and not burden a designer with inadequate number of information.

Design models for passive heating, passive cooling and natural lighting have been considered for the level of buildings. Guiding a design concept towards the one of described design principles e. g. their application within the diurnal and seasonal cycles, depends on local climatic conditions and type of building (residential, co-

mmercial or educational). The presentation of a model is followed by the explanation of the phenomena of impacts/influences (climate, program) and answers (the concept, passive components) related to a certain strategy, and by the illustration of a strategy on a realized object (case study). Issues of design strategies on energy efficiency are considered through different levels, as well as through spatial organization, form and added components of buildings, and structure and characteristics of structures.

Key words: *architectural form, energy criteria, passive principles, design strategies*

