

PRIRODNO OSVETLJENJE PROSTORA – ZAŠTO, KAKO I KOLIKO?

Marija Veličković, Jean-Dominique Lenard, Ljubica Mudri

De Luminae, Montreuil, Francuska,

{maricanis, jdlenard, lmudri}@deluminaelab.com

Sadržaj: Adekvatno osvetljenje prostora prirodnom svetlošću omogućava: uštedu primarne energije i osećaj komfora i prijatnosti (*fr: agrément, en: pleasantness*) kod korisnika prostora. Ušteda primarne energije se ogleda, kako u uštedama vezanim za osvetljenje, tako i uštedi energije za grejanje prostora, jer se korišćenjem efekta staklene bašte može omogućiti zagrevanje prostora u zimskom periodu, zahvaljujući prirodnoj svetlosti. Svetlosni komfor je direktno vezan za fiziološko stanje korisnika, na primer pojava zamora usled prevelikog kontrasta unutar vidnog polja. Osećaj prijatnosti je kompleksniji pojam, koji osim fizioloških potreba čoveka, obuhvata i njegov individualni, psihološki doživljaj nekog prostora. Na ove subjektivne aspekte svetlosnog ambijenta u današnje vreme se obraća sve veća pažnja, kako zbog povećanja opšteg nivoa stresa u svakodnevnom životu, tako i zbog potencijalnog porasta produktivnosti u prostorima koji su komforni i prijatni za boravak i rad. Istraživanjima je pokazano da je prijatnost pri upotrebi prirodnog osvetljenja veća nego kod veštačkog osvetljenja prostora.

Zbog toga proučavanje, proračun i upotreba prirodne svetlosti u stambenim, komercijalnim i svim ostalim objektima ima višestruki značaj, i ne može se zanemariti ni u današnje vreme, kada je na tržištu dostupan veliki broj različitih veštačkih izvora svetlosti.

Zadnjih godina u arhitekturi postoji tendencija ka održivoj izgradnji (*sustainable architecture*), koja podrazumeva projektovanje zgrada visoke energetske efikasnosti, pri čemu jedan od načina uštede energije maksimalno korišćenje dostupne prirodne svetlosti. U Evropi i svetu se u ovoj oblasti tokom zadnjih nekoliko godina uvode zakonske regulative, kao i olakšice za projektante i korisnike održivih i energetski efikasnih objekata.

U ovom radu biće ukratko opisan značaj prirodnog osvetljenja za čoveka kao pojedinca i za celo društvo; neke od performansi dnevnog osvetljenja, sa osvrtom na postojeće norme u ovoj oblasti u Evropskoj uniji.

U drugom delu rada biće prikazani rezultati proračuna različitih karakteristika prirodnog osvetljenja u realnim arhitektonskim objektima, na kojima su radili autori.

Ključne reči: Prirodno osvetljenje zgrada, Proračun prirodnog osvetljenja u arhitektonskim projektima, Održiva izgradnja, Energetski efikasne zgrade, Obnovljiva energija, Svetlosni komfor, Prijatnost.

Uvod

U savremenim arhitektonskim projektima osim definicije geometrije, morfologije i materijala od kojih će objekat biti sagrađen, često se u proces projektovanja uključuju i analize svetlosnog i termičkog ambijenta projektovanog prostora, proračuni potrošnje električne energije objekta i slično. Razlozi za to su sve veća pažnja koja se posvećuje izgradnji održivih i energetski efikasnih zgrada sa minimalnom potrošnjom primarne energije, visokim komforom, maksimalnom upotrebom obnovljivih izvora energije i minimalnim uticajem na prirodnu sredinu [SArch1] [SArch2].

Aspekt osvetljenja prostora je od posebnog značaja u projektima komercijalnih objekata, kao što su tržni centri, muzeji, škole, poslovne zgrade, u kojima optimalna kombinacija dnevnog i veštačkog osvetljenja i korišćenje savremenih metoda i tehnika za prirodno osvetljenje prostora, može dovesti do značajnih ušteda u potrošnji električne energije za osvetljenje i grejanje ili hlađenje objekta i povećanju komfora. U ovim objektima periodi u toku dana kada je zgrada u upotrebi se, u velikoj meri, poklapaju sa periodom kada je dnevna svetlost dostupna i dovoljna za osvetljenje prostora, pa je upotreba prirodne svetlosti, uz određenu strategiju osvetljenja jako dobar izbor.

Osim ekonomskih razloga za upotrebu prirodnog osvetljenja, u obzir treba uzeti i činjenicu da se ljudi mnogo prijatnije osećaju u prostoru koji je osvetljen dnevnom svetlošću u poređenju sa veštačkom. Razlozi za to kompleksne prirode, ali se može reći da potiču od 3 bitne karakteristike dnevne svetlosti: spektra zračenja, promenljivosti tokom vremena, i raspodele svetlosti u unutrašnjosti koja potiče od raspodele sjajnosti neba. To omogućava da prirodna svetlost bude uvek promenljiva, a opet prijatna za ljudsko oko [Mudri97].

U ovom radu su ukratko opisane karakteristike prirodne svetlosti u unutrašnjosti objekata, kao i njen značaj za čoveka i razlike u odnosu na veštačku svetlost. Nakon toga, opisane su i neke od performansi prirodnog osvetljenja objekata, kojima se opisuje kvalitet svetlosnog ambijenta sa aspekta prirodnog osvetljenja. Norme i zakonske regulative u ovoj oblasti, su u procesu razvoja u Evropi, pa je deo teksta posvećen i ovoj tematici.

U drugom delu rada, prikazano je nekoliko primera arhitektonskih objekata, za koje su izvršeni proračuni različitih performansi dnevnog osvetljenja. Takođe je data i analiza i diskusija rezultata, u cilju boljeg objašnjenja značaja i potrebe sa prirodnom svetlošću. Svi proračuni i analize obavljani su u okviru rada De Luminae u saradnji sa različitim arhitektonskim i građevinskim biroima u Francuskoj.

I DEO - Prirodna svetlost

Definicija i karakteristike

Prirodna ili dnevna svetlost (*daylighting*) predstavlja vidljivi deo spektra sunčevog zračenja, koje nakon ulaska u Zemljinu atmosferu prolazi kroz niz transformacija.

Prirodna svetlost koja osvetljava neku tačku na zemlji sastoji se od tri komponente: direktne sunčeve svetlosti, difuzne svetlosti sa neba i svetlosti reflektovane od tla, vegetacije i okolnih objekata [Daylight93]. Za razliku od svetlosti koja je generisana veštačkim izvorima svetlosti, prirodna svetlost je promenljiva tokom vremena po intenzitetu, raspodeli sjajnosti i po samom spektru svetlosti. Na prirodnu svetlost utiče veliki broj faktora: geografski položaj na Zemlji, položaj Zemlje u odnosu na Sunce u toku dana i godine, trenutno stanje neba - pokrivenost oblacima, reljef, okolne zgrade, vegetacija i tako dalje.

Dnevna svetlost koja osvetljava unutrašnjost nekog objekta, predstavlja frakciju prirodnog fluksa koja je modifikovana lokalnim karakteristikama zgrade. Lokalni parametri koji utiču na svetlost u unutrašnjosti zgrade su orijentacija zgrade u odnosu na strane sveta, morfologija (raspored volumena same zgrade), geometrija fasade i veličina i raspored otvora, morfologija unutrašnjosti zgrade, i materijali od kojih su napravljene transparentne i netransparentne površine na fasadi i u unutrašnjosti [Mudri97].

Na osnovu nabrojanih faktora koji utiču na raspodelu prirodne svetlosti u prostoru, jasno je da njen proračun, kao i procena kvaliteta svetlosnog ambijenta, predstavlja kompleksan problem, čije rešenje nije jedinstveno, već je podložno tumačenju i daljoj analizi. Pri tome ne treba zaboraviti da prostori različite namene zahtevaju odgovarajuću raspodelu i kvalitet svetlosti i da korisnici nekog prostora različito doživljavaju priyatnost njegovog svetlosnog ambijenta.

Razlozi za upotrebu prirodne svetlosti

Ljudi su kao deo prirode, neraskidivo vezani za osvetljenje koje potiče od sunca i neba. Od nastanka čoveka prirodna svetlost je stalni pratilac čoveka i jedini ili glavni izvor osvetljenja unutrašnjosti arhitektonskih objekata u toku dana.

U dvadesetom veku, počinje masovna proizvodnja i upotreba električnih izvora svetlosti. 70ih godina 20-og veka, mnoge poslovne zgrade projektuju se i grade sa minimalnim korišćenjem dnevne svetlosti i sa isključivo veštačkim osvetljenjem - Slika 2b. Tek početkom 90ih vide se prvi rezultati takve prakse – nezadovoljstvo i nekomfor korisnika prostora, manja produktivnost, učestali slučajevi depresije, nesаницe i drugih psihičkih problema [Rusak95], kao i znatno povećana potrošnja električne energije na osvetljenje poslovnih zgrada.

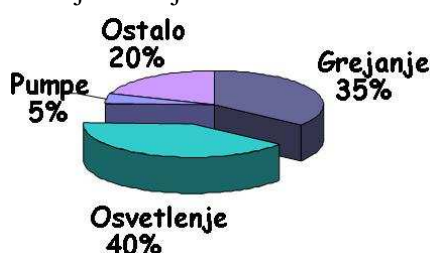
Današnja istraživanja pokazuju da i u savremenom društvu, uprkos razvijenosti tehnike i tehnologije i svuda prisutne veštačke svetlosti, čovekov životni ritam ostaje u uskoj vezi sa ritmom promene svetlosti i tame u prirodi na dnevnom i godišnjem nivou. Ljudi iz različitih geografskih podneblja, prilagođeni su odgovarajućim klimatskim i svetlosnim uslovima u svom podneblju, ali je svima neophodna dnevna svetlost. Osim neophodnosti, pokazano je da se prirodna svetlost doživljava kao prijatnija od veštačke (zbog varijacija, prirodne reprodukcije boja, gradativne raspodele svetlosti unutar prostora, itd). Pri tome ne treba zaboraviti ni pogled prema spoljašnjosti, koji korisnicima daje osećaj povezanosti sa sredinom [Energy92].

Kako ljudsko oko i organizam u celini, prirodnu svetlost doživljavaju kao prijatnu i stimulativnu, mnogi proizvođači veštačkih izvora svetlosti, kao što su Phillips [Philips] i drugi u svoje palete proizvoda uvode svetiljke sa spektrom svetlosti i temperaturom boje koja je približna dnevnoj svetlosti, kako za unutrašnje, tako i za spoljašnje osvetljenje. Ovakve svetiljke i posebne strategije osvetljenja posebno se koriste u zemljama na visokim geografskim širinama, gde polarna noć traje po nekoliko meseci. Neophodno je

naglasiti da nijedan vestatčki izvor ne može da zameni raspodelu sjajnosti nebeske kupole i kretanje sunca.

Osim navedenih bioloških razloga za upotrebu prirodne svetlosti za osvetljenje unutrašnjih prostora, postoje i ekološki, ekonomski, sociološki i politički razlozi za takvu praksu.

Postoje brojna istraživanja i proračuni potrošnje električne energije na osvetljenje i njenog udela u ukupnoj potrošnji energije. Po istraživanju sprovedenom u identičnim kancelarijama u Londonu, Atini i Kopenhagenu došlo se do identičnih rezultata da energija koja se troši na osvetljenje prostora predstavlja oko 35% ukupne eneregije potrošene na osvetljenje, grejanje i hlađenje [Energy92]. Druga istraživanja pokazuju da veštačko osvetljenje prostora i hlađenje prouzrokovano pregrevanjem (usled vestackog osvetljenja) predstavljaju 30 do 40% ukupne potrošene energije u komercijalnim zgradama. Uvođenje dnevnog osvetljenja u prostor, donosi osim direktne uštede energije za osvetljenje i manju potrošnju energije za hlađenje prostora, jer dnevna svetlost u poređenju sa električnom može da pruži više svetlosti a manje termičke energije [Daylight02], pod uslovom da postoji odgovarajuća zaštita staklene površine u letnjem periodu. Prema podacima Ministarstva za rudarstvo i energetiku Republike Srbije [EE07], u Srbiji se u domaćinstvima, na osvetljenje troši između 5 i 6% električne energije, ali treba uzeti u obzir da je taj udeo u komercijalnim zgradama zantno veći i verovatno blizak, ako ne i viši od evropskog proseka od 30-40%. Na Slici1, prikazan je udeo električne neregije koja se troši na osvetljenje u odnosu na ukupnu potrošnju električne energije u kancelarijama u Velikoj Britaniji.



Slika 1 - Cena godisnje potrosnje električne energije upotrebljene za kancelarije sa prirodnom ventilacijom, u Velikoj Britaniji [CIE2002].

Uticaj zgrada koje koriste dnevno osvetljenje, na prirodu, potrošnju fosilnih goriva i emisiju ugljen dioksida je mnogo manji nego kod zgrada koje se osvetljavaju isključivo veštačkom svetlošću. Razvoj i izgradnja energetske efikasne zgrade u mnogim zemljama je podstaknuta nižim porezima i drugim finansijskim olakšicama i kao takva se stimuliše. Kako je održavanje i upotreba ovih prostora jeftinija i kako su korisnici zadovoljniji (komfor i prijetnost), ovakvi prostori se lakše prodaju i/ili iznajmljuju (iskustvo u Evropi), i pa je korist za investitore, graditelje, pojedinačne korisnike i društvo značajno veća [Daylight97].

Što se tiče samih korisnika prostora, istraživanja pokazuju veću produktivnost i efikasnost i uopšte bolje zdravstveno stanje korisnika prostora koji se efikasno osvetljavaju prirodnom svetlošću. Kako su na duže staze troškovi vezani za zaposlene dosta visoki i prevazilaze troškove izgradnje samog objekta, jako je bitno omogućiti visoku produktivnost, kao i zadovoljstvo korisnika prostorom u kome rade¹. Povećanje zadovoljstva i udobnosti zaposlenih direktno vodi smanjenju troškova. Ukoliko je okruženje prijatno za rad, potreba za dodatnim veštačkim osvetljenjem i grejanjem ili hlađenjem je smanjena, što omogućava dodatnu uštedu primarne energije.

Rizik pri upotrebi prirodnog osvetljenja

Pri analizi značaja prirodnog osvetljenja, ne treba zaboraviti na rizik nekomfora, kao na primer blještanje, neželjene refleksije sunčeve svetlosti, pregrevanje prostora, ekstremno brza promenljivost intenziteta svetlosti itd.

Blještanje se može javiti ako direktna sunčeva svetlost osvetljava radne površine ili ulazi u vidno polje korisnika prostora. Takođe se, pri neadekvatnom dnevnom osvetljenju, javljaju refleksije na monitorima računara ili drugim sjajnim površinama u vidnom polju, što umanjuje vizuelni komfor otežava ili onemogućava rad (na računaru i drugi rad).

Pregrevanje prostorija je čest problem kod zgrada sa velikim transparentnim površinama, gde se deo

¹ Podaci prikazani u [EBN99] pokazuju da u Americi tipična kompanija troši godišnje oko 20\$/m² na energiju, \$200/m² na iznajmljivanje prostora i oko 2000\$/m² na plate radnika.

sunčeve svetlosne energije koja ulazi u objekat pretvara u toplotnu energiju (efekat staklene baste) i time čini sredinu nekomfornom i neprijatnom ili nemogućom za rad. Ukoliko zaštita tih staklenih površina nije odgovarajuća ili ako uopšte ne postoji, potrošnja energije na hlađenje prostora, ce biti veća od uštede koja se postiže prirodnim osvetljenjem. Dodaćemo da rešenje prirodne ventilacije ima takođe značajnu ulogu. (Ne zaboravimo da taj isti efekat staklene baste i zimi donosi toplotnu energiju koja je toliko očekivana i poželjna.)

Nestalnost i promenljivost prirodne svetlosti u toku dana, ponekad dovodi do situacija gde je promena spoljasnog osvetljaja značajna i veoma ucestala. Problem koji se postavlja je usklađivanje veoma varijabilnog prirodnog fluksa sa dodatnim fluksom iz vestačkih izvora .

Jos jedan problem na koji treba skrenuti pažnju: dubina prostorija je veoma suptilno pitanje jer zone prostorija koje su najudaljenije od staklenih površina mogu biti nedovoljno osvetljene i zahtevati dodatno veštačko osvetljenje u toku dana, u slučaju pokrivenog neba, što naravno nije u skladu sa težnjom ka uštedi energije.

Kako smanjiti rizik od nekomfora?

Neki od uzroka koji su u dosadašnjoj praksi otežavali integraciju dnevnog osvetljenja u zgrade su [Daylight00, Mudri 96]:

- Nedostatak podataka o prednostima korišćenja prirodne svetlosti u zgradama;
- Nedostatak metoda i kompjuterskih alata, koji su laki za upotrebu i razumljivi, a omogućavaju projektovanje i proračun dnevnog osvetljenja naročito u ranoj fazi arhitektonskog projektovanja;
- Nepoznavanje strategija za kontrolu svetlosti (zaštita staklenih površina, itd) i performansi naprednih sistema za dnevno osvetljenje.

Dobro projektovano dnevno osvetljenje prostora obuhvata ne samo odgovarajuće materijale korišćene za prozore i druge otvore i za tretman unutrašnjih neprovidnih površina, već i odgovarajuće elemente za zaštitu od pregrevanja u letnjem periodu ili smanjenja blještanja u toku sunčanih dana. Naravno, uloga zaštite je da eliminiše potencijalni nekomfor, ali u periodu oblačnog neba ta ista zaštita ne sme da umanju osvetljenost u unutrašnjosti niti da umanju efekat staklene baste u zimskom periodu.

U cilju većeg iskorišćenja potencijala dnevne svetlosti, za prenos i raspodelu prirodne svetlosti unutar prostora neophodno je poznavanje prirode prostiranja dnevne svetlosti, kao i savremenih materijala i naprednih sistema za dnevno osvetljenje, kao što su svetlo vodi (*light-pipes*), *skylights*, *light shelves* itd, koji omogućavaju da se i oblasti duboko u unutrašnjosti zgrade osvetle dnevnom svetlošću.

Pažljivo projektovanje i simbioza prirodnog i veštačkog osvetljenja, proračun i eliminacija ili oslabljenje potencijalnih izvora blještanja u nekom prostoru, projektovanje odgovarajućeg sistema ventilacije omogućavaju optimale uslove za rad i boravak korisnika u prostoru uz maksimalno poštovanje principa održivosti zgrade i energetske efikasnosti.

Rad na ovakvim zadacima zahteva angažovanje stručnjaka iz različitih oblasti: arhitekture, građevinarstva, osvetljenja prirodnog i veštačkog, termike i njihovu saradnju od prvih faza projektovanja objekta, kroz izgradnju objekta i instalaciju projektovanih sistema za prirodno osvetljenje. Da bi stručnjaci iz različitih oblasti bili upoznati sa upotrebom prirodne svetlosti za osvetljenje prostora, neophodno je i u nastavne programe odgovarajućih fakulteta uvesti odgovarajuće predmete, koji će se baviti ovom tematikom.



Slika 2 -a) Prirodno osvetljenje sale za sastanke [Lutron05]. b) Vestačko osvetljenje kancelarijskog prostora (<http://www.keselec.com/applications1.html>)

Performanse prirodnog osvetljenja

Osvetljenje nekog objekta može se opisati odgovarajućim fizičkim veličinama, kao što su raspodela osvetljenosti i sjajnosti, maksimalna i minimalna osvetljenost i druge. S druge strane, osim objektivnog, kvantitativnog opisa osvetljenja nekog prostora, postoji i subjektivni, kvalitativni opis, koji podrazumeva udobnost, prijatnost, dinamiku svetlosti, igru svetlosti i senke i drugo. Oba aspekta osvetljenja, kvantitativni i kvalitativni, definišu **svetlosni ambijent** nekog prostora.

Definisanje svetlosnog ambijenta prostora je kompleksan problem koji obuhvata opis karakteristika i položaja prirodnih (sunce, nebo) i veštačkih (svetiljke) izvora svetlosti, definiciju geografske lokacije zgrade i odgovarajućih klimatskih prilika, njenu orijentaciju i okolinu, opis geometrije zgrade, kao i materijale koji se koriste na fasadama i u unutrašnjosti i tako dalje.

Sve karakteristike prirodnog osvetljenja nekog prostora možemo podeliti na statičke i dinamičke. Statičke oslikavaju svetlosni ambijent prostora u jednom tačno određenom trenutku u toku dana i godine, za određene tačno definisane vremenske prilike. Dinamičke performanse opisuju svetlosni ambijent, kao entitet koji se menja sa vremenom, uporedo sa vremenskim prilikama u toku godine. Pre pojave savremenih računarskih alata i brzih računara, statičke karakteristike su bile jedino merilo kvaliteta svetlosnog ambijenta, jer je njihov proračun moguć pomoću formula, određenih pomoćnih alata-tablica, uproš-enih empirijskih formula i slično ili pomoću umanjenih modela zgrade. Danas, računari velike memorije i brzine, omogućavaju da se za prihvatljivo vreme izračuna raspodela svetlosti u projektovanom prostoru za period od godinu dana, na osnovu podataka o klimatskim karakteristikama određene lokacije na Zemlji. Dinamičke karakteristike vernije prikazuju osvetljenje jednog prostora, jer uzimaju u obzir promenljivost prirodne svetlosti tokom vremena.

Kvalitet svetlosnog ambijenta opisuje se različitim fizičkim veličinama, a opseg vrednosti koje definišu dobro osvetljen prostor definisan je različitim normama i regulativama organizacija kao što su: IESNA, CIE, CIBSE². U nastavku će biti navedne neke od karakteristika svetlosnog ambijenta sa posebnim osvrtom na karakteristike prirodnog osvetljenja.

Osvetljenost (*illuminance*) je veličina koja predstavlja odnos svetlosnog fluksa i površine koju osvetljava, jedinica je lux. Osvetljenost za mnogobrojne tipove lokala je definisana normama (kao evropska norma NF EN 12464-1). Na primer za kancelarije opšte namene i sale za sastanke, definisano je 500lux na radnoj površini. Treba uzeti u obzir da ova preporučena vrednost predstavlja ukupnu osvetljenost na nekoj površini koja može poticati od veštačke ili dnevne svetlosti i od njihove kombinacije.

Godišnja izloženost svetlosti (*annual light exposure*) se definiše kao kumulativna izloženost neke tačke dnevnoj svetlosti u periodu od godinu dana. Izražava se u lux satima na godinu dana (lux h/yr). Za ovu performansu postoje preporuke, koje definišu osetljivost različitih materijala na svetlost i graničnu godišnju osvetljenost. Ovaj parametar je dosta bitan kod muzejskog osvetljenja, ali i u prostorima opšte namene da bi se zaštitili predmeti [CIE].

Izloženost direktnoj sunčevoj svetlosti predstavlja ukupan broj sati u nekom periodu kada je neka tačka ili površina izložena direktnoj sunčevoj svetlosti. Smatra se da je tačka izložena direktnoj sunčevoj svetlosti kada je direktno normalno zračenje (*direct normal irradiance*) veće ili jednako 120Wh/m^2 [WMO]. Kako energija direktnog sunčevog zračenja predstavlja veći deo ukupne energije koja pada na neku površinu, ova performansa daje podatke koji su od velikog značaja za svetlosni i termički ambijent projektovanog prostora [Cvet06].

Kontrast sjajnosti između dve površine je mera za definisanje svetlosnog komfora u nekom prostoru. U Tabeli 1 je data lista vrednosti kontrasta za radne površine preporučena od strane Evropske komisije [Daylight93]. Ukoliko je kontrast sjajnosti između dve površine veći od preporucenog može doći do nekomforne vizualne situacije, zbog nemogućnosti ljudskog oka da se prilagodi velikom kontrastu.

2 IESNA - Illuminating Engineering Society of North America (www.iesna.org)

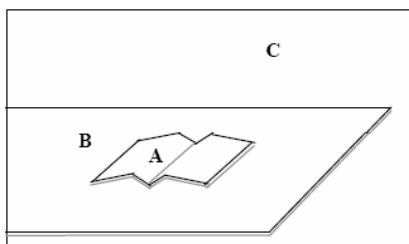
CIE - Commission Internationale de l'Éclairage (http://www.cie.co.at/index_ie.html)

CIBSE - The Chartered Institution of Building Services Engineers (<http://www.cibse.org>)

Tabela 1-Kontrasti sjajnosti za radne površine preporučeni od strane Evropske komisije [Daylight93]

Površine koja se analiziraju	Kontrast sjajnosti
Direktan radni objekat : bliska okolina	3 : 1
Direktan radni objekat : periferna okolina	10 : 1
Maksimalni kontrast između izvora svetlosti i okolnih površina (primer: prozor i zidovi oko njega, ili lampa i tangentne površine)	20 : 1
Maksimalni kontrast bilo koje 2 ne dodirne površine u prostoriji	40 : 1

Na Slici-3 dato je vidno polje korisnika prostora koje predstavlja primer direktnog radnog objekta (A) na kome se direktno radi, bliske okoline (B) koja bi trebalo da bude uglavnom uniformne sjajnosti i periferne okoline (C).



Slika 3 – Primer vidnog polja[Mudri00]. Preporučeni kontrasti A:B = 3:1, A:C = 10:1, izvor svetlosti i okoline = 20:1, i unutrašnjost lokala u celini = 40:1

Faktor dnevnog osvetljenja (*daylight factor* – DF) predstavlja odnos između osvetljenosti neke tačke u unutrašnjosti zgrade i horizontalne osvetljenosti u spoljašnjosti, za raspodelu sjajnosti neba koja odgovara standardnom CIE oblačnom nebu [CIE99]. Izražava se u procentima. Ova veličina pokazuje koji deo dnevne svetlosti je dostupan u unutrašnjosti zgrade. Ove veličina je intuitivno razumljiva i lako se izračunava ako se poznaju osvetljaji, pa se u praksi često koristi kao mera kvaliteta prirodnog osvetljenja prostora. Ona predstavlja minimalnu dostupnu prirodnu svetlost jer se računa za oblačno nebo i omogućava da se izbegne nedovoljna osvetljenost prirodnim fluksom. U Parizu, naprimer, pokriveno nebo predstavlja oko 50% vremena godišnje. Vrednost DF je veoma korisna za procenu količine i raspodele osvetljenosti u unutrašnjosti, da bi se izbegao nedostatak prirodne svetlosti u periodu kada je sjajnost neba smanjena zbog oblačnosti. Preporučene minimalne vrednosti za DF: od 2% do 5% u dnu locala tj u zonama najmanje osvetljenim [AFE83]. Druge referentne vrednosti su takodje date drugim labelama opisanim u sekciji “Standardi, norme, labele”.

Autonomija dnevne svetlosti (*daylight autonomy*) u nekoj tački u zgradi je procenat od ukupnog broja sati u toku godine kada se zgrada koristi, u kome je moguće postići minimalnu zahtevanu osvetljenost korišćenjem samo dnevne svetlosti. Minimalna osvetljenost zavisi od zadataka koji se obavljaju u projektovanom prostoru. Ova veličina zavisi, kako od geometrije i materijala same zgrade, tako i od njenog geografskog položaja i klimatskih karakteristika tokom godine, i kao takva nudi više podataka o svetlosnom ambijentu prostora nego faktor dnevnog osvetljenja. Za razliku od DF, ovu karakteristiku je moguće izračunati izključivo pomoću savremenih računarskih programa, jer je broj ulaznih podataka i broj izračunavanja jako veliki. Ova performansa dnevnog osvetljenja je definisana pre par godina, i još uvek preporučene vrednosti nisu definisane normama i standardima.

Još neke od veličina kojima se može opisati kvalitet dnevnog osvetljenja su **Korisna autonomija dnevne svetlosti (*Useful Dayligh Autonomy*)**[Nabil05], **Kontinualna autonomija dnevne svetlosti (*Continuos Dayligh Autonomy*)**. Ove veličine su još u procesu razvoja i definisanja, a zajedno sa autonomijom dnevne svetlosti predstavljaju dinamičke karakteristike osvetljenja prostora, koja zavise od klimatskih prilika na određenoj lokaciji na zemlji. [Rein05]

Jedna od kvalitativnih mera za opis kvaliteta svetlosnog ambijenta je **pregled prema spoljašnjosti**. Prihvaćeni stav je da je komfor korisnika prostora veći ukoliko imaju pogled ka spoljašnjosti, jer se tako dobija osećaj povezanosti sa okolinom, a ne osećaj izdvojenosti i klaustrofobije. Iako svetlo vodi i krovni prozori nude prirodnu svetlost u unutrašnjosti zgrade, oni ne pružaju pogled ka okolinu zgrade.

Sve opisane veličine predstavljaju samo potencijal nekog prostora da prima prirodnu svetlost, ali način na koji će ona biti iskorišćena i realne uštede u potrošnji energije zavise od korisnika prostora, sistema za kontrolu prirodnog i veštačkog osvetljenja i mnogih drugih faktora.

Standardi, norme, preporuke

Osim navedenih normi koje propisuju minimalne ili maksimalne preporučene vrednosti određene performanse svetlosnog ambijenta, postoje i preporuke i metode sertifikacije, koje se odnose na zgradu kao celinu i definišu njene performanse sa stanovišta održivosti izgradnje, energetske efikasnosti, zaštite životne sredine i slično. Postojanje ovakvih normi, koje definišu odgovarajuća ministarstva ili nevladine organizacije, omogućava u pojedinim državama niz olakšica kako za vlasnike, projektante i graditelje zgrada, tako i za kasnije korisnike prostora.

Termičke performanse objekata se već jako dugo uključuju kao obavezni zahtevi pri projektovanju objekata i zbog toga postoji čitav skup regulativa vezanih za potrošnju energije za termičke potrebe objekata. Trenutne tendencije ka održivoj izgradnji još više insistiraju na termičkim performansama zgrada, a nove regulative i preporuke se redovno propisuju u cilju poboljšanja energetske efikasnosti zgrada. U Francuskoj zakonska odredba [RT2005] definiše kompletnu metodologiju za procenu termičkog ponašanja zgrade. Ova regulativa se odnosi isključivo na termiku, dok se dnevno osvetljenje samo površno pominje. Imajući u vidu kompleksnost proračuna dnevnog osvetljenja i njenu promenljivost, u kombinaciji sa ovim „istorijskim“ tendencijama, na prirodno osvetljenje se do skora obraćalo jako malo pažnje.

Neke od normi i preporuka iz druge polovine XX veka, daju opisne preporuke za kvalitet unutrašnjeg osvetljenja objekata. Na primer: osvetljenje u radnom prostoru treba da bude “odgovarajuće i dovoljno“, uz napomenu da svetlost treba biti prirodna, ukoliko je to moguće³ [Work92]. Ovakvo pravilo više predstavlja smernicu nego jasno definisanu normu.

U Americi The US Green Building Council www.usgbc.org, definiše sistem ocenjivanja novih i renoviranih zgrada **Leadership in Energy and Environmental Design (LEED™)**. Ovim sistemom se ocenjuje koliko arhitektonski projekti odgovaraju zahtevima održivosti izgradnje, energetske efikasnosti i zaštite prirode. LEED sistem dodeljuje poene za različite performanse zgrade. Maksimalan ukupan broj poena je 69, pri čemu je 26 poena minimum da bi se zgrada mogla definisati kao “zelena”. Odgovarajućim projektovanjem dnevnog i veštačkog osvetljenja prostora moguće je dobiti čak 22 poena, kako zbog poboljšanog kvaliteta osvetljenja, tako i zbog ušteda energije na osvetljenja i hlađenje prostora. Primeri zahteva koji se postavljaju za LEED sertifikat [Lutron05]:

- Jedan poen se dobija ukoliko je minimalni DF (za oblačno nebo) od 2% postignut u najmanje 75% od ukupnog prostora na kome se rade vizuelno zahtevni zadaci.
- Jedan poen - ako je spoljašnjost vidljiva kroz prozore u 90% ukupne korišćene površine zgrade.

U Francuskoj državni institut Certivéa <http://www.certivea.fr> definiše koje karakteristike treba da ispuni zgrada da bi dobila labelu **Haute Qualité Environnementale (HQE)**. Za dobijanje labele poeni se definišu iz 14 oblasti: akustika, termika, ventilacija, osvetljenje i slično. Neophodno je da zgrada poštuje propisane uslove u svim fazama postojanja – od projektovanja, izgradnje, upotrebe, pa do faze rušenja. Certivéa definiše različite smernice zavisno od namena zgrade: kancelarije, škole, zdravstvene ustanove, hotele, skladišta, puteve.

Tabela 2 - Definicije HQE labela [Certivéa]

Stepen Labela	Uslov
BASE	DF >= 1.5% u 80% površine u 80% prostorija koje imaju kontakt sa fasadom
PERFORMANT	DF >= 2% u 80% površine u 80% prostorija koje imaju kontakt sa fasadom, DF >= 1.5% u 80% površine u ostalih 20% prostorija koje imaju kontakt sa fasadom
TRES PERFORMANT	DF >= 2.5% u 80% površine u 80% prostorija koje imaju kontakt sa fasadom, DF >= 1.5% u 80% površine u ostalih 20% prostorija koje imaju kontakt sa fasadom, DF >= 0.7% u 90% površine u prostorijama koje nisu u direktnom kontaktu sa fasadom, već su osvetljene pomoću krovnih prozora, atrijuma i slično.

3 (1) Every workplace shall have suitable and sufficient lighting.

(2) The lighting mentioned in paragraph (1) shall, so far as is reasonably practicable, be by natural light [Workplace].

Što se tiče svetlosnog ambijenta javnih zgrada, kao što su zgrade sa kancelarijama i škole, postoje preporuke za dnevno i veštačko osvetljenje. Zavisno od minimalnog nivoa prirodnog osvetljenja koje je izraženo pomoću DF, zgrada za kancelarijama ili škola može dobiti nekoliko stepena labela navedenih u Tabeli 2. [Certivéa] dokument takođe sadrži i opis procedure za računanje ovih vrednosti, pa se uprkos naizled komplikovanim uslovima, izračunavanje performansi može automatizovati.

U Srbiji je 2004. godine osnovana Agencija za energetske efikasnost – SEEA <http://www.seea.sr.gov.yu>, sa ciljem da razvija i predlaže podsticajne mere za povećanje energetske efikasnosti i da promoviše njen značaj. Ona takođe aktivno učestvuje i u projektima povećanje energetske efikasnosti pri renoviranju postojećih zgrada. Jedan od njenih zadataka i su i predlozi za usaglašavanje sa evropskom regulativom na polju energetske efikasnosti. Jedan od akata na kojima SEEA je i usaglašavanje sa Direktivom Evropske unije [2002/91/EC] o energetskoj potrošnji zgrada, čiji je glavni cin minimiziranje potrošnje energije. Osim mera za smanjene potrošnje, ovom direktivom se propisuje da članice EU treba da donesu i definišu i odgovarajuće sertifikate za ocenu energetske performansi zgrade, pri čemu se performanse definišu na osnovu različitih aspekata zgrade, kao što su termika, uticaj na okolinu, osvetljenje. U direktivi se dodatni naglasak stavlja na pozitivne strane prirodnog osvetljenja. Koliko su autori upoznati, kod nas taj sistem sertifikacije zgrada još uvek nije ustanovljen.

Na internet stranici Ministarstva rudarstva i energetike Republike Srbije, <http://www.mre.gov.rs/>, moguće je naći podatke o planovima na polju energetske efikasnosti u narednom periodu, ali se svi dokumenti i planovi odnose na uštede energije pre svega iz oblasti zagrevanja prostora, dok se potencijalne uštede u osvetljenju ne razmatraju. Kako Srbija ima veliki broj sunčanih dana u toku godine – preko 2000, potencijali za širodno osvetljenje ili upotrebu sunčeve energije u proizvodnji električne energije su veliki, ali još uvek nisu dovoljno proučeni i uzeti u obzir pri projektovanju i izgradnji zgrada.

Zemlje Evropske Unije propisuju preporuke i sertifikate za izgradnju održivih, zelenih zgrada, slične LEED ili HQE sertifikata, a u skladu sa direktivom [2002/91/EC]. Ove preporuke nisu obavezujuće, ali sve veći broj investitora i graditelja se trudi da dobije odgovarajuće sertifikate i labela iz više razloga. Zgrade koje su okarakterisane kao “zelene“, će nakon izgradnje trošiti manje energije, pa će se prostor u njima lakše izdavati i prodavati. Takođe, to je dobra reklama za investitore i dobijanje novih projekata, jer odgovarajuće labela i poeni, mogu na određenim konkursima dati prednost i uticati na izbor određenog projekta. S druge strane ukoliko neki projekat nema uslova za labelu, može se desiti da bude zaustavljen, jer investitori mogu proceniti da će prodaja prostora loše ići ili da će cene prostora morati da snize pri prodaji. Na taj način prirodno osvetljenje i odgovarajuće labela indirektno utiču na politiku izgradnje i mnogim zemljama.

II DEO – Primeri proračuna prirodnog osvetljenja

Arhitektonski projekat jedne zgrade predstavlja proces od prve mentalne slike budućeg objekta, preko skica osnovnih karakteristika procesa, idejnog i detaljnog projekta, pa do same izgradnje i početka upotrebe objekta. Kako je nivo detalja vezanih za projekat različit u svakoj fazi razvoja, tako i procene i proračuni svetlosnog ambijenta evoluiraju u toku rada. U ranim fazama skice moguć je precizni proračun ukupne količine svetlosti koja pada na fasade zgrade, zato što detalji zgrade još nisu definisani. Kasnije, kada je unutrašnja geometrija i morfologija zgrade i fasada definisana, a materijali još uvek nisu precizno specificirani, količina prirodne svetlosti koja ulazi u prostorije može se izračunati. Progresivno, sa porastom broja poznatih podataka o objektu, drugi rezultati mogu biti računati. U kasnim fazama detaljnog projektovanja, kada su svi parametri koji utiču na svetlosni flux projekta definisani, moguć je precizan proračun raspodele svetlosti kako za prirodne, tako i za veštačke izvore svetlosti. Takođe je moguća simulacija i vizualizacija spoljašnjeg i unutrašnjeg svetlosnog ambijenta. Evolucijom projekta preciznost simulacija i procena kvaliteta svetlosnog ambijenta raste.

U nastavku su opisani neki od aspekata proračuna prirodnog osvetljenja prostora, problemi koji se mogu sresti u realnim projektima, uticaj različitih elemenata projekta na dnevno osvetljenje i uticaj normi i labela na realizaciju projektovanih objekata. Osim prikaza činjeničnog stanja za različite projekte, dati su i komentari kako bi se u određenim situacijama dostupnost dnevne svetlosti mogla poboljšati i koji su problemi uočeni u predloženoj dizajnu objekata.

Cilj ovog prikaza je da pokaže značaj proračuna dnevnog osvetljenja pre svega za poslovne zgrade, koje su veliki potrošači primarne energije.

Prirodno osvetljenje zgrade i termika – saradnja ili nadmetanje

U toku razvoja arhitektonskog projekta najčešće se u projekat uključuje proračun termičkih karakteristika buduće zgrade. Procenjuju se potrebe za grejanjem i hlađenjem prostora i potrebna energija za klimatizaciju, nakon toga se prave planovi za potencijalne uštede energije, pomoću odgovarajuće izolacije, detalja geometrije fasade i transparentnih i netransparentnih materijala na fasadi, i nakon toga se projektuje sistem za klimatizaciju (HVAC). Kada su ovi proračuni u završnoj fazi ili već završeni, arhitekta i investitori, u saradnji sa stručnjacima za termiku, ponekad odlučuju da konsultuju stručnjake za prirodno osvetljenje i provere da li je i u kojoj meri moguće adekvatno prirodno osvetljenje projektovanog prostora.

Ovakav uobičajeni scenario, često dovodi do konflikta između potreba za dobrom termikom i dobrim dnevnim osvetljenjem. Često, u cilju smanjenja pregrevanja prostora direktnom sunčevom svetlošću, termičari predlažu upotrebu stakala sa manjim stepenom transmisije svetlosti ili korišćenje pokretnih ili nepokretnih zastora. Posledica toga je nedovoljna penetracija svetlosti u unutrašnjost zgrade, što kod korisnika izaziva osećaj nekomfora. U takvim slučajevima, korisnici uključuju veštačko osvetljenje u toku dana, što dovodi do dodatnog zagrevanja unutrašnjosti zgrade. Ovakva pozitivna povratna sprega povećava potrošnju energije i za osvetljenje i za hlađenje prostora. Čak i kada nema direktne sunčeve svetlosti, na primer u toku oblačnih dana, ovakve strategije sprečavaju ulazak i korišćenje dostupne prirodne svetlosti. Pored toga, ovakve jednostrane strategije mogu dovesti do isključenja koncepta solarne arhitekture tj. grejanja prostora zimi zahvaljujući efektu staklene baste. Da bi se ovi problemi zaobišli, neophodno je da se termička analiza i analiza prirodnog osvetljenja, odvijaju u istoj fazi razvoja projekata, kroz komunikaciju specijalista iz obe oblasti, i istovremeno komunikaciju sa arhitektama. To omogućava da se rano prepoznaju potencijalni problemi iz obe sfere, i da se na njihovom rešavanju radi na vreme, pre nego što nepotrebni troškovi izgradnje porastu, i pre nego što objekat sa potencijalno visokom potrošnjom energije i nekomforom za korisnike bude izgrađen i stavljen u upotrebu.

U nastavku je opisano par primera arhitektonskih projekata u kojima se javio konflikt opisan u prethodnim paragrafima. Na opisanim projektima, firma De Luminae je bila konsultovana, kao specijalista za prirodno osvetljenje objekata.

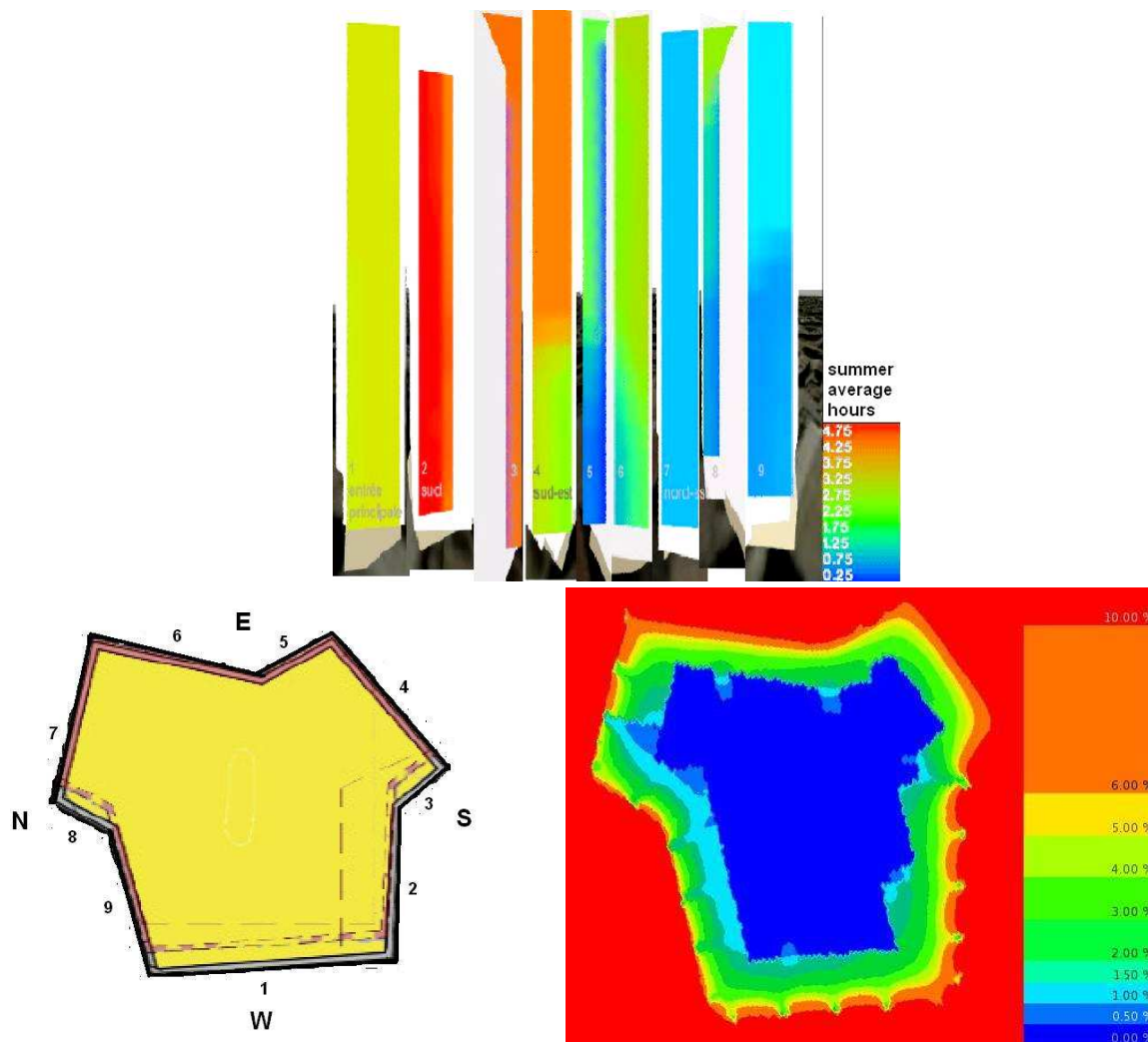
Komunikacija između projekatara i specijalista za dnevno osvetljenje

De Luminae je bio angažovan, da izvrši proračun performansi dnevnog osvetljenja solitera, na La Defense skveru u Parizu. Ovo je međunarodni projekat izgradnje komercijalne zgrade od 42 sprata.

Arhitekta je predložio da zgrada ima dvostruki omotač od stakla, pri čemu bi spoljašnji sloj stakla trebalo da se sastoji od nepokretnih serigrafisanih staklenih lamela, što bi spoljašnjosti zgrade dalo ležernost u estetskom smislu, «dematerijalizovalo» bi objekat i integrisalo je u okolno urbano tkivo. Nakon toga su angažovani, između ostalih, eksperti za termiku zgrade, u cilju projektovanja optimalnih termičkih karakteristika. Njihov predlog je bio da se za svaku fasadu zgrade upotrebi staklo odgovarajućeg stepena transmisije, u skladu sa orijentacijom fasade i potencijalnim zagrevanjem zbog sunčeve svetlosti. Ideja upotrebe serigrafskih lamela, je bila dobra sa te strane što smanjuje direktno prodiranje sunčeve svetlosti u zgradu i mogućnost nastanka blještanja; ali u kombinaciji sa unutrašnjim slojem stakla omotač ima suviše malu transmisiju svetlosti, pa u unutrašnjost zgrade ne prodire dovoljno prirodne svetlosti. Ovo je rezultiralo lošim performansama dnevnog osvetljenja zgrade. Ukoliko nedovoljno prirodne svetlosti uđe u zgradu, nema mogućnosti da se ona preusmeri i iskoristi unutar prostora. Svi ovi rezultati, dali su generalno nepovoljnu ocenu o kvalitetu dnevnog osvetljenja u unutrašnjosti zgrade.

U ovom primeru, procena eksperata za termiku je bila korektna, jer su ispoštovali termičke potrebe zgrade i uzeli u obzir potrebu za dnevnim osvetljenjem, na taj način što su transmisiju stakala prilagodili svakoj fasadi. Međutim, sam dizajn dvostrukog omotača zgrade, sa difuznim spoljnim lamelama, i dubina unutrašnjeg prostora su onemogućili da se dodje do željenih nivoa svetlosti unutar zgrade, posebno kada je nebo prekriveno oblacima.

Na slikama ispod prikazan je potencijal dnevnog osvetljenja ovog objekta u formi izloženosti direktnoj sunčevoj svetlosti, za letnju sezonu, kao i raspodela vrednosti DF po oblačnom vremenu. Rezultati pokazuju da je zgradi neophodna zaštita od direktne sunčeve svetlosti, ali da predloženi dizajn fasade vodi ka slabijem osvetljenosti u unutrašnjosti zgrade, posebno u oblastima koje su udaljene od fasade.



Slika 4-Dostupnost i raspodjela dnevne svetlosti za zgradu AIR2: a)Prosečna dnevna izloženost direktnoj sunčevoj svetlosti za letnji period u satima, b)Redosledje i orijentacija fasada, c) Raspodjela DF unutar zgrade.

U ovom primeru se može videti, da su odluke donete u ranoj fazi projektovanja, dovele do problema u iskorišćenju dnevne svetlosti u zgradi. Kako je komunikacija između arhitekta i specijalista za osvetljenje obavljena dosta kasno, mogućnosti za naknadnu promenu fasade su jako male, pa samim tim zgrada ostaje sa neadekvatnim prirodnim osvetljenjem.

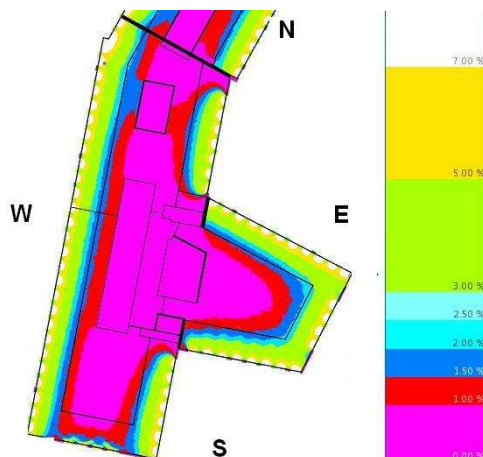
Komunikacija između stručnjaka za termiku i dnevno osvetljenje

Primer zakasnele komunikacije između stručnjaka za termiku i osvetljenje, opisan je na primeru zgrade sa kancelarijama u predgrađu Pariza. Zgrada je kompleksnog oblika i ima 7 spratova – Slika 5.



Slika 5 - Pogled na dvorište i istočnu fasadu H1B3 zgrade.

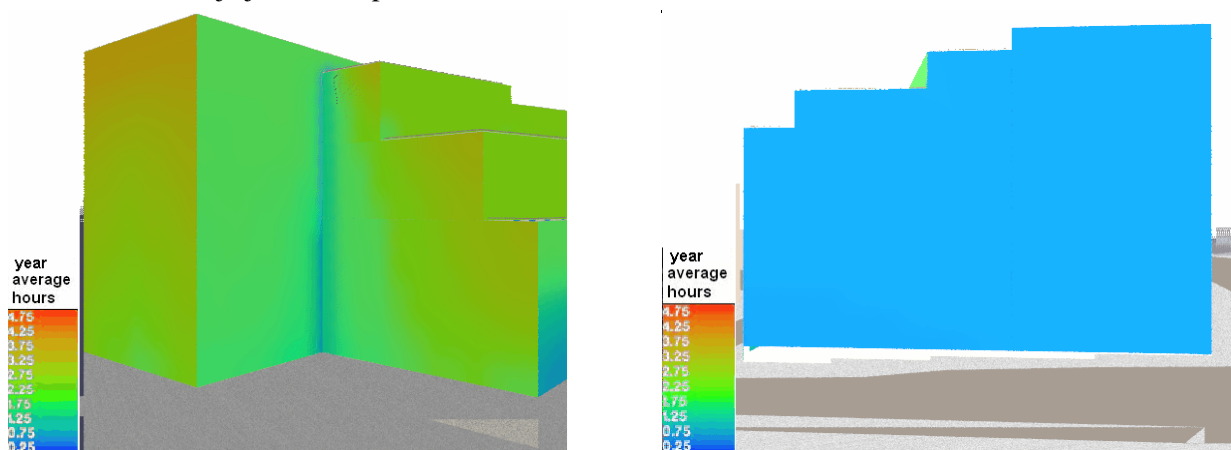
I u ovom slučaju termički proračuni su izvršeni pre konsultacija u vezi dnevnog osvetljenja. Na osnovu termičkih proračuna, za upotrebu na svim fasadama, predložena su identična stakla (koja propuštaju oko 50% vidljive svetlosti). Nakon izračunavanja DF vrednosti za celu zgradu, došlo se do zaključka da rezultati nisu u skladu sa postavljenim ciljevima za dnevno osvetljenje. Slika 6 predstavlja raspodelu faktora dnevne svetlosti u južnom segmentu zgrade.



Slika 6 - FC prikaz raspodele faktora dnevne svetlosti (DF) za južni segment zgrade H1B3. Crnim linijama je obeležena fasada zgrade i granične linije za proračun HQE labela objašnjenih u prvom delu rada.

U ovom primeru, uzrok za niske nivoe osvetljenosti je neadekvantna transmisija svetlosti. Kako je isto staklo predloženo za sve fasade, na osnovu termičkog proračuna, performanse koje ono nudi sa aspekta dnevnog osvetljenja nisu zadovoljavajuće, jer nedovoljno svetlosti ulazi u zgradu.

Jedna od metoda za poboljšanje je prilagođenje transmisije stakla u skladu sa orijentacijom svake fasade. Na primer – neke od fasada, uglavnom orijentisane ka severu, nikad ili skoro nikad ne primaju direktnu sunčevu svetlost. Na ovim fasadama, bi staklo veće transmisije, povećalo količinu svetlosti u zgradi, dok termičke karakteristike ne bi bile narušene i u tom slučaju postavljeni cilj za dnevno osvetljenje bi bio postignut. Na Slici 7 prikazane su dve fasade a) jugoistočna fasada sa visokom izloženošću suncu i b) severna fasada koja jako retko prima direktnu sunčevu svetlost.



Slika 7 – Izloženost sunčevoj svetlosti u toku godine u satima za a) jugoistočnu fasadu i b) severnu fasadu.

Kako su termička i svetlosna analiza izvršene sekvencijalno, a ne u isto vreme, u projektu je bilo prekasno za ponovnu termičku analizu zgrade, nakon naših preporuka za materijale na fasadi. U ovom slučaju vidimo da bi adekvatna i blagovremena komunikacija između termičara i stručnjaka za osvetljenje dovela do boljih rezultata i veće energetske efikasnosti objekta.

Prirodna svetlost i materijali

Može se misliti da je za prirodno osvetljenje objekata važna isključivo veličina prozora, orijentacija fasada, materijali koji se koriste za prozore, urbano tkivo kao o faktori koji utiču na raspodelu svetlosti unutar zgrade. Istina je da je uticaj ovih elementata veliki i važan, i da oni definišu količinu svetlosti koja ulazi u zgradu. Međutim, raspodela svetlosti unutar same zgrade dosta zavisi od unutrašnje geometrije i

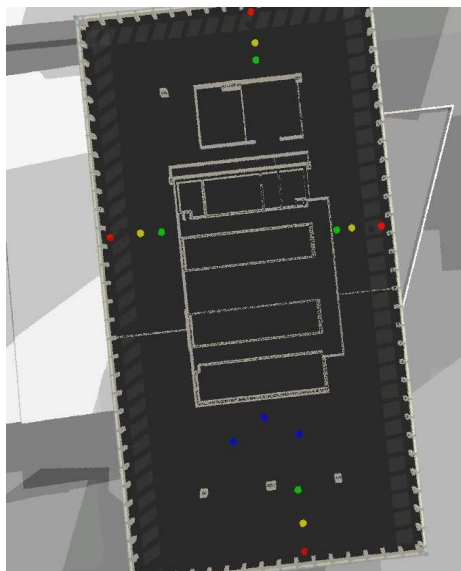
morfologije zgrade – transparentni i netransparentni pregradni zidovi, visina plafona, i od materijala koji se koriste unutar zgrade itd.

Kada se govori o materijalima, za raspodelu svetlosti su od značaja njihove optičke karakteristike. Materijali koji se koriste u zgradama su najčešće difuzni, kao što su drvo, plastika, matirani metal, podne obloge, boja za zidove i plafone. Objekti napravljeni od ovakvih materijala omogućavaju difuznu distribuciju svetlosti u zgradi i takođe sprečavaju pojavu blještanja usled refleksije svetlosti u unutrašnjosti. Koeficijent refleksije svetlosti i boja materijala, takođe imaju veliku ulogu i u svetlosnom komforu i osećanju prijatnosti. U trenutku kada su poznate osnovne karakteristike materijala koji će biti upotrebljeni, bitno je uzeti ih u obzir u proračunima dnevnog osvetljenja, jer njihov uticaj može biti jako značajan.

Značaj materijala u enterijeru zgrade opisan je na primeru rekonstrukcije zgrade Gallieni u predgrađu Pariza. U ovom slučaju najveći broj karakteristika zgrade je već definisan i nepromenljiv: eksterna geometrija zgrade i raspored nosećih stubova, pošto se radi o postojećem objektu; izgled fasade i materijali za prozore, kao i nivoi i visine plafona i spuštenih plafona. Unutrašnjost zgrade je projektovana kao otvoreni prostor za kancelarije, a naš zadatak je bio da procenimo uticaj izbora određenog materijala za prekrivanje podova u zgradi, na raspodelu prirodne svetlosti. Opseg reflektansi materijala za pod, koji je ponudio proizvođač materijala, bio je između 3% i 20%.

Da bi se procenio uticaj izbora materijala na raspodelu svetlosti, izračunate su potencijalne uštede energije koje nastaju zbog upotrebe dnevnog osvetljenja, kada se koristi svetliji materijal za podove u odnosu na tamniji. Rezultati su pokazali da promene materijala za podove, koje se obično ne uzimaju u obzir kod procena performansi zgrade, mogu dovesti do maksimalnih ušteda od 20% u potrošnji energije za osvetljenje zgrade.

Na Slici 8 je prikazan plan zgrade i položaj senzora u kojima je vršen proračun. U cilju analize uticaja refleksije poda na osvetljenost u delovima zgrade koji su različito udaljeni od fasade, sve tačke su podeljene u 3 zone: zona neposredno pored fasade - zona fasade, zona na udaljenosti od par metara od fasade – srednja zona i zona udaljena od fasade više metara – unutrašnja zona. Definisan je minimalni dozvoljeni prag osvetljenosti, ispod koga je upotreba električnog osvetljenja neophodna. Na osnovu klimatskih podataka za period od godinu dana za Pariz, izračunat je broj sati u toku godine kada je električno osvetljenje neophodno za svetle i tamne materijale poda i ti rezultati su upoređeni.



Slika 8 -Pozicija i grupisanje senzora u zone, u cilju izračunavanja potrošnje električne energije za osvetljenje.

U Tabeli 3 data je potencijalna ušteda električne energije (u %) u slučaju izbora svetlog poda u odnosu na tamni. Pod sa refleksijom 20% je svetli i 3% je tamni. Dati su rezultati za 22 sprat. Dobijena raspodela rezultata po zonama je očekivana.

Zona fasade, koja je predstavljena crvenim krugovima na slici, pokazuje male oscilacije u potrošnji električne energije, zato što dnevna svetlost lako dopire do tačaka blizu fasade, pa čak i slabija refleksija svetlosti sa poda, ne zahteva dodatnu potrošnju električne energije za osvetljenje. Uzrok tome je što većina svetlosti u ovim tačkama potiče od direktne prirodne svetlosti, bez refleksija o pod i druge površine u unutrašnjosti, pa je uticaj refleksije poda jako mali.

U srednjoj zoni (žuti krugovi), uticaj materijala poda je veći, sa potencijalnim uštedama energije čak do 13%, zato što prirodna svetlost stiže do senzora nakon nekoliko interrefleksija o pod i druge površine.

Dublje u unutrašnjosti objekta (zeleni krugovi), uticaj materijala poda je najveći jer su interrefleksije svetlosti dominantna komponenta ukupne svetlosti koja pada na senzore. U ovoj oblasti se uštede mogu kretati i do 20%.

Tabela 3 - potencijalna ušteda električne energije (u %) u slučaju izbora svetlog poda u odnosu na tamni. Refleksija 20% - svetli pod ; Refleksija 3% tamni pod

Sprat 22	Zona fasade (crveno)	Srednja zona (žuto)	Unutrašnja zona (zeleno)
Sever	0%	13%	18%
Jug	1%	8%	20%
Istok	1%	5%	18%
Zapad	0%	6%	7%

Ovi rezultati jasno pokazuju koliko veliki uticaj mogu imati materijali koji se koriste u enterijeru, u ovom slučaju materijal za pod, na osvetljenje unutrašnjosti objekata i kolike su potencijalne uštede energije moguće izborom odgovarajućih materijala.

Prirodno osvetljenje u ranim fazama arhitektonskog projektovanja

U ovom primeru pokazan je drugačiji pristup analizi prirodnog osvetljenja u arhitektonskom projektu.

De Luminae je bio konsultovan na projektu rekonstrukcije zgrade sa kancelarijama u Parizu. Kako se zgrada nalazi u samom gradu, u neposrednoj okolini postoji veliki broj objekata, koje sprečavaju pristup prirodne svetlosti zgradi. Kao se radi o postojećem objektu veliki broj parametara je nepromenljiv, kao što su geometrija okolnih zgrada i morfologija spratova same zgrade. Vlasnik objekata je tražio procenu performansi zgrade sa aspekta energetske efikasnosti.

Uobičajeno je da se prvo izradi ceo projekat i na kraju tek analizira da li je on dobar i šta treba menjati. U ovom slučaju vlasnik je pre početka projekta, konsultovao stručnjake u cilju provere da li uopšte ima mogućnosti da zgrada dobije odgovarajuće labele energetske efikasnosti.

Na osnovu uprošćenog modela postojećih nepromenljivih elemenata zgrade (struktura spratova i noseći stubovi) i okoline (geometrija i faktori refleksije okolnih zgrada), i aproksimajie nepoznatih parametara (veličina otvora, vrsta stakala) najboljim mogućim vrednostima, napravljen je model i izvršeni su proračuni dostupne svetlosti u zgradi.

Kao rezultat se pokazalo, da čak ni najbolja moguća predviđanja, neće omogućiti zgradi da prima dovoljne količine dnevne svetlosti koja se zahteva labelama. Na taj način vlasnik zgrade je uštedeo vreme i novac koji bi bili uloženi u razvoj projekta, koji nema potencijale za dobijanje HQE labele. Rekonstrukcija objekta je, naravno, nastavljena, sa pokušajem da se dovede maksimalna moguća količina prirodne svetlosti, ali sa činjenicom da nema mogućnosti za dobijanje labele.

Prirodno osvetljenje i labele

Kao što je pomenuto u sekciji "Standardi, norme, preporuke", starija zakonska regulativa se uglavnom ne bavi prirodnim osvetljenjem unutrašnjih prostora i ne definiše ga kao obavezan zahtev u razvoju arhitektonskih projekata. Nove labele i preporuke za zgrade, kao što je HQE u Francuskoj ili LEED u Americi, u daleko većoj meri uključuju prirodno osvetljenje u procenu energetske performansi zgrada. U okviru HQE labele, dnevno osvetljenje je obuhvaćeno posebnom sekcijom „Vizuelni Komfort“. Na taj način je proračun DF i minimalnih potrebnih nivoa svetlosti postao zvanični deo procene performansi zgrade. U Normi RT2010, koja je trenutno u pripremi, nivoi za DF će biti definisani, tako da će upotreba prirodne svetlosti ce biti uključena u arhitektonsku koncepciju na jos kvalitetniji način.

Iz našeg iskustva, dosadašnje uključjenje prirodnog osvetljenja u norme i labele, je u velikoj meri povećalo svest ljudi o značaju prirodnog osvetljenja, posebno kod ljudi koji se bave zgradarstvom. Ipak, još uvek se proračun dnevnog osvetljenja ne uključuje pravovremeno i ravnopravno u arhitektonski projekat, pa su često dobijeni rezultati nepovoljni, a mogućnosti promene i adaptacije već razvijenog projekta male i skupe za realizaciju.

U primerima, opisana su različita iskustva u proračunu dnevnog osvetljenja za postojeće i nove objekte i neki od problema sa kojima smo se susretali u toku rada. U prva dva primera, projekti su razvijani klasičnim

metodama, gde je prirodno osvetljenje uključeno u proračune tek na kraju projekta, više kao validacija, bez realne mogućnosti uticaja rezultata na sam projekat. U ta dva slučaja, kada rezultati nisu bili u skladu sa zahtevima labela, projekti su imali teškoće da dobijanjem labela i nastavkom realizacije. Kako je proračun prirodnog osvetljenja uključen dosta kasno u projekte, promena projekta je uglavnom nemoguća ili dosta skupa, jer su svi ostali aspekti već precizno definisani i fiksni.

U druga dva primera prikazan je drugačiji pristup.

U primeru sa definicijom koeficijenta refleksije poda, tim koji je radio na rekonstrukciji zgrade, bio je svestan da će boja poda imati veliki uticaj na raspodelu svetlosti i na dobijanje labele, i zbog toga su bili zainteresovani da pre izbora materijala provere kakav bi pod najbolje odgovarao postavljanim uslovima. Ovakav interesantan pristup, je zahtevao minimalno dodatnih ulaganja i vremena. Umesto da nakon izbora materijala, izvrše proračun prirodnog osvetljenja, oni su tražili proračune kao pomoć u odabiru. Sama studija proračuna svetlosti bi svakako bila obavljena, ali njen proračun pre izbora je omogućio da se postignu najbolje performanse dnevne svetlosti. Rezultati vezani za potencijalne uštede energije pri izboru svetlijeg materijala, dali su timu priliku da razmisli i odabere materijal koji će najviše odgovarati potrebama zgrade.

U poslednjem primeru, je analiza prirodnog osvetljenja, urađena na samom početku projektovanja, pre bilo kakvih izmena na zgradi. Na osnovu aproksimacije nepoznatih karakteristika, proračunat je maksimalni svetlosni potencijal zgrade. Sam proračun je bio jako brz i nije dao precizne podatke o DF vrednostima, ali je procena bila dovoljna da preusmeri tok razvoja projekta i vlasnicima i investitorima uštedi vreme i novac.

Zaključak

U ovom radu smo ukratko prikazali značaj prirodnog osvetljenja u savremenim zgradama. Tematici smo pristupili sa dva aspekta: teorijski pregled značaja i karakteristika prirodnog osvetljenja prostora sa osvrtom na postojeće norme u ovoj oblasti, i opis primera proračuna prirodnog osvetljenja i potencijalnih problema na nekoliko arhitektonskih objekata. Opisani primeri predstavljaju realne arhitektonske i građevinske projekte na kojima je De Luminae bio angažovan u cilju proračuna i procene kvaliteta prirodnog osvetljenja unutrašnjeg prostora.

Razlozi za upotrebu prirodnog osvetljenja su brojni. Naglasili smo samo neke od njih, kao što su ušteda energije, komfor i prijatnost svetlosnog ambijenta. Takođe smo opisali i potencijalne rizike uoliko prirodno osvetljenje nekog prostora nije adekvatno projektovano i proračunato. Kako je prirodna svetlost kompleksniji entitet od veštačke svetlosti, performanse prirodnog osvetljenja su navedene i opisane. Ovim performansama se ocenjuje kvalitet svetlosnog ambijenta prostora.

U Americi i zemljama EU, a sve više i kod nas, održiva izgradnja, koja kao jedan od aspekata obuhvata i prirodno osvetljenje, sve više dobija na značaju pa su tokom poslednje decenije definisane različite norme i labele, koje omogućavaju procenu kvaliteta i efikasnosti osvetljenja prostora. To govori da je značaj osvetljenja prirodnom svetlošću, konačno priznat i uzet u razmatranje u proceni kvaliteta projekata i njihove održivosti.

Kroz primere nekoliko arhitektonskih projekata, pokazali smo probleme do kojih može doći ako ne postoji pravovremena komunikacija između učesnika u projektu, kako i na koji način se problemi nedovoljnog osvetljenja mogu rešiti. Analiza potencijalne uštede električne energije na osvetljenje prostora, sa aspekta materijala koji se koriste u unutrašnjosti objekta, daje posebno interesantne zaključke, da i male promene i postojećim ili novim zgradama mogu dovesti do značajnih ušteda.

Uključenje proračuna prirodnog osvetljenja u ranim fazama projektovanja i njegova simbioza sa veštačkim osvetljenjem prostora i termikom, može voditi uštedi primarne energije, upotrebi obnovljive energije, smanjenim troškovima, i takodje povećanoj udobnosti i prijatnosti korisnika što vodi većoj produktivnosti.

Veštačko osvetljenje ne može zameniti prirodno:

1. Ljudi se osecaju prijatnije u prostorima osvetljenim dnevnom svetlošću;
2. Prirodna svetlost je svuda prisutna i zato je treba iskoristiti na pravi način;
3. Proizvodnja električne energije nije održiva i zahteva stalna ulaganja i primarne izvore energije;
4. Strategija prirodnog osvetljenja objekta se ne može menjati nakon završetka izgradnje ili je njena promena jako skupa, za razliku od veštačkog osvetljenja. Zbog toga je bitno: studije prirodnog osvetljenja vršiti u ranim fazama projektovanja.

Zbog toga studije prirodnog osvetljenja imaju smisla.

Literatura

- [2002/91/EC] Direktiva 2002/91/EC Evropskog Parlamenta i Saveta Evropske unije (od 16.12.2002.godine) vezana za energetske performanse zgrada
Originalna verzija: http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!DocNumber&lg=en&type_doc=Directive&an_doc=2002&nu_doc=91
Srpska verzija: http://www.seea.sr.gov.yu/Downloads/PDF/Direktiva_2002_91_EC_Srp_Cir.pdf
- [AFE831] Association Française d'Eclairage, La lumière du jour dans les espaces intérieurs, 1983
- [BSi] "BS 8206-2:2008 Lighting for buildings. Code of practice for daylighting", British Standards Institution, Septembar 2009
- [Certivéa] Certivéa, "Pratique du Référentiel pour la Qualité Environnementale des Bâtiments 'Bureau/Enseignement' », Decembar 2008.
http://www.certivea.fr/documentations/Referentiel_bureau_enseignement_applicable_au_170309.zip
- [CIBSE] CIBSE, "Building Energy Code 1 and 2", London, 1999.
- [CIE] CIE Division 3 TC3-22, "Museum lighting and protection against radiation damage"
- [CIE99] Proceedings of 24th session of CIE, Varsovia, June 1999.
- [Cvet06] M. Cvetković, J. D. Lenard, L. Mudri, D. Bernstein, "Proračun izloženosti fasada prirodnoj svetlosti - uticaj na održivu arhitekturu i uštedu energije", *Osvetljenje 2006*, Prolom banja, Novembar 2006
- [Daylight00] „Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components”, Report of IEA SHC Task 21 / ECBCS Annex 29, July 2000, <http://gaia.lbl.gov/iea21/ieapuba.htm>
- [Daylight02] *Daylighting Guide for Canadian Commercial Buildings*, tehnički izveštaj, Public Works and Government Services Canada, Avgust 2002.
- [Daylight93] Nick V. Baker, A. Fanchiotti and K. Steemers, "Daylighting in Architecture – a European Reference Book", Commission of the european Communities Directorate - General XII for Science, Research and Development, , James + James, 1993.
- [Daylight97] O'Connor Jennifer, „Tips for Daylighting-with Windows, The Integrated approach“, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, US, LBNL-39945,1997
- [EBN99] Environmental Building News, "Daylighting: Energy and Productivity Benefits", Volume 8, Number 9, September 1999.
- [EE07] „Energetska efikasnost“, Program ostvarivanja strategije razvoja energetike Srbije 2007-2012. godine, Ministarstvo rudarstva i energetike, Republike Srbije, <http://www.ssl-link.com/mre/cms/mestoZaUploadFajlove/SR-EnergetskaEfikasnost.pdf>
- [Energy92] Goulding J.R, Lewis J.O, Steemers T.C, „Energy Concious Desing-a primer for architects“, Commision of The European Communities, 1992
- [IESNA] The IESNA Lighting Handbook, Ninth edition, Part III -10.Quality of the Visual Environment
- [Lutron05] Lutron, kurs „Daylight In The Office“, Aia/Architectural Record Continuing Education Series, Archyitectoral Record November, 2005.
<http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=48&C=327>
- [Mudri00] L. Mudri and J.D.Lenard, "Comfortable and/or pleasant ambience: conflicting issues?", PLEA2000, Cambridge (2000).
- [Mudri96] «Aide à la conception de l'éclairage naturel dans la phase d'esquisse architecturale et son impact sur l'énergétique du bâtiment» Phd. These Paris, 1996
- [Mudri97] L. Mudri, "Is Luminous Ambiance in Daylighting really created by Day-lighting ?", *Environmental justice, Global Ethics for Twenty First Century*, Melbourne, 1997.
- [Nabil05] Nabil A, & Mardaljevic J. . Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 41-59. 2005
- [Philips] „White light- transforming your urban nightscape“, Philips
- [Rein00] Reinhart C F, & Walkenhorst O. . "Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds. *Energy & Buildings*", 33(7), 683-697. 2001

- [Rein06] C. F. Reinhart, J. Mardaljevic, Z. Rogers, "Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design", *Leukos*, 3, (1), July, pp. 1-25, July 01, 2006
- [Rein06] Reinhart C F, Mardaljevic J, Rogers Z, "Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design." Submitted to LEUKOS, Apr 2006.
- [Rogers05] Rogers Z. (2005). Boulder, Colorado, USA: Architectural Energy Corporation, <http://www.archenergy.com/SPOT/download.html> 2005
- [Rusak95] Rusak, B., Eskes, G.A., Shaw, S.R,"Lighting and Human Health" - A Review of the Literature, prepared for Canada Mortgage and Housing Corporation . Technical Policy & Research Division, 700 Montreal Rd., Ottawa, ON K1A 0P7, 1995.
- [SArch1] "Sustainable architecture", <http://www.umich.edu/~nppcpub/resources/compendia/architecture.html>
- [SArch2] "Sustainable architecture", <http://www.arch.hku.hk/research/BEER/sustain.htm>
- [SEEA] Agencija za energetske efikasnost, Republike Srbije, <http://www.seea.sr.gov.yu/>
- [TR05] "Thermal Regulations 2005", Francuski zakon, n°2006-592, 24. Maj 2006, Francuska
- [Work92] The Workplace (Health, Safety and Welfare) Regulations 1992, Crown Copyright 1992