



# Fizika u školskoj arhitekturi

## Školska zgrada kao trodimenzionalni udžbenik fizike

U sklopu savremenih tendencija da se obrazovanje u fizici učini privlačnijim i prihvatljivijim za učenike, nedavno je počeo da se razvija pokret "Fizika u školskoj arhitekturi". Cilj pokreta je da se pokaže da se u samu školsku zgradu mogu ugraditi odgovarajući elementi i uređaji koji bi služili za čestu, odnosno, stalnu demonstraciju i posmatranje fundamentalnih fizičkih pojava i zakonitosti. Ovaj cilj se istovremeno uklapa u savremene tendencije razvoja

školske arhitekture, kako zbog samog pristupa arhitekturi kao vidu edukacije, tako i zbog sve prisutnije težnje da se ekologija uvrsti kao ključni kriterijum prilikom izbora tehnologija.

U novije vreme arhitekate u svetu intenzivno tragaju za inovacijama u projektovanju škola. Njihov cilj je da školsku zgradu učine što privlačnijom i inspirativnijom za učenje uopšte. Geslo ovih arhitekata je da školska zgrada postane trodimenzionalni udžbenik. Spajajući geslo arhitekata i pokret fizičara dolazimo do koncepta "Školska zgrada kao trodimenzionalni udžbenik fizike".

### Uvodna razmatranja

Sa povećanjem svesti o značaju obrazovanja, u svetu su se pojavile ideje da se arhitektura obrazovnih ustanova stavi u službu obrazovanja. Na primer, nova zgrada građevinskog fakulteta na Utah State University je projektovana tako da bude direktno u funkciji obrazovanja građevinskih inženjera. U sličnom duhu je Bernal projektovao zgradu Više škole za dizajn i arhitekturu u Vašingtonu. International Forum for Innovative School Design "Design Share" od pre nekoliko godina promovise program da se prostor u kome se odvija obrazovanje učini što inspirativnijim za učenje. Cilj toga programa da se škola projektuje kao trodimenzionalni udžbenik, tako da ona sama postane učitelj. U tome duhu je i inicijativa koju je 2004. godine lansirala

Projekat Fizika u školskoj arhitekturi (PSYSARCH) je pokrenula i promovisala naša ugledna fizičarka dr **Mirjana Božić** (Institut za Fiziku, Beograd), u okviru priprema MEDUNARODNE GODINE FIZIKE 2005. Posle više uspešnih međunarodnih prezentacija (First Preparatory Conference for the World Year of Physics 2005, Graz, Austria, July 2003; Fifth Conference of the Balkan Physical Union 2003, Vrnjačka Banja, SCG; Second Preparatory Conference for the World Year of Physics 2005, Montreal, Canada) ove godine su planirane međunarodna konferencija i kreativna radionica koje će imati za cilj da dalje promovišu ovu ideju, razmotre mehanizme i analiziraju uslove za njenu realizaciju. Ovaj tekst je ujedno i poziv zainteresovanima da se jave komentarima, idejama i predlozima i uključe u projekat na kome već radi nekoliko stručnjaka iz zemlje i sveta. Prikaz razvoja projekta Fizika u školskoj arhitekturi može se videti na Internet adresama: <http://www.phy.bg.ac.yu/~bozic/eduarch.html> i <http://www.wyp2005.org> Vaše komentare, predloge i sugestije možete poslati putem e-mail-ova: za dr **Mirjanu Božić** - [bozic@phy.bg.ac.yu](mailto:bozic@phy.bg.ac.yu) i za mr **Slavicu N. Nikolić** - [urbanbondcreative@yahoo.com](mailto:urbanbondcreative@yahoo.com)

American National Architectural Foundation. Želja ove fondacije je da se transformiše način na koji se američke javne škole planiraju i projektuju.



Zgrada Građevinskog fakulteta na Utah State University, USA; detalji konstrukcije tretirani kao eksponat građevinske tehnologije

## Smernice

Ovaj multidisciplinarni projekat ima za cilj da okupi fizičare naučnike i fizičare profesore, proizvođače nastavnih sredstava, arhitekte, prosvetne vizionare i druge zainteresovane. Predviđeno je da se projekat razvija prema sledećim smernicama:

### Primeri

Nastavnici, profesori i naučnici fizičari su pozvani da predlože nastavna sredstva i uređaje za demonstraciju osnovnih fizičkih pojava koje je zgodno ugraditi u školsku arhitekturu.

### Modeli

Na osnovu tih primera razvijaju se prototipovi odgovarajućih uređaja i materijala koji bi pomogli arhitektama u projektovanju.

### Projektovanje

Arhitekti su pozvani da koriste ove modele pri projektovanju novih i rekonstrukciji postojećih školskih zgrada.

### Mreža obrazovnih institucija

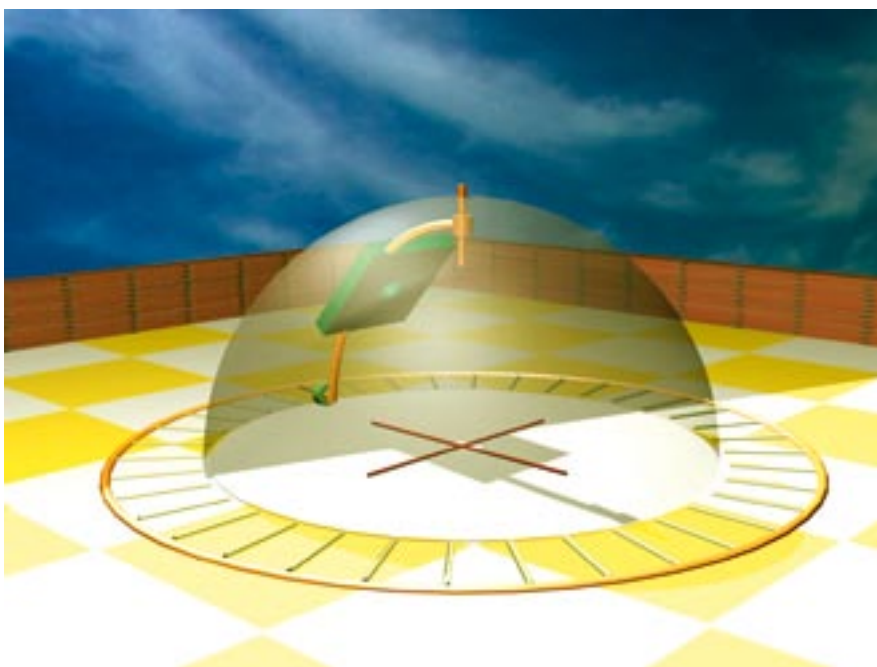
Zakonodavci u oblasti obrazovanja će biti pozvani da donesu zakone koji će obavezivati graditelje i investitore škola da pogodna obrazovna sredstva koja inspirišu učenje i bude maštu budu ugrađena u školsku zgradu.

## Preslikavanje unutar, na i oko

Može se navesti puno razloga zbog čega je potrebno i korisno demonstrirati fizičke pojave unutar, na i oko školske zgrade.

1. U toku poslednjih godina postignut je konsenzus u celom svetu da je potrebno poboljšati metode učenja fizike da bi ona postala privlačnija i razumljivija za mlade naraštaje. Ovo se čini zato što je fizika osnova svih savremenih tehnologija, pa je stoga obrazovanje u oblasti fizike bitno za život savremenog čoveka. Kako na obrazovanje mladih utiče i okolina, da bi školsko obrazovanje bilo efikasno, potrebno je učiniti izvesna poboljšanja i promene u okolini. Školska zgrada je najbliže okruženje učenika i stoga ju je neophodno prilagoditi novim potrebama.

2. Stvoriti okolinu koja je interaktivna i dinamična da bi doprinela razvoju radoznalosti učenika i želje da razumeju prirodne fenomene. Interaktivna okolina

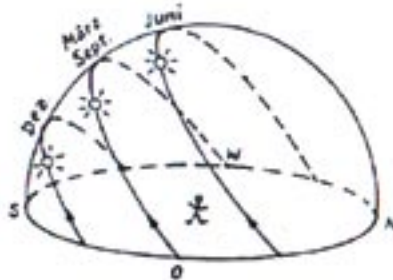


Providna kupola za posmatranje i beleženje dnevne i godišnje putanje Sunca na nebeskoj sferi. Na kupoli je montiran mehanizam za pokretanje neprovidne pločice sa otvorom, dok se ona ne dovede u položaj da svetlost pada u centar osnove kupole.

privlači pažnju i pruža specifično iskustvo.

3. Osnovno i srednje obrazovanje je zasnovano na dugotrajnim osnovnim znanjima. Ovo važi kako za jezike, literaturu, muziku i umetnost tako i za matematiku, prirodne i primenjene nauke. Kako i školske zgrade dosta dugo traju ima smisla ugraditi u njih sredstva za demonstraciju osnovnih fizičkih fenomena i zakonitosti.

4. Stalno prisustvo različitih uređaja omogućuje da se važni fenomeni vide više puta, što ih čini bliskim učenicima.



Skica putanja koje se dobijaju pokretanjem neprovidne pločice kao što je objašnjeno ispod slike 3, u toku jednog dana i u toku više uzastopnih dana.

Kako je memorisanje tesno vezano za asocijacije i ponavljanje, ovo bi sigurno pomoglo u procesu učenja.

U daljem tekstu biće navedeno nekoliko primera koji dodatno potkrepljuju gore iznete stavove. To su primeri kupole, stuba, ograde stepeništa, hologram, vodeni stub, Njutnove prizme, demonstracija mešanja boja i analiza kristalnih struktura.

## Kupola

Veoma rasprostranjen arhitektonski oblik, može se, kako je predložio Szotak, prilagoditi potrebama obrazovanja iz prirodnih nauka: fizike, geografije, astronomije. Potrebno je da kupola bude izgrađena od providnog materijala, i da joj se doda pokretna tamna pločica sa otvorom u sredini i mehanizmom za pokretanje te pločice po površini kupole. Takva kupola se može koristiti za praćenje i beleženje dnevnog i godišnjeg kretanja Sunca. Impresivna pravilnost dnevnog i godišnjeg niza tačaka zabeleženih na kupoli predstavlja paradigmatično iskustvo, da je ponašanje prirode veoma pravilno (zakonito). Ovaj aspekt je za mlade veoma koristan, pošto daje odličnu osnovu za životno opredeljenje o važanju fizičkih zakonitosti.

## Stub

Takođe, rasprostranjen arhitektonski element, kako unutar tako i van zgrada, može se obogatiti sadržajima tako da ima višestruku namenu u obrazovanju. Stub u školskom dvorištu treba da služi da učenici odrede liniju sever–jug, što mogu da rade tokom bilo kog sunčanog dana. Stub je koristan za određivanje poluprečnika zemlje Eratostenovom metodom, u saradnji sa učenicima iz neke udaljene škole na istom meridijanu. Na postolju stuba mogu biti ispisani, geografska širina, dužina i nadmorska visina škole kao i vrednost zemljinog ubrzanja  $g$  na tome mestu. Na stubu može da visi kuglica za eksperiment sa klatnom. Duž stuba mogu da se obeleže mesta  $x_n$  pored kojih prolazi telo spušteno sa vrha stuba u trenucima  $n\Delta t$ , gde se  $\Delta t$  pogodno odabere u zavisnosti od visine stuba. Ovo je korisno, čak i ako nema mogućnosti za izvođenje eksperimenta sa slobodnim padom. Kao što je poznato, uzastopna rastojanja između pomenutih mesta se odnose kao uzastopni neparni brojevi 1:3:5:7... Stub sa tim oznakama je ekvivalent fleš fotografije slobodnog pada koja se daje u mnogim udžbenicima.



Matematičko klatno, zakon slobodnog pada i druga znanja na stubu za fizičku geografiju u školskom dvorištu.

Prednost niza tačaka na stubu je što ih učenici mogu mnogo puta videti. Na stranicama stuba se mogu označiti četiri strane sveta, ispisivanjem slova nekim standardnim načinom, ali i pomoću mehanički nacrtanog holograma, kao što ćemo sada opisati.

## Hologram

Mehanički nacrtan hologram može biti veoma primenljiv u školskoj arhitekturi. Na glatkoj, bilo metalnoj ili plastičnoj površini grebanjem se opiše niz kružnica (ili samo delova kružnica) čiji centri se nalaze na nekom simbolu (npr. slovu F na slici 6). Kada se površina osvetli paralelnim snopom svetlosti posmatrač će bilo ispod ili iznad površine ugledati isti simbol. Objašnjenje ovoga efekta se zasniva na zakonu odbijanja svetlosti. Svaki zarez se ponaša kao cilindrično ogledalo, te formira imaginarni lik svetlosnog izvora. Zarezi stvaraju likove koji su prostorno pomereni za onoliko za koliko su pomereni centri kružnih zarezova. Koliko daleko će se likovi nalaziti iza ravni same ploče, zavisi od poluprečnika krivine zarezova.



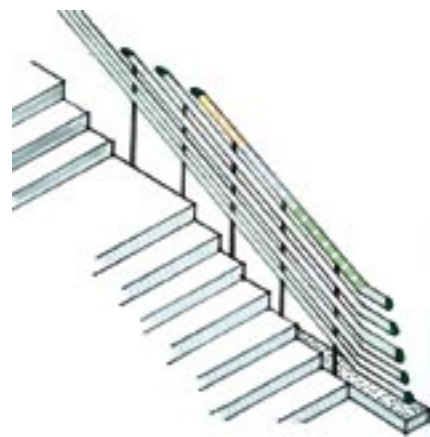
Grebanje glatke površine kružnim lukovima čiji centar se pomera duž odabranog simbola (slova F). Svaki kružni zarez se ponaša kao cilindrično ogledalo i formira imaginarni lik svetlosnog izvora.



Fotografija mehaničkog holograma dobijenog pomeranjem duž logoa Svetske godine fizike 2005.

## Ograda stepeništa

Stepenište je veoma pogodno za izvođenje Galilejevih eksperimenata na strmoj ravni. U tu svrhu može poslužiti ograda stepeništa koja se može napraviti u vidu niza paralelnih cevi, od kojih gornja cev služi kao rukohvat. Cevi mogu biti od providnog materijala ili otvorene sa gornje strane, tako da se može pratiti kretanje kuglica koje se spuštaju i meriti vreme njihovog prolaska na određenim mestima. Na kraju kose cevi kraći horizontalni deo cevi omogućuje da slobodan pad pređe u horizontalan hitac, što takođe pruža mogućnosti za merenja i posmatranja karakterističnih veličina.



Ograda stepeništa prilagođena za izvođenje Galilejevih eksperimenata na strmoj ravni.

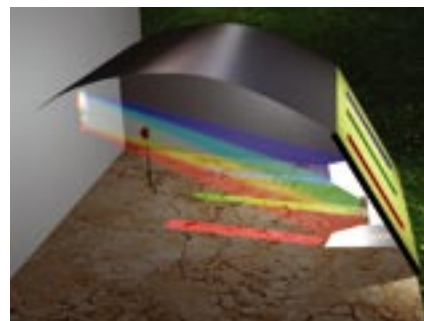
## Vodeni zid

Vodeni zid bi bio građevinska verzija učila iz Leyboldove zbirke (slika 7) i služio bi pre svega za demonstraciju zakona prelamanja i odbijanja svetlosti ali bi mogao da ima i druge namene. Posebno bi bile interesantne realizacije vodenog zida u kome bi se demonstriralo prelamanje i odbijanje svetlosti koja dolazi sa Sunca, a ne svetlosti iz veštačkog izvora. Postavljanjem viska unutar zida do površine vode, vizuelizovali bi se pojmovi vertikalno, horizontalno i ugao od  $\pi/2$ . Postavljanjem namagnetisane igle pružene kroz komad plute na površinu vode, vodeni zid bi služio i kao Kineski kompas.

Ideja da se fizički efekti i uređaji ugrade u školsku zgradu je sasvim u skladu sa novim pravcem u arhitekturi koji od nedavno promovirše Internacionalni forum za inovativne škole (DesignShare - The International Forum for Innovative Schools). Web-site foruma je: <http://www.designshare.com>

Ovaj forum podstiče projektovanje koje će školsku zgradu učiniti da postane trodimenzionalni udžbenik. Cilj takvog projektovanja je da sredinu u kojoj se odvija obrazovanje učini podsticajnom za učenje. DesignShare podstiče projektovanje koje sledi sledeće principe. Osnovni princip je da školska sredina treba da utiče na studente tako da proces učenja bude kreativan, da se odvija kroz aktivan rad, te da se ne svodi na pasivno primanje informacija. Da bi se to ostvarilo potrebno je koristiti Muzejski obrazovni model u kome predeo za učenje ima otvorenost i fleksibilnost, te sama zgrada postaje učitelj. Važan je potom prirodni kontekst, tj. stvaranje otvorenog dijaloga između otvorenih i zatvorenih prostora i procesa predavanja i učenja. Sledeći zahtev je održivost (sustainability), tj. racionalna integracija školske zgrade u prirodno okruženje. Cilj je efektivno korišćenje prirodnih izvora svetlosti, ventilacije i energije.

Ovaj pravac u arhitekturi se afirmiše kroz godišnje konkurse koji svake godine privlače sve veći broj arhitekata. Mi planiramo da ostvarimo saradnju sa ovim forumom, tako što ćemo saradnike foruma upoznati sa primerima iz fizike koji su potpuno u skladu sa principom DesignShare-a nazvanim Muzejski obrazovni model. U narednom koraku pripremićemo arhitektonski projekt školske zgrade vođen idejama Physarcha. Očekujemo takođe, da će arhitekta iz DesignShare-a primeniti neke od predloženih primera u svome projektovanju inovativnih škola.



i zelene. Prozor čiji delovi su prekriveni filterima tri osnovne boje i koji je pogodno okružen ogledalima idealno je mesto za posmatranje mešanja boja. Učenici mogu uočiti belu površinu, koja menja oblik u toku dana. Menjanjem nagiba ogledala mogu se videti različite mešavine dve boje.

### Kristalne strukture

Nauka koja se naziva kristalografija počela je da se razvija tako što su naučnici naslutili da spoljašnje, okom vidljive simetrije kristala, potiču od njegovog unutrašnjeg uređenja. Kasnija istraživanja su pokazala da je to naslućivanje bilo tačno. Razvojem saznanja o atomskoj strukturi gasova, tečnosti i čvrstih tela, a time i kristala, postalo je jasno da kristalni oblici govore o uređenim položajima atoma u kristalu. Potom su na scenu stupili matematičari koji su sistematizaciji

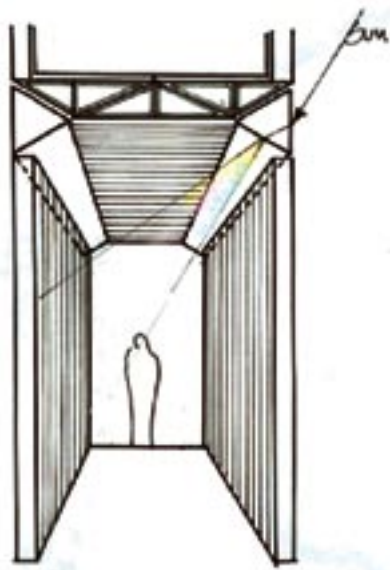
### Njutnove prizme

Iz iskustva znamo da prozori koji imaju šlifovana stakla mogu da proizvedu spektar pod pogodnim uslovima upadne svetlosti. Dakle, postavljanjem prizmi na mesta na koja pada svetlost pružila bi se mogućnost učenicima da vrlo često vide spektar Sunca na zidovima učionica i da razmišljaju o uslovima za nastanak spektra ili menjanju

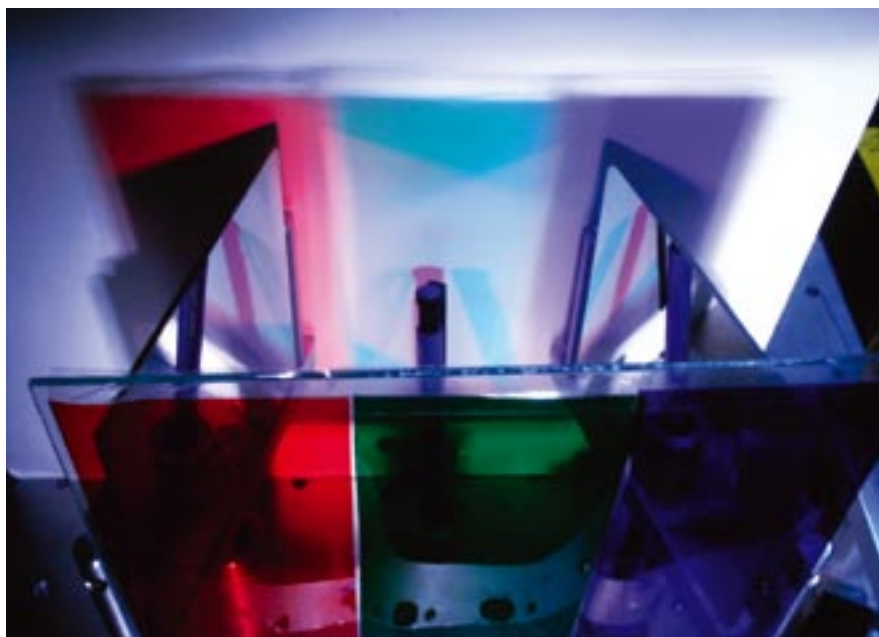
njegovog oblika i položaja sa menjanjem položaja Sunca u toku dana. Prizme se mogu postaviti na prozore, svetlarnike, ulazna vrata, u osvetljene hodnike...

### Demonstriranje mešanja boja

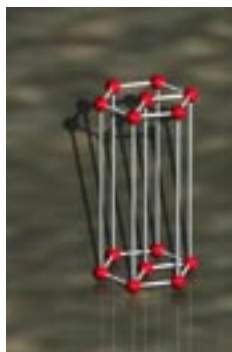
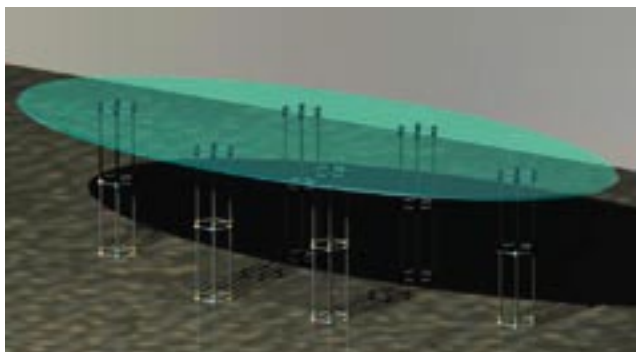
Razumevanje mehanizma viđenja boja je tesno povezano sa demonstracijom efekata mešanja tri osnovne boje: crvene, plave



Optičke prizme upotrebljenije u enterijeru razlažu Sunčevu svetlost u spektar koji se opaža na zidovima.

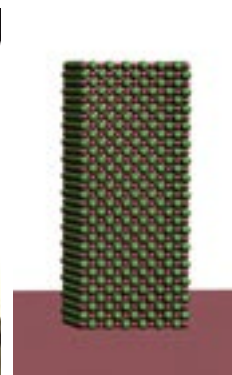


Model prozora sa filterima i ogledalima za demonstraciju mešanja boja



Primitivne ćelije heksagonalne kristalne strukture upotrebjene kao elementi nameštaja.

Radnu grupu ovog projekta čine: dr **Mirjana Božić**, Institute of Physics Belgrade, SCG; dr Dejan Pantelić, Institute of Physics Belgrade, SCG; mr Slavica N. Nikolić, architect, Belgrade & New York; Vigor Majjić, Petnica Science Center, SCG; dr Mayank Vahia, Tetta Institute of Fundamental Research, Mumbai, India; dr Lepša Vušković, Old Dominion University, USA; dr Ola Hunderi, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway; dr Kazuo Kitahara, International Christian University, Tokyo, Japan; dr Beverly Hartline, USA.



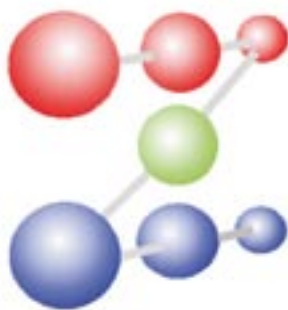
Stubovi na bazi kristalne strukture kuhinjske soli (NaCl).

kao dekoracije ili upotrebni predmeti u uglovima ili duž ivica prostorija, na stepeništu, kao slike na tavanicama, kao mozaici na podovima, kao dekoracije na zidovima... Tako studenti mogu svakodnevno učiti o simetriji i kako simetrija određuje oblike u prirodi. Bogatstvo i varijetet kristala u prirodi mogu inspirisati razne maštovite primene u enterijeru i dizajnu nameštaja.

kristalnih struktura prišli tako što su uveli pojam rešetke tačaka, odnosno kristalne rešetke. Osnovno svojstvo te rešetke je da ako počete od neke tačke rešetke (odnosno od nekog atoma u rešetki) i pomerite se za jedan jedinični vektor rešetke, vi se ponovo nalazite u istom

okruženju. Takva rešetka deli prostor u paralelopede, koji se nazivaju primitivne ćelije. U dve dimenzije primitivne ćelije su paralelogrami. Primitivne ćelije se mogu prikazati u školskoj zgradi na veoma različite načine, kao gradivni elementi stubova,

mr **Slavica N. Nikolić**, dipl.ing.arh.  
dr **Dejan Pantelić**



**STUDIO**

**ZOOM**

Studio ZOOM  
Preduzeće za projektovanje, promet i usluge  
27. marta 28, 11000 BEOGRAD  
Tel./fax: 011/ 334-26-76  
Mob.: 064/ 110-17-15



PROJEKTOVANJE, IZVOĐENJE RADOVA, NADZOR