

PAMETNA GRADIVA U GRADITELJSTVU

Pametna su gradiva često logičan nastavak razvoja gradiva jer nude dodatnu specifičnost – njihove su karakteristike promjenjive i mogu, prema potrebi, povremeno reagirati na vanjske podražaje. Mogućnost pametnih gradiva da se odazovu na mnogovrsne podražaje i nisu uravnoteženi samo na jedno stanje, uvrštava ih kao poseban dodatak u paletu graditeljskih gradiva jer se građevine neprestano suočavaju s promjenjivom okolinom. Riječi *interaktivnost* i *transformacija* postale su obvezne u rječniku suvremenoga graditelja, iako je uporaba tih gradiva i tehnologija u većini građevinskih projekata daleko od ekonomske i praktične realnosti.

Graditelji se trude uvrstiti pametna gradiva u praksu tradicijske gradnje. Primjena pametnih gradiva u graditeljskome oblikovanju zasada je usmjerena prema oblikovanju dvodimenzionalne površine s pokušajem zamjene tradicijskih gradiva (npr. zamjena visećih staklenih pročelja s elektrokromnim staklom) iako pametna gradiva radikalno odstupaju od prihvaćenih tradicijskih. Međutim, dok su tradicijska gradiva *statična*, jer je njihova uloga prenošenje opterećenja, pametna su gradiva *dinamična* – djeluju kao odgovor na razne podražaje [10].

Pročeljni se plašt ne ponaša više kao statična i inertna barijera nego kao dinamičan sustav, oblikovan i opremljen novim pametnim tehnologijama i gradivima, čak i nanotehnologijama [10]. To je važan napredak jer je dosadašnje sredstvo za izražavanja u graditeljskom oblikovanju ograničeno na statična gradiva. Važno je razumijevanje karakteristika pametnih gradiva i iskorištavanja tih karakteristika na zgradi [1].

USE OF WIND ENERGY AND CONSTRUCTION OF VRATARUŠA WIND PLANT NEAR SENJ

Our biggest wind plant with 14 wind generators and the total capacity of 42 MW is currently under construction at the Vrataruša locality near Senj, at the littoral foothills of Kapela. The towers and wind generators of the wind plant, which is jointly built by a Croatian and a German company, are produced in Denmark. The article briefly presents how the wind energy was used in the past, with an emphasis on the use of wind mills for grinding grain both in our country and abroad. The article continues with description of modern wind plants which are currently the fastest growing segment in the energy generation sector based on renewable sources of energy. Most wind plants are currently found in Germany and Denmark where such plants cover almost one fifth of the total electricity consumption. The attention then shifts to wind plants that are already operational or are at the planning stage. In this respect, it is noted that about one hundred requests have so far been placed for undertaking this type of development, but the actual construction work is hindered by the complex administrative procedure, and the fact that construction is banned on the islands and along the coastline where the wind is most frequent. The final part of the paper provides principal information about the new wind plant whose annual production will be sufficient to cover the needs of a town with 100,000 residents.

2 Definicija pametnih gradiva

Odrediti točnu definiciju pametnih gradiva iznimno je teško. Termin se već uvelike upotrebljava iako još nema dogovorene definicije.

NASA ih definira kao gradiva koja *pamte* konfiguracije i na određen im se podražaj mogu prilagoditi [12].

Opsežnija je definicija iz *Enciklopedije kemijske tehnologije* [4]: *Pametna su gradiva i strukture objekti koji prepoznaju događanja u okolini, procesuiraju te prepoznate informacije i zatim djeluju na okolinu.*

Iako se čini da se te dvije definicije odnose na jedno te isto djelovanje pametnih gradiva, potpuno su različite. Prva se definicija odnosi na gradiva kao tvari koje se identificiraju tj. mjerljive su svojom molekularnom strukturom. Druga ih definicija određuje kao redoslijed djelovanja, tj. učinaka [1].

Analizom same riječi pametan dobiva se nagovještaj kako bi se odgovarajuće odredio termin pametna gradiva, da bi bio koristan morfolozi-

ma. Pojam *pametan* znači informiran i sa znanjem potkrijepljen odziv koji prati kvaliteta brzine i odgovora. Često se povezuje s oštroumnosti (spretnosti), što znači intuitivan i pravi odgovor. Inteligencija je mogućnost prihvaćanja znanja, dobre prosudbe, brzine i razumijevanja.

Ti su opisi dosta slični značajkama koje imaju pametna gradiva i mogu biti promjenjivi [6]. Općeniti izraz pametna gradiva (*smart materials*) opisuje gradiva koja imaju sposobnost brzoga i pravilnog odgovora.

3 Karakteristike pametnih gradiva

Pametna gradiva imaju unutarnje (*intrinsic*) i vanjske (*extrinsic*) karakteristike. Unutarnje karakteristike ovise o strukturi i kompoziciji gradiva (kemijske, mehaničke, električne, magnetske i termičke karakteristike), dok vanjske karakteristike ovise o drugim faktorima (npr. boja gradiva može ovisiti o upadnom kutu svjetlosti ili mikrostrukturi gradiva koje je izloženo svjetlu) [1].

Fizikalne karakteristike pametnih gradiva određuju energijska polja okoline (unos energije – energijski *input*) i mehanizmi preko kojih se energijski *input* preoblikuje. Energijska polja okoline sastoje se od različitih tipova energije – potencijalne, električne, toplinske, mehaničke, kemijske i kinetičke koje se mogu izmjenjivati ili mijenjati po prvom termodinamičkom zakonu fizike (zakon o očuvanju energije). Utječe li mehanizam na unutarnju energiju gradiva tako da mijenja njegovu molekularnu strukturu ili mikrostrukturu, rezultat unosa mijenja karakteristike gradiva. Mijenja li mehanizam energijsko stanje sastava gradiva ne mijenja samo gradivo te je rezultat predaje energije (energijski *output*) pretvorba energije iz jednog oblika u drugi. Za oba se mehanizma smatra da djeluju u mikromjerilu jer djeluju na molekularnoj razini: štoviše, česta zamjena energije događa se na razini atoma. Stoga se fizikalno djelovanje pametnih gradiva u mjerilu u kojem se javljaju (u molekuli ili atomu) ne može vidjeti. Bez obzira na to govori li se o molekuli, gradivu, kompozitu ili sustavu, pametna gradiva i tehnologije imaju sljedeće osnovne karakteristike koje ih odvajaju od tradicionalnih gradiva i tehnologija [1]:

- ažurnost – brzi odziv gradiva (*immediacy*)
- prohodnost – mogućnost odziva na više od jednoga stanja okoline (*transiency*)
- samopogon – interna inteligencija gradiva (*self-actuation*)
- selektivnost – unaprijed određena reakcija pametnih gradiva (*selectivity*)
- neposrednost – lokalna reakcija na aktivni događaj (*directness*).

Upravo je ova posljednja karakteristika – neposrednost – najveći mogući izazov za graditelje. Dosadašnji građevni sustavi nisu niti diskretni niti direktni. Sustavi su zgrada veliki indirektni sustavi koji omogućavaju homogenu uvjete boravka u zgrada-

ma. Ako bi se počelo razmišljati u manjem mjerilu – *što je potrebno tijelu* – a ne u većem mjerilu – *što treba stambeni prostor* – mogla bi se dramatično reducirati potrošnja energije i investicija u gradiva zgrada te omogućiti bolji uvjeti za korisnike. Budućnost pametnih gradiva obećava oblikovanje direktne i diskretne okoline za ljudsko tijelo.

Osnovna su svojstva pametnih gradiva [1]:

⇒ *Promjena svojstava*

Najveće mogućnosti za primjenu pametnih gradiva na graditeljskom području imaju gradiva s promjenjivim karakteristikama. Vanjski uvjeti u okolini, koji uzrokuju promjenu njihovih karakteristika, mogu biti ambijentalni ili proizvedeni unosom energije.

Ovamo pripadaju gradiva (termotropna, fototropna, elektrotropna gradiva itd.) koja zbog energijskoga unosa (toplinskoga, svjetlosnoga, električnoga) mijenjaju mikrostrukturu. U različitim fazama dobivaju različite karakteristike kao npr. provodljivost, prozirnost, povećanje obujma itd.

Potom, toj skupini pripadaju i sva gradiva koja mijenjaju boju (termokromna, elektrokromna, fotokromna itd.) prirodnom promjenom okoline (sunčeva energija, površinska temperatura) ili direktnim unosom električne energije u gradivo.

⇒ *Promjena energije*

Skupini pametnih gradiva s energijskim mijenjanjem karakteristika predviđa se brzi prodor na područje graditeljstva. Ta gradiva imaju karakteristiku da primljenu energiju mijenjaju u drugi oblik. Iako je učinkovitost pretvorbe energije (npr. kod fotonaponskih gradiva) manja nego kod tradicionalnih gradiva, potencijalna je korist te energije puno veća.

⇒ *Reverzibilnost i neposrednost*

Neka gradiva mogu promijeniti oblik unesene i predane energije. Mogu

npr. proizvoditi električni tok pod određenim pritiskom ili se pod električnim tokom deformiraju. Takva su gradiva npr. piezoelektrična gradiva [5].

⇒ *Dimenzije pametnih gradiva*

Jedna je od osnovnih karakteristika koja razlikuje pametna gradiva od tradicijskih njihova mala veličina s obzirom na snagu djelovanja. Manja veličina povezana s neposrednošću mijenjanja karakteristika ili izmjene energije uvrštava pametna gradiva kao posebno učinkovita u ulozi senzora.

4 Klasifikacija pametnih gradiva

Zbog toga što pametna gradiva nisu statična, već se aktivno odazivaju utjecajima okoline, najsvrhovitija je višerazinska klasifikacija pametnih gradiva – jedna razina označuje gradivo s obzirom na njegovo fizikalno djelovanje (*što gradivo napravi*), druga razina označuje gradivo s obzirom na njegovo fenomenološko djelovanje (*rezultat fizikalnoga djelovanja*). Stoga se pametna gradiva kategoriziraju s obzirom na njihovu reakciju koja je analogna graditeljskoj namjeni: *što se od gradiva očekuje*. Pametna gradiva neposredno utječu na energijsku okolinu (svjetlosno, termički, akustično) ili posredno na sustave (proizvodnja energije). Takav pristup uporabi i izboru pametnih gradiva u oblikovanju okoline koristan je za graditelje. Pametna se gradiva klasificiraju u dva tipa gradiva [1]:

- gradiva koja mijenjaju karakteristike
- gradiva koja pretvaraju energiju.

4.1 Gradiva koja mijenjaju karakteristike

Gradivo apsorbira primljenu energiju i time podliježe promjeni. Promjena okoline u kojoj se gradivo nalazi (interni i eksterni podražaj)

pokreće kemijske, mehaničke, električne, magnetske ili toplinske karakteristike. Promjene su direktne i reverzibilne, bez vanjske kontrole (fotokromno gradivo npr. promijeni boju kao odgovor na promjenu količine ultraljubičastoga zračenja na njegovu površinu).

Reakcija na vanjske podražaje kod gradiva odražava se na različite načine [1]:

a) *Gradiva koja mijenjaju boju*

To je skupina pametnih gradiva koja je bez sumnje zanimljiva graditeljima. Njihova je glavna karakteristika da gradivo pod određenim vanjskim podražajima mijenja boju. Kada vanjskoga podražaja više nema, gradivu se vraća prvobitna boja. S obzirom na vrstu vanjskih podražaja (unos svjetlosti, toplinske, mehaničke, kemijske i električne energije) koji uzrokuju promjenu boje, gradiva se označavaju kao fotokromna, termokromna, mehanokromna, kemokromna, elektrokromna gradiva:

- fotokromna gradiva – gradiva koja mijenjaju boju kada su izložena svjetlosti (promjena u molekularnoj strukturi fotokromnoga gradiva uzrokuje promjenu njegovih optičkih karakteristika). U graditeljstvu su se fotokromna gradiva upotrebljavala u ostakljivanju i pročeljnim sustavima (iako ne posebno uspješno zbog sporosti reakcije i problema s dobivenom toplinom), kao kontrola sunčanih dobitaka i za smanjivanje blještjenja. Jedan od prvih projekata gdje su upotrijebljena fotokromna gradiva na pročeljnomo plaštu je natječajni projekt Muzeja moderne umjetnosti u Münchenu 1992. [6].
- termokromna gradiva – gradiva koja mijenjaju boju pri temperaturnim promjenama. Poseban se učinak njihovom uporabom dobiva u oblikovanju namještaja kad gradivo reagira na temperaturu tijela (slika 1.). Stolec nje-

mačkoga arhitekta Juergena Mayera prekriven je termokromnom bojom zbog koje se javlja otisak koji govori kada je i gdje ljudsko tijelo počivalo na njemu [13].



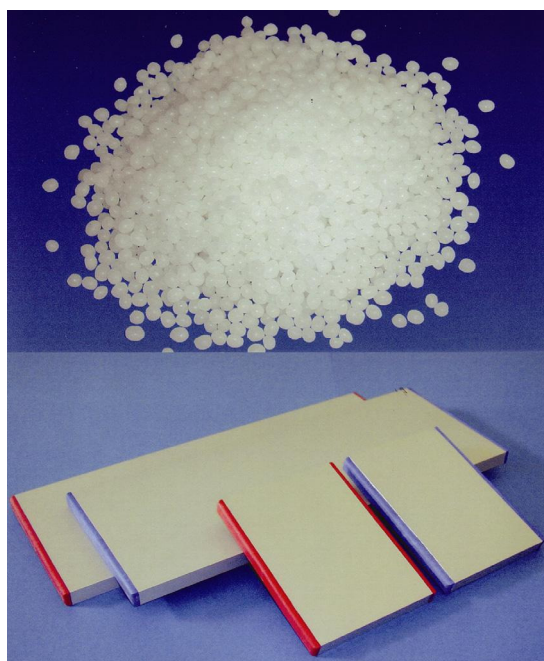
Slika 1. Zagrijavajući stolec

- mehanokromna gradiva – gradiva koja mijenjaju boju pod određenim pritiskom
- kemokromna gradiva – gradiva koja mijenjaju boju kada su izložena specifičnoj kemijskoj okolini
- elektrokromna gradiva – gradiva koja mijenjaju boju kada su pod električnom napetosti. Elektrokromno staklo npr. posvijetli ili potamni pod utjecajem električnoga toka. Elektrokromna se gradiva sastoje od više slojeva različitih gradiva koja djeluju zajedno. Elektrokromni sloj može biti izuzetno tanak, pa se može kod klasičnoga ostakljivanja postaviti između dva sloja stakla. Skupini elektrokromnih gradiva pripadaju i tekući kristali i suspendirani dijelovi. Stupanj prozirnosti i ton boje mogu se električki regulirati.

b) *Gradiva s faznom preobrazbom (PCM – Phase Change materials)*

Gradiva postoje u različitim agregatnim stanjima – plinastom, tekućem ili krutom – koja se nazivaju fazama. U procesu fazne preobrazbe uvijek

nastupa apsorpcija, spremanje ili predavanje velikih količina energije u obliku latentne topline [1]. Stoga jer pri preobrazbi agregatnoga stanja unatoč dovođenju topline ne dolazi do povišenja temperature, govori se o *latentnoj toplini*. Gradiva s faznom preobrazbom su mikrokapsule od parafinskoga voska u ovoju od polimera, koje je moguće u praškastom ili tekućem stanju dodavati mineralnim gradivima kao što su žbuka, gipskartonska ploča (slika 2.), porobeton i sl [2]. Mikrokapsule čuvaju toplinu koju primaju zbog faznoga



Slika 2. Mikrokapsule parafinskoga voska za gipskartonske ploče [5]

prijelaza (preobrazba agregatnoga stanja iz tekućeg u kruto). Parafinski se vosak u mikrokapsulama tali u temperaturnome području od 24 do 26 °C. Kada temperatura gradiva postigne temperaturu taljenja voska, počinje postupak spremanja topline.

Suvišna se toplina rabi za taljenje parafinskoga voska (100 J/g) te temperatura u zraku postaje konstantna od 24 do 26 °C. Kada se temperatura u prostoru snizi, latentni spremnik topline isprazni – vosak se ponovno stvrdne i pritom preda toplinu nazad u okolinu. Gradiva s faznom preo-

brazbom mogu podleći neograničenom broju obrnutih procesa/ciklusa, bez slabljenja ili smanjenja učinkovitosti [1]. Građiva s faznom preobrazbom posebno su zanimljiva za izjednačivanje toplinske ugodnosti u zgradi.

c) Provodni polimeri i ostali pametni vodiči

U današnje se vrijeme elektronike velika pozornost usmjerava na građiva koja imaju veću ili manju sposobnost provođenja električnoga toka. To su izolatori, vodiči, poluvodiči, supervodiči. Mnoga tradicionalna građiva (staklo, polimeri) sama po sebi nisu vodiči, ali to mogu postati na različite načine - polimeri postaju vodiči dodatkom dijelova metalnih oksida, grafita ili drugih vodiča. Staklo postaje električki vodljivo nanosom tankoslojne metalne prevlake na površinu. Iznimka su polimeri s visokom električnom provodljivošću, tj. elektro - aktivni polimeri. To su npr. polyanilin (PANI) i polypyrrol (PPy), polimeri koji imaju poluvodičke karakteristike i mogu predavati svjetlost te elektrokemijski polimeri koji mijenjaju stupanj električne provodljivosti kao reakciju na snažno prisutnu kemijsku okolinu [1].

U ostale pametne vodiče ubrajamo fotovodiče (*photoconductors*) i fotootpornike (*photoresistors*) koji pod utjecajem svjetlosti mijenjaju stupanj električne provodljivosti. Pirovodiči (*pyrpnconductors*) su građiva provodljivost kojih ovisi o temperaturi. Magnetovodiči (*magnetoconductors*) su građiva provodljivost kojih ovisi o snazi magnetskoga polja u kojem se nalaze.

Velik dio spomenutih provodljivih građiva ima ulogu senzora [1].

d) Reološka građiva

Izraz *reološko građivo* dolazi od karakteristike tekućih tvari da mijenjaju karakteristiku kada su izložene električnom ili magnetskom polju. Reološka građiva mogu biti magne-

toreološka ili elektoreološka građiva. Kod elektoreoloških građiva viskoznost se tekućine mijenja razmjerno jakosti električnoga toka, kod magnetoreoloških se viskoznost tekućine mijenja razmjerno prisutnosti magnetskoga polja [3]. Promjene u viskoznosti mogu biti zanimljive. Tekućina se može promijeniti u kruto stanje kada se električno polje uključi, tj. isključi. Unatoč velikim mogućnostima primjene na području graditeljstva, do toga još nije došlo (moguća uporaba na namještaju, npr. namještanje tvrdoće ležaja i sjedala; za zgrade na potresno izloženim područjima) [1].

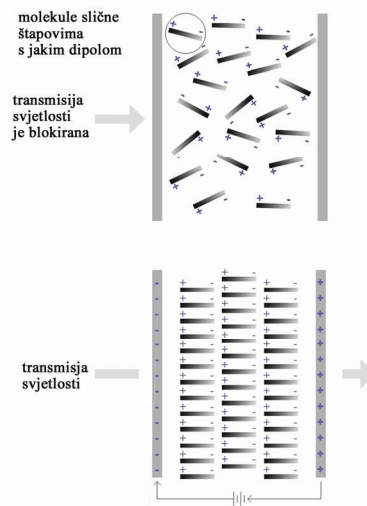
e) Tekući kristali

Tekući su kristali međufaza između kristalnih krutih tvari i izotropnih tekućina. Izuzetno su osjetljivi na električna polja i primjereni za optičke prikaze (*optical displays*), slika 3. LCD (*liquid crystal display*) rabi se u dva sloja polariziranoga građiva između kojih je otopina tekućega kristala. Električni tok koji putuje kroz građivo uzrokuje polarizaciju kristala, pa stoga svjetlost ne može prodirjeti kroz njega. Svaki je kristal

kao zatvarač koji dopušta prolaz svjetlosti ili njezin prolaz blokira [1].

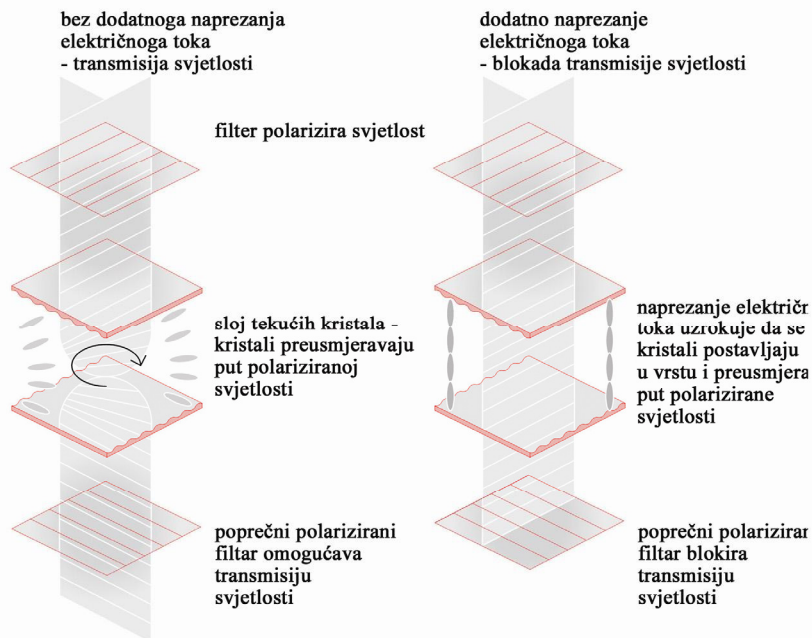
f) Dijelovi suspendirani u tekućinama

Električni aktivirani prikaz (slika 4.) mijenja se od neprozirnoga u prozir-



Slika 4. Prikaz mijenjanja od neprozirnoga u prozirni zaslon [1]

ni zaslon i obrnuto. Tipični SPD (*suspended particle device*) zaslon s lebdećim dijelovima sastoji se od više slojeva različitih građiva. Aktivni



Slika 3. Prikaz promjena koje se događaju u LCD-u (*liquid crystal display*) prolaskom električnoga toka[1]

je sloj (dijelovi suspendirani u tekućini, tj. prevlaci) stavljen između dva paralelna, vodljiva sloja. Bez električnoga su toka dijelovi u aktivnom sloju slobodno raspoređeni i apsorbiraju svjetlost (površina izgleda neprozirna, tamna). Dovod toka električne struje uzrokuje u polju usmjerenu strukturu dijelova (raspored dijelova u vrstu). Tako raspoređeni povećavaju provodljivost svjetlosti kroz kompozitni sloj. Za održavanje određenoga stupnja prozirnosti potreban je konstantni tok električne struje [1].

g) Gelovi koji mijenjaju oblik

Gelovi koji mijenjaju oblik imaju tu karakteristiku da mogu apsorbirati goleme količine vode, a pritom povećavaju svoj obujam. Kada se gradivo osuši, vraća se u prvobitnu veličinu.

4.2 Gradiva koja pretvaraju energiju

Glavna je karakteristika tih gradiva da pod utjecajem energijskih podražaja gradivo ostaje jednako, a pretvara se oblik energije [1].

Toj skupini pripadaju gradiva koja pretvaraju energiju iz jednog oblika u drugi i djeluju direktno i povratno (reverzibilno). Tako elektrostriktivno gradivo transformira električnu energiju u elastičnu (mehaničku) energiju, a konačni je rezultat fizička promjena oblika. Često je gradivo sastavljeno od više drugih gradiva, svako obavlja svoju određenu funkciju.

Kada je energijsko stanje gradiva ekvivalentno energijskome stanju okružujuće okoline, kaže se da je gradivo u ravnoteži i izmjena energije nije moguća. Ako se gradivo nalazi u drugačijem energijskom stanju, tada je uspostavljena razlika potencijala koji vodi izmjeni energije.

Mnogo je pametnih gradiva sa sposobnošću pretvaranja energije obosstrano usmjereno – unesena (*input*) energija i predana (*output*) energija mogu se zamijeniti. Pametna gradi-

va sa sposobnošću izmjene energije gotovo su uvijek kompoziti (iznimno: magnetostriktivno željezo i piezoelektrični kremen).

Javljaju se različita gradiva koja lako mijenjaju energiju [1]:

h) Gradiva koja predaju svjetlost *Luminiscencija, fluorescencija, fosforescencija*

Luminiscencija opisuje različite pojave koje se temelje na predaji svjetla. Ako se emisija pojavi iznenada, rabi se termin fluorescencija. Ako je emisija sporija ili zaostaje za nekoliko mikrosekunda ili milisekunda rabi se termin fosforescencija. Gradiva mogu biti prirodno ili umjetno fosforescentna.

Tipovi luminiscencije razvrstavaju se s obzirom na vrstu emisije koja uzrokuje unos energije, npr. fotoluminiscencija (uzrokuje ju svjetlosni *input*), kemijska luminiscencija (uzrokuje ju kemijski *input*), elektroluminiscencija (uzrokuje ju električni *input*), bioluminiscencija (luminiscencija prisutna u životinjskim vrstama).

a) Poluvodiči

Među poluvodiče se najčešće ubraja silikon iako su primjerena i druga gradiva. Osnovni su poluvodiči gradiva koja nisu niti dobri vodiči niti dobri izolatori iako s dodatkom primjesa mogu imati (atomi tuđih elemenata) u manjim količinama fascinantne električne karakteristike. Dodaci tih primjesa ostvaruju gradiva s novim karakteristikama, odnosno dopuštaju da su pomaci elektrona potpuno nadzirani [1]. Fenomen je poluvodiča podloga za neke suvremene tehnologije koje su u graditeljstvu posve uvriježene (npr. fotovoltaika) ili se tek uvode (npr. LED diode).

b) Fotovoltaika

Pod pojmom fotonaponska pretvorba podrazumijeva se izravno pretvaranje svjetlosne (sunčeve) energije u

električnu energiju. Pretvorba se vrši u fotonaponskim (sunčanim) ćelijama. Podloga je za taj efekt tehnologija poluvodiča. Sunčeva energija pokreće promjenu u ćeliji koju tvore dva tanka sloja P i N tipa (dva osnovna sloja poluvodiča). Između slojeva se javlja napon – generator napona koji sunčevu svjetlost mijenja u električnu energiju [1].

c) LEDs (*light emitting diodes* – diode koje emitiraju svjetlo)

LED diode su poluvodiči koji zasvijetle kada kroz njih poteče električni tok. Njihovo je djelovanje suprotno djelovanju fotonaponske ćelije [1]. Poluvodiči uobičajeno predaju crvenu, žutu ili zelenu svjetlost (slika 5.), trenutačni tržišni prodor bijelih svjetlećih dioda inovacija je japanskoga fizičara Nakamure. Dioda rabe samo malo električne energije i vrlo su trajne (vijek trajanja LED dioda je 11 godina), dobro podnose vibracije, ne predaju ultraljubičasta i infracrvena zračenja, moguća je uporaba u različitim proizvodima. Trenutačni je nedostatak slaba iskoristivost jer jedna bijela svjetleća dioda odjednom ne predaje dovoljnu količinu svjetlosti.



Slika 5. Prikaz LED diode

d) Piezoelektrična gradiva

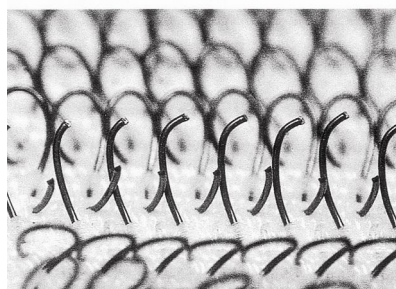
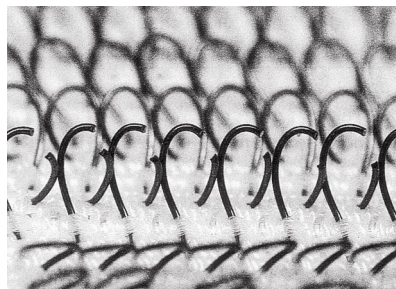
Piezoelektrični su uređaji vrlo osjetljivi na mali pritisak ili električni tok. Piezoelektrične karakteristike gradiva mogu se dodavanjem primjerenoga električnog polja uporabiti za generiranje pomaka, sile, pritiska. Piezoelektrična gradiva imaju dvije različite karakteristike [8]:

1. izravni piezoelektrični učinak – o izravnome se piezoelektričnom učinku govori kada piezoelektrično gradivo zbog izloženosti mehaničkom pritisku postaje električki nabijeno.
2. Obrnuti piezoelektrični učinak – o obrnutom se piezoelektričnom učinku govori kada uneseni električni naboj u gradivu uzrokuje mehaničku promjenu.

e) Legure s pamćenjem

SMA (*shape memory alloys*) tj. legure s pamćenjem sastoje se od najmanje dva različita metalna materijala. Njihova je glavna karakteristika da, nakon termomehaničke obrade, mogu preuzeti prvobitni oblik koji su imali prije obrade [1]. Najčešće se upotrebljava legura nikla i titana ili skuplja legura bakra i cinka s dodatkom drugih metala (npr. aluminij, galij, kositar) [3].

Pojava koja se zove *shape memory effect* odnosi se na ponavljajuću faznu promjenu između dviju kristalnih struktura (Martenzitne transformacije [3]). Izrađuju se u obliku žica (slika 6.), šipki, cijevi, užadi i traka [6]. Osim legura poznati su i polimeri i keramika s oblikovnim pamćenjem. Zanimljiva je karakteristika nekih SMA da mogu naučiti novi oblik.



Slika 6. Petlje od legure nikla i titana u uobičajenom su stanju zatvorene (gornja slika), nakon toplinske se obrade otvaraju (donja slika)

5 Zaključak

Svijet gradiva se širi. Tradicionalnim se gradivima, koja su sastavljala građevnu opnu kroz povijest, danas pridružuju nova. Neka su nastala na sasvim drukčijim područjima i sa svojim ekstremnim karakteristikama potiču ambicije projektanata i dolaze na područje graditeljstva.

Pametna su gradiva velik oblikovni i projektantski potencijal. Za razliku od tradicijskih gradiva karakteristike kojih se ne mijenjaju i statične su, pametna su gradiva dinamična jer pod utjecajem podražaja mijenjaju svoje karakteristike i zgradi daju sasvim drugačiji izgled. Pametna su gradiva osnova za opširno područje pametnih elemenata i pametnih pročelnih sustava koji ispunjavaju težnju projektanta za novim, boljim i nadasve drukčijim.

LITERATURA

- [1] Addington, M., Schodek, D.: *Smart Materials and Technologies for architecture and design professions*, Elsevier Ltd., Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo, 2005.
- [2] Micronal PMC – *Intelligentes Temperaturmanagement für Gebäude*, BASF, Ludwigshafen, 2006.
- [3] Ball, P.: *Made to measure, new materials for the 21st century*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1997.
- [4] Kroschwitz, J.: *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley & Sons, New York, 1992.
- [5] Materi 0: *Material World 2, Innovative Materials for Architecture and Design*, Birkhäuser – Publisher for Architecture, Basel, Boston, Berlin, 2006.
- [6] Ritter, A.: *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhäuser-Publishers for Architecture, Basel, Berlin, Boston, 2007.
- [7] Schwartz, M.: *Encyclopedia of Smart Materials, Vol.1*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- [8] Schwartz, M.: *Encyclopedia of Smart Materials, Vol.2*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- [9] Stattmann, N.: *Handbuch Material Technologie*, Avedition GmbH, Verlag für Architektur und Design, Stuttgart, 2000.
- [10] Wigginton, M., Harris, J.: *Intelligent Skins*, Butterworth-Heinemann, Oxford, Woburn, 2002.
- [11] Worden, K., Bullough, W.A., Haywood, J.: *Smart Technologies*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., New Jersey, London, Singapore, Hong Kong, 2003.
- [12] <http://virtualskies.arc.nasa.gov/main/mresearch.html>, dostupno 11.10.2007.
- [13] http://www.sfmoma.org/images/ma/exhibit_detail/heatsat_1.jpg dostupno 15.5.2008.

Doc. dr. Martina Zbašnik-Senegačnik, dipl. ing. arh.
Asist. Ljudmila Koprivec, dipl. ing. arh.

Sveučilište u Ljubljani, Fakultet za arhitekturu