

PAMETNI PROIZVODI I SUSTAVI

1 Uvod

Suvremeni razvoj različitih industrijskih grana u posljednjem je desetljeću donio brojne nove materijale. Oni se upotrebljavaju na različitim područjima, između ostaloga i graditeljskom oblikovanju. Jedna od najnaprednijih skupina materijala, koja će u budućnosti imati velik utjecaj na graditeljsko planiranje, jest skupina pametnih materijala. Pametni materijali imaju specijalne karakteristike – na različite načine spoznaju događaje u okolini, procesiraju te senzorske informacije i na njih reagiraju [9]. Drugim riječima – pametni materijali primaju energiju iz okoliša i na nju reagiraju na dva načina. Jedan je da unesena energija može promijeniti molekularnu strukturu ili mikrostrukturu materijala, čime se mijenjaju i karakteristike materijala (tj. to su materijali koji mijenjaju karakteristike). Drugi je način kad unesena energija promijeni energijsko stanje sastava materijala, a ne mijenja sam materijal, rezultat je pretvorba energije (tj. to su materijali koji pretvaraju energiju) [15]. Pametni materijali razlikuju se od tradicijskih po tome što je njihov odaziv na vanjsku okolinu brz, lako reagiraju na više različitih stanja okoliša, a njihova reakcija na unos vanjske energije unaprijed je određena. Pametni su materijali osnova za pametne proizvode koji predstavljaju veliki izazov za graditelje, što su dosada dokazala brojna graditeljska dostignuća.

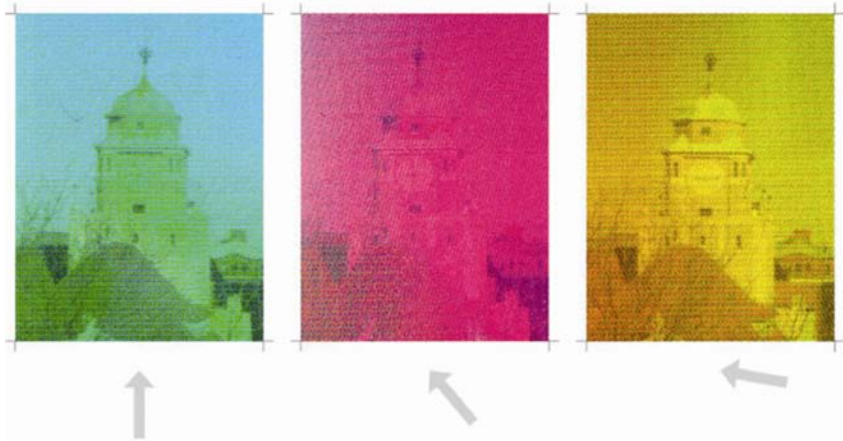
2 Sistematizacija pametnih proizvoda

Pametne proizvode moguće je, s obzirom na uporabu u graditeljstvu, razvrstati u različite skupine. U nastavku opisujemo nekoliko skupina koje su u primjeni.

2.1 Polimerni premazi

Pametna gradiva pojavljuju se u kombinaciji s različitim novodobnim po-

tim refleksijskim karakteristikama, iako je prozirna. Boja prevlake ovisi o kutu gledanja na površinu prevlake. Stoga jer je prevlaka sastavljena



Zrcalna prevlaka žarkih boja [1]

limerima. Poznati su različiti polimerni premazi i procesi nanosa takvih slojeva na različita gradiva. S prevlakama, bojama i premazima iz pametnih materijala jednostavnom se obradom površine osnovnom materijalu mogu promijeniti optičke karakteristike, toplinska izolacija i čak čvrstoća [11].

Proces tankoslojnih nanosa razvio se nanošenjem više tankih slojeva na osnovni materijal (kemijskim ili fizikalnim procesom). Klasične boje i obloge mnogo su deblje od mikro-slojeva. Tankoslojni nanosi, npr. nanosi različitih oksida, pogodni su za različite podloge: staklo, metal, polimerne prevlake itd.

Razvoj na području prevlaka teži uvijek tanjim i otpornijim prevlakama koje djeluju na različite načine. Među njima je mnogo kvalitetnih prevlaka s pametnim karakteristikama [1].

2.1.1 Prevlaka žarkih boja i zrcalna prevlaka

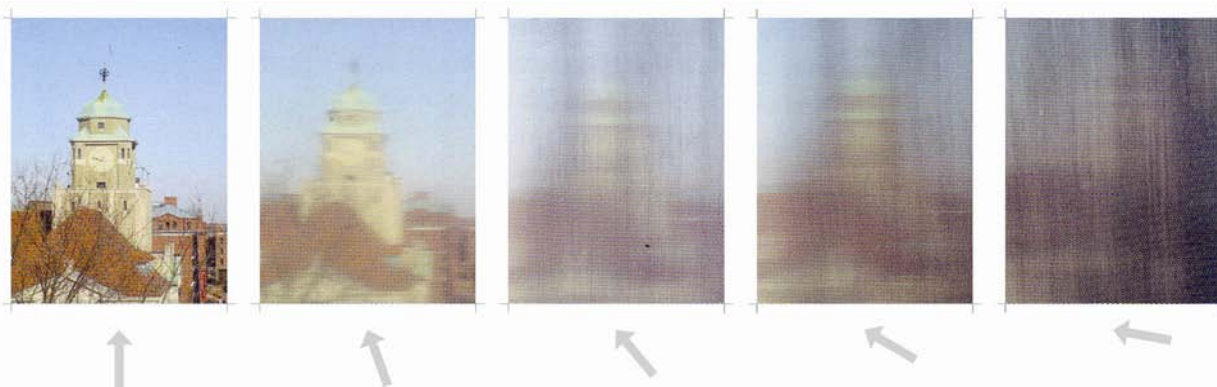
Prevlaka žarkih boja sastoji se od različitih slojeva prevlaka s različiti-

od više slojeva, različitim je kombinacijama moguće ostvariti različite tipove s različitim optičkim karakteristikama.

Zrcalna prevlaka djeluje kao reflektirajuća prevlaka koja odbija 98 posto vidljive svjetlosti. Neprozirna zrcalna prevlaka sastavljena je od više polimernih prevlaka, svaka s vlastitim odbojnim karakteristikama i s polimernom površinom. Prevlaka se može izbočiti, rezati, može biti otporna na ultraljubičasto zračenje, lijepljena ili nanosena na druge površine. Nema metalnih dodataka (niti korozije) i termički je stabilna.

2.1.2 Prevlaka s usmjerenim pogledom

Ta se polimerna prevlaka naziva i prevlakom kontroliranja svjetlosti ili usmjerenom prevlakom. Prevlaka je reljefna (izbočena), s vrlo malim, specijalno oblikovanim utorima ili mikro - umecima. Kroz prevlaku se vidi samo u određenom smjeru, ovisno o usmjerenosti utora ili umetka. Ako se promjeni kut gledanja, prevlaka postaje manje prozirna.



Prevlaka s usmjerenim pogledom [1]

2.1.3 Fotokromne prevlake

Fotokromni materijali mijenjaju boju kada su izloženi svjetlosti. Bezbojne fotokromne prevlake mogu se promijeniti u prozirne, čak obojene prevlake. One su u usporedbi sa staklom jeftinije, ali je njihovo djelovanje (promjena boja) sporije.

2.1.4 Termokromne prevlake

Termokromni materijali mijenjaju boju kada im se promijeni temperatura. Posebnim termokromnim prevlakama, koje djeluju na bazi tekućih kristala, moguće je kontrolirati reakcije pri temperaturnim promjenama.

2.1.5 Elektroluminiscentne prevlake

Elektroluminiscentni materijali predaju (emitiraju) svjetlost kada je fosfor, koji sadrže, električki nabijen. Tako se fosforocentni materijal može nanijeti na podlogu u obliku prevlake. Ta je tehnologija usmjerena k elementima s niskom potrošnjom energije. Posljedičnu mogućnost njihova daljnjeg razvoja su, odmah nakon otkrića, u cijelosti nadglasale LED tehnologije.

2.1.6 Fotonaponske prevlake

Cilj su tanke i fleksibilne sunčane ćelije koje bi se mogle nanositi na veće površine. Ako bi bile izrađene u različitim stupnjevima prozirnosti i različitim bojama, lako bi se mogle nanositi, na primjer, i na prozore. Problem je slaba iskoristivost (istraživanja pokazuju otprilike 5 posto).

Isto tako ostaje problem (očuvanja) energije. Primjena je bila uspješna na području industrijskoga oblikovanja (satovi, punjači baterija itd.).

2.1.7 Kemijski osjetljive bojene prevlake i prevlake koje mijenjaju oblik

To su prevlake koje prepoznaju različite kemijske supstancije. Mijenja se njihov oblik, boja i druge karakteristike. S tim karakteristikama mogu djelovati kao jednostavni senzori koji prepoznaju prisutnost kemikalija u atmosferi ili tekućinama.

2.2 Pametne boje i premazi

Boje i premazi standardni su način promjena i poboljšanja karakteristika materijala. Bojama i premazima mogu se dodavati obje vrste pametnih materijala: materijali koji mijenjaju karakteristike i materijali koji pretvaraju energiju.

2.2.1 Dodavanje materijala koji mijenjaju karakteristike

Brojni se materijali koji mijenjaju karakteristike mogu dodavati u boju kao pigment u obliku finih čestica (djelića). Postoji mnogo termokromnih i fotokromnih boja i premaza. U njih se mogu dodavati drugi materijali koji mijenjaju karakteristike (npr. gradiva s faznom preobrazbom), i to izravno ili u obliku mikrokapsula.

2.2.2 Dodavanje materijala koji pretvaraju energiju

Mnogo je prirodnih i sintetičkih luminiscentnih materijala koji su prihvatljivi kao dodatak bojama i pre-

ma. Oni apsorbiraju energiju iz svjetlosti, kemijskih ili termičkih izvora te je predaju u obliku fluorescencije ili fosforescencije [1]. Razvoj elektroprovodnih polimera pokrenuo je potpuno nov razvoj boja i premaza. Raste zanimanje za pametne boje koje označavaju pukotine u elektroprovodnim polimerima.

2.3 Pametna stakla

Staklo danas, osim propuštanja svjetlosti, istodobno ispunjava i druge funkcije. Tako primjerice elektrokromna prevlaka na staklu omogućava da se pod utjecajem električkoga toka mijenja transmisija dnevne sobe. Sunčane ćelije, nanosene na staklo, proizvode električki tok. Nanos laserom omogućava stvaranje različitih uzoraka jer određena područja ostaju prozirna [8].

2.3.1 Elektrooptičko staklo

Elektrooptičko staklo dobar je primjer uporabe tehnologije tankoslojnih nanosa u graditeljstvu. Klasično staklo ne provodi struju i električki je izolator. Elektrooptičko se staklo sastoji od staklene osnove na koju je, kemijskim procesom, nanosen tanak i proziran sloj materijala koji provodi struju. U graditeljstvu se takva tehnologija može upotrebljavati kao "zagrijano staklo koje se ne smrzava" [1] (npr. automobilska stakla).

2.3.2 Dikromična stakla

Dikromično staklo (dikromija, različita obojenost istovrsnih organiza-

ma) omogućava promjenu boja. Promjene boja mogu biti nepredvidive i brze. Slični se vizualni učinci mogu vidjeti u perju nekih ptica ili na vodi u uljnoj mrlji. Kod takvoga se stakla neke valne dužine svjetlosti reflektiraju, dok se druge apsorbiraju i vidljive su kao transmisijska svjetlost. U dikromičnom je staklu podloga (staklo) obložena s više slojeva vrlo tankih prozirnih nanosa metalnih oksida. Kad svjetlost padne na njih, ili putuje kroz te slojeve, javljaju se različiti vizualni učinci. Boje se mijenjaju s obzirom na upadni kut svjetlosti i vidni kut gledanja [1].



Dikromična stakla na pročelju stambenoga bloka u Londonu

2.4 Sunčane (fotovoltaične) ćelije

Pod pojmom fotonaponska pretvorba podrazumijeva se pretvaranje svjetlosne (sunčeve) energije u električnu energiju. Pretvorba se vrši u sunčanim ćelijama koje mogu biti različite. Mogu biti prozirne ili neprozirne, različitih boja, najčešće su tamnoplave. Najčešće se upotrebljavaju [18]:

- polikristalne sunčane ćelije (iskoristivost do 15 posto)
- monokristalne sunčane ćelije (iskoristivost do 18 posto)
- amorfne sunčane ćelije (iskoristivost od 5 do 8 posto)
- ćelije na tankim prevlakama, *Thin-film cells*, nova su tehnolo-

gija sunčanih ćelija (*copper-indiumdiselenid* (CIS) i *cadmium-telluride* (CdTe) ćelije). Primjerene su za gotovo sve vrste podloga, do sada im je najveća iskoristivost do 9,5 posto [13].

2.5 Diode LED

Diode LED (LED = *Light Emitting Diode*) su poluvodiči koji zasvijetle kad kroz njih poteče električni (strujni) tok. Njihovo je djelovanje suprotno djelovanju sunčanih ćelija jer dioda LED pri prolasku električne energije svijetli. Diode LED pripadaju kategoriji najinovativnijih pametnih tehnologija [1].

Trenutačno se odvija prodor bijelih svjetlećih dioda na svjetsko tržište. Svjetlosna tijela LED nisu žarulje već čipovi koji imitiraju svjetlost kada kroz njih poteče strujni tok [17]. Boja svjetlosti ovisi o materijalu koji je upotrijebljen u čipu. Poluvodiči najčešće daju crveno, žuto ili zeleno svjetlo. Poluvodiču od galijeva nitrida, koji daje plavo svjetlo, dodaje se indij i fosfor te tako preko zelene i žute boje nastaje bijela svjetlost. Osvjetljenje s diodama LED je energetski štedljivo jer se ne zagrijava kao obična žarulja sa žarnom niti. Uvođenjem dioda LED na šire područje uporabe, prema savjetima stručnjaka, energetska bi se potrošnja industrijskih zemalja mogla sniziti čak za jednu trećinu [14]. U Australiji će npr. uporaba uobičajenih žarulja biti dopuštena do kraja 2010. [17].

LED se upotrebljava za osvjetljenje pročelja, za osvjetljenje vanjskoga prostora, za velike panelne zaslone. Spektarne karakteristike svjetlosti u usporedbi s tradicijskim osvjetljenjem mogu se precizno kontrolirati.

3 Pametni sustavi

Pametna gradiva sastavljaju uređaje, uređaji komponente, komponente elemente, elementi sustave koji su primjereniji za obavljanje zahtjevnijih funkcija. Plašt pročelja mora npr. istodobno odgovarati za više

zahtjeva, što samo pametno gradivo ne može uvijek zadovoljavajuće izvršiti.

Udruživanje pametnih gradiva u senzore i mikroprocesore teži k pametnim sustavima koji prilagođavaju karakteristike okolini u kojoj se nalaze. Kao odgovor na promjenu u okolini gradivo kreira signal i prenosi ga u mikroprocesor. On zatim pokreće odgovarajuću reakciju gradiva koja je unaprijed programirana i prilagođena određenim rubnim uvjetima okoline u kojoj se to gradivo nalazi. Za usporedbu može poslužiti mehanizam oka u kojem se zjenica automatski prilagođava intenzitetu svjetlosti koju prima [2].

Elementi pametnih sustava su senzori, detektori, pretvornici, pobuđivači (pokretači). Svaka od tih komponenta ima u pametnim sustavima svoju funkciju:

- **senzor:** senzor izvire iz riječi *sense* – opaziti, što znači primjećivati prisutnost ili karakteristike stvari. Senzor je uređaj koji opazi ili odgovori na fizikalni ili kemijski podražaj (gibanje, toplina, kemijska koncentracija) [1]. Senzor izmjenjuje energiju. U praksi je senzor element koji na izvoru proizvodi signal, a on jednolično odgovara vrijednosti primijećene veličine na ulazu senzora. Signal se može upotrijebiti kao osnova za mjerenje ili kontrolu. Postoji mnogo različitih senzora. Po osnovnoj definiciji razlikuju se s obzirom na oblik primljene energije – svjetlosni senzor, zvučni senzor, toplinski senzor, senzor vlage, senzor dodira, senzor neposredne blizine, senzor kretanja, kemijski senzor, magnetni senzor, senzor okoline, biosenzor
- **detektor:** pojam detektor odnosi se na skupinu senzora i potrebne elektronike; detektor mijenja osnovni signal, koji dobiva iz senzora, u uporabni oblik

- pretvornik: senzor i pretvornik su u djelovanju slični jer oba pretvaraju energiju. Većinom pretvornik pretvara energiju iz jednoga oblika u drugi (npr. kemijsku u električnu energiju) [1]. Pretvornici se rabe za prijenos, nadzor ili kontrolu energetske tokova, dok se senzori odazivaju izravno na vanjski podražaj
- pobuđivač odnosno naprava za pobuđivanje jest element koji signal u obliku ulazne energije pretvara u mehanički ili kemijski signal. Termin se odnosi na uređaj koji pomiče ili kontrolira; najčešće pobuđivač proizvodi mehanički rad ili gibanje kao odgovor na ulazni električni napon.

Mnogo osnovnih značajki pametnih gradiva može se vidjeti u ulozi senzora, pretvornika ili pobuđivača. Više pametnih gradiva jednoga ili drugog tipa u biti omogućava različite senzorske funkcije. Velika prednost tih sustava jest da pametna gradiva imaju mogućnost obavljanja više funkcija istodobno. Tako isto gradivo može djelovati kao senzor, pretvornik ili preuzima obje uloge. Kod pobuđivača vanjski podražaji u obliku ulaznoga signala (napon) proizvode djelovanje, pri senzoru vanjski podražaj (mehanička deformacija) proizvodi izlazni signal (napon) koji se potom može uporabljivati za nadzor. Mnogo se senzora može rekonfigurirati tako da djeluju istodobno kao pobuđivači [1].

Djelovanje pametnoga sustava s gradivom koje mijenja karakteristike – senzor

Promjena značajki gradiva koja nastaje zbog vanjskoga podražaja može se upotrijebiti kao senzor za taj podražaj. Npr. termokromno gradivo mijenja boju kao neposredni odgovor na temperaturnu razliku. Fotokromno se gradivo može upotrijebiti kao mjerač intenzivnosti svjetlosti, kemokromno kao senzor koji prepoznaje sadržaj kemikalija. Uporaba

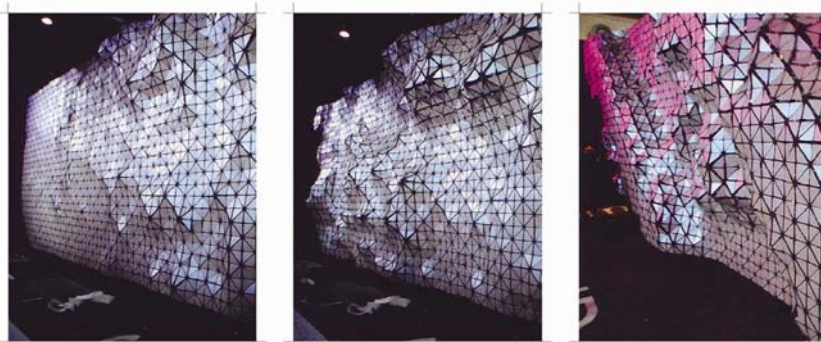
pametnih gradiva koja mijenjaju karakteristike u ulozi senzora jest ograničena kada se govori o kompleksnijim senzorskim sustavima jer neka pametna gradiva ne proizvode električne signale.

Djelovanje pametnog sustava s gradivom koje pretvara energiju – senzor + pretvornik (+ pobuđivač)

Gradiva koja pretvaraju energiju imaju funkcije senzora i pretvornika, neka i pobuđivača. Klasičan je primjer piezoelektično gradivo (piezoelektici, pojava električnog napona između suprotnih površina nekih kristala kada se mehanički deformiraju) koje se može upotrijebiti kao senzor pritiska.

Takav bi se proćeljni plašt prilagođavao djelovanju tijela stanara i vanjskim promjenama. Pametni materijali svojim karakteristikama kao što su prohodnost, prolaznost i sposobnost odaziva na energetske podražaj mogu omogućiti takav sastav proćeljnoga plašta.

Glavna je smetnja koja ograničava razmišljanje o materijalima prihvaćeno shvaćanje da prostorni plašt djeluje kao granica. Prostor se predstavlja kao ambijent zraka i svjetlosti koji je ograničen svojim površinama. Pretpostavka da su fizikalni i prostorni međaši jedno te isto vodi k usredotočivanju na jedinične, multifunkcionalne sustave proćeljnoga plašta [1].



Hyposurface - pozicijski senzor koji prepoznaje signal

Za djelovanje (rad) pametnoga sustava potrebni su različiti nadzorni modeli [1]. Takav je i mehatronički model (elektronski kontroliran mehanički uređaj) koji nadzire većinu kontrolnih primjena, kao i u sustavu *Hyposurface*. Taj se sustav sastoji od tzv. pozicijskih senzora koji prepoznaju signal. Mikrokontroler obradi ulazne signale i utječe na pneumatske cilindre. Rezultat je gibanje tijela – odgovarajuće gibanje površine.

3.1 Pametni sustavi proćelja

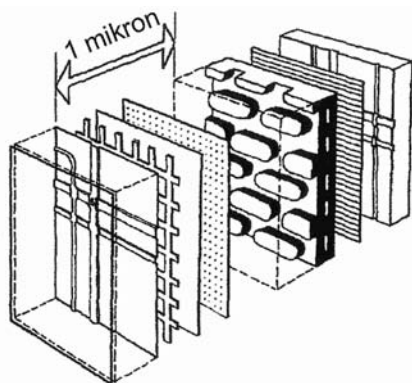
Realnost tradicionalnoga proćeljnog plašta jest u tome da djeluje kao graničnik između dvaju različitih okoliša – vanjskog i unutarnjeg. Tu realnost mogla bi zamijeniti ideja da je proćeljni plašt „okoliš mnogih energija“, okoliš koji je fluidno i uzajamno s fluidnim uvjetima vani i unutra.

Trenutačno je realizacija proćeljnoga plašta koji bi se prilagođavao djelovanju tijela korisnika prostora i vanjskim promjenama daleko od realnosti, iako takvo mišljenje vodi poimanju graditeljstva na nov način. U stvarnosti je trenutačno najveća uporaba pametnih materijala na području prozora i proćeljnih sustava.

3.1.1 Integrirano proćelje

Izrazom integrirano proćelje opisuju se koncept koji stvara cjelinu od više različitih komponenata, često međusobno različitih funkcija. Integrirano proćelje stvara potpuno nov način oblikovanja, pri čemu se javlja pitanje na kakav će način takvo proćelje biti strukturirano – u jednome ili više slojeva [8].

Pametni su materijali idealna tehnologija za „super proćelje“. Vizija


 Dio presjeka *superpročelja*

polivalentnoga zida, koje je autor Mike Davies, udružuje slojeve elektrokromnih i fotovoltaičnih mreža, senzora, radijalnih slojeva, membrana s mikroporama, provodnoga stakla itd. i poslužila je za model *superpročelja* [1]. Takvo pročelje Davies opisuje kao element zaštite od sunca, kiše i vjetra, a istodobno osigurava izolaciju, ventilaciju i dnevno svjetlo [5].

3.1.2 Pametno pročelje

Pročelje će u budućnosti imati više istodobnih funkcija [8]: prepoznavat će podražaje iz okoline (percepcija), izabirat će prikladne odgovore s obzirom na određena ograničenja i prioritete (zaključivanje) te svojim djelovanjem realizirati odgovore. Pametno pročelje budućnosti moći će kontrolirati transmisiju sunčeva zračenja kroz pročeljni plašt uporabom fotokromnih materijala, elektrokromnih materijala, panela od suspendiranih dijelova te panela od tekućih kristala, panela sa svjetlosnim sensorima te s uporabom pobuđivača (npr. slitina sa sjećanjem, elektrostriktivnim i magnetostriktivnim materijalima). Uporabom termotropnih materijala i materijala s faznom preobrazbom moći će se kontrolirati toplinska provodljivost kroz pročeljni plašt. Iako se čini da se primjena pametnih materijala u pročeljnomo plaštu usredotočuje samo na njihov tehnički učinak, neizbježno će utjecati i na sasvim novo oblikovanje. Mogućnosti u suvremenom oblikovanju pročeljnoga plašta

Slojevi s lijeva na desno:

- zaštitni sloj od vremenskih utjecaja od silicijevoga dioksida i nosivi sloj
- senzorski i kontrolni vanjski sloj
- fotoelektrična mreža
- toplinski sloj s grijačem – sa selektivnim apsorbiranjem
- elektroreflektivni nanos
- sloj plinopropusnih mikropora
- elektroreflektivni nanos
- senzorski i kontrolni unutarnji sloj
- nosivi sloj od silicijevoga dioksida i unutarnji završni sloj

uključuju pročelja koja mijenjaju boju, stupanj prozirnosti i mogu biti dinamična, lakša i tanja; pročelja koja su izolacijska i istodobno prozirna [3].

3.1.3 Pametni prozori

Termin *pametni prozor* (smart window) odnosi se na svaki sustav koji pokazuje interaktivnu ili zamjenjivu površinu bez obzira na to je li ta površina prava ili virtualna, unutarnja ili vanjska. Pametni prozori obavljaju jednu ili više sljedećih funkcija[1]:

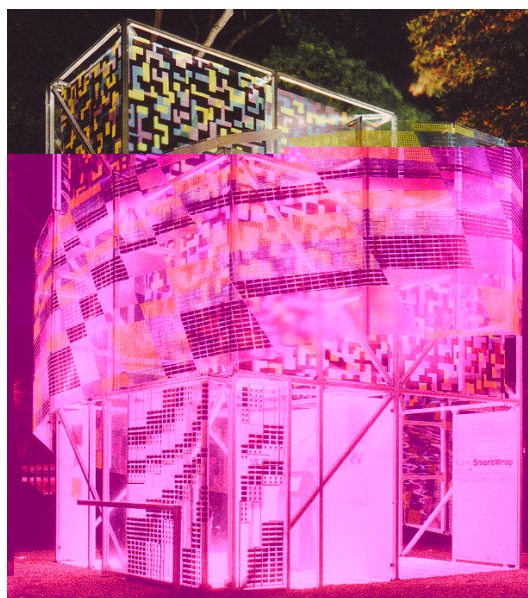
- uravnoteživanje svjetlosne propusnosti
- uravnoteživanje toplinske propusnosti
- uravnoteživanje toplinske apsorpcije
- uravnoteživanje vizura (vizura: crta od promatračevih očiju ili viziranoga uređaja do promatranoga predmeta, točke).

4 Primjeri uporabe pametnih elemenata u graditeljstvu

4.1 *SmartWrap*, Philadelphia, 2003. (projektant Kieran Timberlake Associates)

Paviljon *SmartWrap* je eksperiment koji pokazuje moguću uporabu pametnih materijala u pročeljnomo plaštu. Postavljen je 2003. u Cooper Hewitt National Design muzeju i

predstavlja inovativni, polivalentni plašt zgrade. *SmartWrap* se sastoji od dva sloja. Unutarnji sloj uključuje toplinskoizolacijske materijale – aerogel i materijale s faznom preobrazbom. Vanjski se sloj sastoji od transparentnoga PET (*elastic polyethylene terephalate*) materijala, na koji su postupkom tiskanja ili valjanja nanoseni različiti pametni materijali: organske sunčane ćelije, tanke prevlake – baterije za spremanje električne energije, provodne, organske, tanke prevlake – tranzistori (OTFT) za distribuiranje elektrike i izvršenje kontrolnih funkcija, OLED (na polimernoj bazi) za osvjetljivanje i elektronski prikaz, kromatična


 Paviljon *Smart Wrap* [12]

sunčana zaštita za kontroliranje transmisije svjetlosti i topline.

Agbar Tower, Barcelona, 2005. (projektant Jean Nouvel)

Jean Nouvel je u suradnji s umjetnikom Yann Kersalé instalirao nekoliko stotina palica s LED osvjetljenjem u četiri osnovne boje na pročelje nebodera Agbar Tower. Varijacijom intenzivnosti dioda i uporabom jednostavnoga računalnoga programa stvorili su živopisni pročeljni stup. LED sustav je postavljen između vanjskoga i unutarnjeg sloja pro-

čeljne opne i ima vijek trajanja od 100.000 sati te nisku potrošnju energije.



Pročelje Agbar Towera

Chanel Ginza, Tokyo, 2004.
(projektant Peter Marino Associates)

Zgrada ima 910 m² visećega staklenog pročelja. Staklo je sive boje i upeto je između čelične romboidne konstrukcije. Iza konstrukcije je praznina, a zatim slijedi elektrooptički sloj (laminirano staklo d = 12 mm, koje se sastoji od dva sloja izuzetno



Pročelje Chanel Ginza [12]

čistoga stakla i prevlake od tekućih kristala) te staklene ploče koje u horizontalnome smjeru prekidaju aluminijske prečke s ugrađenim LED diodama.

Pročelje djeluje tako da je po danu prozirno, noću se promijeni u neprozirnu površinu s funkcijom reklamnoga panoa. To je moguće računalnim prilagođavanjem 700.000 LED dioda. Prilagođavanju ih tri glavna računala i 65.000 mikroracunala. Oni mogu procesuirati trideset i dva trilijuna zapovijedi na sekundu, zato se mogu odvijati prezentacije slika filmova [12].

Galleria Shopping Mall, Seul, 2002. (projektant UN Studio)

UN Studio je u suradnji s tvrtkom Arup razvio »dinamično« LED pročelje koje ne predstavlja »projekcijsko platno« u tradicijskom smislu medijskih pročelja, već se noću pročelje uz pomoć digitalnoga računalnog nadzora odaziva s obzirom na »stanje« materijala danju. Dnevne snimke stanja vremena i procesuiranje transformiranih podataka na staklene diskove uporabom računala samo su jedna od mogućnosti toga pročeljnoga plašta. Pročelje se sastoji od 4330 staklenih (piskareno, lamelirano staklo) »diska« kružnoga oblika, prevučeni dikroičnom folijom. Diskovi su učvršćeni na metalnu potkonstrukciju, a ona na betonsko pročelje građevine. Danju se dikroični diskovi odazivaju s obzirom na promjene u okolini (vremenske pro-

mjene) i na vidni kut promatrača. Noću su LED diode, namještene iza svakoga diska, digitalno kontrolirane računalnim programom i tako po cijelome pročelju stvaraju različite koloritne i svjetlosne kombinacije.

5 Zaključak

Pametni materijali koji se javljaju u različitim industrijskim pogonima osnova su za brojne pametne proizvode s izvanrednim karakteristikama. Bez obzira na to što se njihov primarni razvoj ne temelji na potrebama u zgradama, danas se mogu upotrebljavati i u graditeljstvu. Time se projektantima i tehnolozima otvaraju neslućene mogućnosti pri projektiranju suvremenih građevina. Osobito velik izazov pojavljuje se i na području pročeljnoga plašta koji u budućnosti neće imati strogo zaš-



Promjenjivost pročelja Gallerie Shopping Malla ovisno o vremenskim prilikama [10]

titnu funkciju. Pametni proizvodi osnova su za pročelja koja se odazivaju na različite podražaje i infor-

macije iz okoline te time nisu više statične već izuzetno (vizualno) dinamične, što pokazuju i opisani primjeri. Samo je pitanje vremena kada će se izrabljivati još više njihova potencijala.

doc. dr. sc. Martina Zbašnik –
Senegačnik, dipl. ing. arh.,

Ljudmila Koprivec, dipl. ing. arh.,
Univerzitet u Ljubljani,
Fakultet za arhitekturu

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] Ball, P.: *Made to measure, new materials for the 21st century*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1997.
- [3] Borch, I.: *Skins for buildings: the architect's material sample book*, BIS Publishers, Amsterdam, 2004.
- [4] Cremers, M.J.: *Innovative Membrane-Architektur*, Intelligente Architektur, Zeitschrift für Architektur und Technik 04-06, Koch, Leinfelden-Echterdingen, 2008.
- [5] Davies, M.: *A wall for all seasons*, Riba Journal, Vol.88, No.2, pp. 55-57, London, 1981.
- [6] Ito, T.: *Toyo Ito*, Academy Editions, London, 1995.
- [7] Jodidio, P.: *Architecture: Art*, Prestel Verlag, Munich, Berlin, London, New York, 2005.
- [8] Knaack, U. et al: *Façades, Principles of Construction*, Birkhäuser AG, Basel, Boston, Berlin, 2007.
- [9] Kroschwitz, J.: *Encyclopedia of Chemical Technology*, Willey & Sons, New York, 1992.
- [10] Liu, Yu-Tung: *Demonstrating Digital Architecture: 5th Far Eastern International Digital Architectural Design Award*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 2005.
- [11] Mori, T.: *Immaterial/Ultramaterial: Architecture, Design and Materials*, George Braziller, New York, 2002.
- [12] Ritter, A.: *Smart materials in architecture, interior architecture and design*, Birkhäuser-Publishers for Architecture, Basel, Berlin, Boston, 2007.
- [13] Schittich, C.: *In detail: building skins: concepts, layers, materials*, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 2006.
- [14] Sever, V.: *Svet znanosti in tehnike, Življenje in tehnika*, št. 3, Tehniška založba Slovenija, Ljubljana, 2008.
- [15] Zbašnik-Senegačnik, M., Koprivec, L.: *Gradevinar: časopis Hrvatskog saveza građevinskih inženjera*, HSGI, Zagreb, 2008.
- [16] Zettlitzer, W.: *Planung, Fertigung und Montage der Kissenhülle*, Detail - Zeitschrift für Architektur + Baudetail, n. 9, v. 45, München, 2005.
- [17] <http://www.liderpress.hr/Default.aspx?sid=15428>
- [18] <http://www.pvresources.com/si/tehnologije.php>