



TP NaMaT



REPUBLIKA SLOVENIJA  
MINISTRSTVO ZA VISOKO ŠOLSITVO,  
ZNANOST IN TEHNOLOGIJO

TEHNOLO[KA PLATFORMA

"NAPREDNI MATERIALI  
IN TEHNOLOGIJE"

NaMaT

TP NaMaT

*Oktober 2006*

## Podjetja

AET D.O.O.
AKRIPOL d.d.
BELINKA d.d.
BETI d.d.
CIMOS d.d.
CINKARNA d.d.
DEA SEŽANA s.p.
DOMEL d.d.
EDIT d.o.o.
ETI d.d.
ETI ELEKTROELEMENT d.d.
ETI GUM d.o.o.
HELIOS d.d.
HIDEX d.o.o.
IMPOL d.d.
ISKRAEMECO d.d.
ISKRA KONDENZATORJI
ISOKON d.o.o.
ITEO Svetovanje d.o.o.
JOHNSON CONTROLS d.o.o.
KARBON d.o.o.
KOLEKTOR GROUP d.o.o.
KOROŠKI HOLDING d.o.o.
KOVINOPLASTIKA Povše s.p.
KUM - PLAST d.o.o.
LAJOVIC TUBA d.d.
LIV postojna d.d. PC PLASTIKA
MARSON d.o.o.
MATIC EMBALAŽA d.o.o.
MELAMIN d.d.
MINERVA d.d.
MS Production s.p.
PLASTIK d.d.
PLASTIKA TRČEK s.p.
SAVATECH d.o.o.
SILKEM D.O.O.
ŠIBO d.o.o.
TANIN d.o.o.
TBP d.d.
TEHNOS d.o.o.
TERA d.o.o.
TERMOPLASTI - PLAMA d.d.
TRISO d.d.
UTEKSOL d.o.o.
VARSİ d.o.o.
VEPLAS d.d.

## Podporne, raziskovalne in izobraževalne institucije

GIZ GROZD PLASTTEHNIKA
GOSPODARSKA ZBORNICA SLOVENIJE
IJS Odsek za nanostrukturne materiale
IJS Odsek za inženirsko keramiko
IJS Odsek za raziskave sodobnih materialov
IMT Inštitut za kovinske materiale in tehnologije
IRSPIN
KEMIJSKI INŠTITUT Ljubljana
Ministrstvo za visoko šolstvo znanost in tehnologijo
Regionalna razvojna agencija Celje
SLOVENSKI GRADBENI GROZD - GIZ
TECOS
TEKSTILNI INŠTITUT Maribor
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
UNIVERZA V LJUBLJANI Fakulteta za strojništvo
UNIVERZA V LJUBLJANI - Naravoslovnotehniška fakulteta
UNIVERZA V MARIBORU Ekonomsko-poslovna fakulteta
UNIVERZA V MARIBORU Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
UNIVERZA V NOVI GORICI
ZAVOD - CENTER SLOVENSKEGA ORODJARSKEGA GROZDA Celje
ZAVOD LESARSKI GROZD
Zavod TC SEMTO
Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG)

# PREDSTAVITEV

## Tehnološke platforme

### Napredni materiali in tehnologije (NaMaT)

#### Poslanstvo TP NaMaT

Tehnološka platforma "Napredni materiali in tehnologije", skrajšano TP NaMaT, združena v evropsko TP "EuMaT", je slovenski forum, ki podpira načrtovanje, odločanje in investiranje v področje naprednih materialov in tehnologij med vsemi zainteresiranimi udeleženci in tako vpliva na udeležanje raziskovalno-razvojnih prioritet na področju naprednih materialov in tehnologij.

TP NaMaT predstavlja s strani gospodarstva spodbujeno odprto mesto dogovarjanja in sodelovanja med vsemi zainteresiranimi deležniki in tako vpliva na udeležanje raziskovalno-razvojnih prioritet na področju naprednih materialov in tehnologij.

#### Osnovna ideja TP NaMaT

NaMaT pokriva vse segmente življenjskega cikla naprednih inženirskih materialov, multimaterialov in multifunkcionalnih materialov ter odgovarjajočih tehnologij\*:

- razvoj
- proizvodnja
- testiranje in standardizacija
- optimizacija
- modeliranje in simulacija
- kakovost in zanesljivost
- podatkovne baze
- vplivi, riziki, varstvo okolja
- sposobnost recikliranja
- izobraževanje
- ekonomičnost proizvodnje
- možnosti uporabe\*

\* materiali dobijo čele po ustreznih specifičnih obdelavi ciljnih posebne lastnosti

#### Organiziranost in načela delovanja

Platforma je organizirana po vzoru EuMaT in drugih platform. Pri svojem delovanju sledimo načelu odprtosti in transparentnosti delovanja. Vedno smo odprti za nove udeležence. Morebitne spore in nesporazume rešujemo sporazumno. Tehnološka platforma NaMaT kot virtualna organizacija nima stalnih virov financiranja. Udeleženci družijo skupen interes, povezan z aktivnim razvojem področja naprednih materialov v Sloveniji. <sup>1</sup>lanarine ni.



Organiziranost TP NaMaT

#### Vizija TP NaMaT

NaMaT bo slovenska aktivna in dinamična platforma, vključena v evropsko tehnološko platformo EuMaT. Dosegli bomo kritično maso aktivnih podjetij udeležencev. Načrtovani program raziskav in razvoja bo upoštevan in vključen v razvojne strategije države in drugih pomembnih akterjev. [tevilo skupnih projektov notraj platforme (kot odraz sodelovanja med udeleženci) bo naraslo. Povečali bomo stopnjo uspešnosti udeležencev pri razpisih na državni in EU projekte. Udeleženci NaMaT bodo v svojih panogah postali vodilni v inovativnosti in rasti! Strateška razvojna agenda (SRA) določa glavne razvojne smeri ter glavna srednje- in dolgoročno prednostna raziskovalna področja, da bi tako načeli in rešili glavne izzive.

## Strateške razvojne usmeritve

Razvoj je usmerjen v nove aplikacije, modifikacijo materialov in razvoj novih materialov, s poudarkom na novih funkcijah, zanesljivosti in kvaliteti, nizki ceni, hitrejši proizvodnji, možnosti prilagajanja lastnosti, prihranku virov in energije, inovativni hibridni proizvodnji ter managementu doživljenskega cikla. Strategija TP NaMaT:

- postaviti skupne cilje in akcijski plan za doseganje teh,
- vključiti nosilce odločitev,
- sodelovati pri izboru prioritet za RTR,
- poiskati odgovor na dolgoročne izzive,
- sodelovati pri tvorbi evropske TP,
- promovirati na mednarodnem prizorišču,
- spodbujati inovacijski proces,
- zasledovati učinkovitost izvajanja.



## Prioritetna RTR področja

Ena najpomembnejših nalog TP NaMaT je opredelitev najpomembnejših raziskovalno-razvojnih usmeritev na našem tehnološkem področju. Te usmeritve naj bi pokazale, katera so prioriteta raziskovalno-razvojna področja oziroma tematike, ki zanimajo gospodarstvo. Opredelili smo štiri vsebinska (fokusna) področja:

- 1) Polimeri (razen elastomerov)
- 2) Elastomeri
- 3) Premazi in lepila
- 4) Kovinski in keramični materiali

Napredni inženirski materiali z visoko vsebnostjo znanja, ki zagotavljajo povsem nove funkcionalnosti izdelkov in nove izboljšane lastnosti, bodo gonilo inovacij in tehnologij, naprav in sistemov, in izboljšali sonaravni razvoj in konkurenčnost. Njihova aplikacija ima ogromen učinek na družbo, zato bo potrebno vzpostaviti novo raziskovalno kulturo. RTD aktivnosti bodo visoko rizične, inter- in multidisciplinarne, z velikimi potencialnimi koristmi glede prihrankov na virih, vložnem delu, energiji, kakor tudi pri vplivih na zdravje, varnost in okolje. Resničen preboj je mogoč le z novimi materiali, procesi in pristopi (npr. uporaba obnovljivih virov), ki bodo zagotovili tudi nove funkcionalne uporabe in potrebe. Da bi zagotovili dovolj trden položaj v nastajajočih novih tehnoloških trgih, je potrebno mobilizirati vse akterje v multidisciplinarno RTD partnerstvo v visoko rizičen razvoj na najpomembnejših vodilnih tehnoloških trendih.

Na strateških bistvenih razvojnih področjih ena družba ne more investirati sama, potrebno je izkoristiti javno partnerstvo (PPP), ki edino zagotavlja kritično maso virov in zmogljivost uresničevati cilje vizije. Pri tem je vključenih več industrijskih sektorjev, kjer je razvoj izdelkov usodno odvisen od materialov (elektronika, energija, transport, medicina itd.).

Material	Panoga	Transport, strojegradnja	µH elektronika, fotovoltaika	Bivanje, gradnja	Energija, eko	Bio-, medicina
HT polimeri (nano)kompoziti	Visokotemperaturni Ultra specifična trdnost Radiacijska zaščita	Senzorji Aktuatorji Stranski podatkov OLED	Ultrazvok Kompoziti Pametni tekstili	Vetni / morski gen. Fotovoltaika Membrane H celice	Doziranje zdravil Tlaka	
Elastomeri	Ultraelasti Nanokompoziti		Mehki materiali		Implantati	
Površinski gradientni materiali	Gradientni m. (FGM) Termalna bariera Korozijska zaščita	Magnetni filmi Nanotransistorji	Izotermni materiali	Fotovoltaika	Nanofluidi Veziva živ	
Biopolimeri - les	Biokompoziti Biopremazi	Biorimetika Molekularni motorji Molekularni tranzistorji	Biokompoziti Geli	Bioenergija	Barierne konzervne embalaže Implantati Biosenzorji	
Keramika, kovine, multimateriali	Hibridi Ultra jekla Nano orodja	Aktuatorji Ga (AIN) Kvazikristali		Oksi-katalizatorji	FGM implantati	

*POKRIVANJE razvojnih tem gospodarstva in institutov bomo bistveno povečali.*

## NAPREDNI MATERIALI - prioritete

### Nano / bio skupina

#### 1. Nanostrukturirani materiali

- nanokompoziti, metali/steklo, montmorilonit
- polprevodniki (Si, Ge, GeAs, CdS, ZnS), metaloksidni (MOS), supramolekule
- katalizatorji (Rh, silica, NiO, Pt/ZrO<sub>2</sub>...), dendrimeri, kromofori
- feromagnetni (Nd z Fe<sub>1-x</sub>B, FeNiCo, FePt), magnetoresistentni materiali (LaMnO<sub>3</sub>), ferofluoidi, superparamagnetni
- fulereni, nanocevke, superprevodniki, nanožičke, FET
- nanozlitine (AlYNiFe, FeBSi, Nb<sub>2</sub>Sn), nanokristali (Au, organski), fotonski kristali
- multisloji (TiN/NbN), laserji NdYAG, samogradni - SAM, Si-luminiscenca, zeoliti
- nanoporozne strukture
- superfluidi, ferofluidi, koloidi, nanogeli
- polikristalinični intermetali
- titan aluminidi
- nanoporozna keramika in kovine

#### 2. Biomateriali

- biomimetični materiali
- bio - nanomateriali
- bionični in terapijski fluidi
- bioaktivni in biokompatibilni materiali
- biorazgradni in obnovljivi materiali

### Kompoziti / keramika / polimeri

#### 3. Kompozitni materiali, polimeri

- kompoziti - polimerni, CMC, MMC
- materiali, ojačani s keramičnimi ali metalnimi delci, whiskersi, mrežni, kot Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al
- TiO<sub>2</sub>/Al zlitine
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MexAiy (intermetalne spojine)
- MMC (Ti+SiC), (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), MMC iz Al in Mg, MMC samopopravni (aluminij, titan in jeklo), nanoojačani MMC, nano MMC, Ti-TiC, Ti-TiB, Ni-TiC, Al-TiC, Al-TiB<sub>2</sub>
- materiali na bazi Al (Al+SiC, TiB<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ali Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- keramične prevleke
- B/Al kompoziti
- pene (polimerni, kovinske), sendviči
- lepila, aerobna in anaerobna
- inteligentni materiali
- CMC - interfazni
- lahke zlitine Al, Mg, Ti, kompoziti HSS, inženirski polimeri
- materiali za direktno oblikovanje
- ultratrdni, korozijsko odporni materiali
- samopasivirni materiali
- radiacijsko stabilni materiali

#### 4. Visokotemperaturni materiali

- materiali za zahtevna kemijska okolja
- samopasivirni materiali
- martenzitne transformacije
- biokompatibilni materiali
- y-Ti-Al
- mikrolaminati iz dveh faz, y in α<sub>2</sub>-Ti<sub>3</sub>Al
- intermetali: Fe, Ti, Ni aluminidi
- Nb<sub>2</sub>Al
- NiTi, Cu-A<sub>1</sub>-Ni, Cu-Zn-Sn
- magnetni in superprevodni (Fe-Al, Nb-Al, Heuser zlitine)
- intermetali z visokim tališčem (NiAl 1663°C, TiAl 1440°C,

Nb<sub>2</sub>Al 2060°C)

#### 5. Materiali za mikroelektroniko

- materiali za vgrajene senzorje, zapis podatkov, monitoring na liniji
- termoelektrični ali termoelektrni materiali
- optoelektronski materiali

### Gradientni / aktivni materiali

#### 6. Multifunkcionalni materiali (KMM)

- intermetali
- kovinsko - keramični materiali v kemijskem okolju
- multi (hibridni) materiali
- napredni materiali s konvencionalnimi intermetalnimi MMC
- CMC
- zlitine z oblikovnim spominom (Ni-Ti, CuAl-Ni, Cu-Zn-Sn)
- materiali s psevdoelastičnim učinkom
- kriogeni materiali
- katalitski materiali

#### 7. Gradientni materiali (FGM)

- titan, do hidroksiapatita
- porozni materiali
- bioaktivni FGM
- kovinsko - biokeramični FGM premazi
- intermetali z oblikovnim spominom
- tridimenzionalni FGM
- polimerni biokeramični materiali
- funkcionalni gradientni materiali in samozalazni premazi za kritična okolja
- visokotemperaturni materiali (premazi s termičnimi barierami, nanopremazi, keramični tanki filmi)
- katalitski in fotokatalitski materiali
- okolju prijazni premazi brez Cd, Cr, Pb
- absorbenti in izolacije za zvok, dušenje vibracij, udarcev
- keramičen / kovinski voluminozni FGM, tanke prevleke
- Ti zlitine z naraščajočo gostoto ali poroznostjo
- orodna jekla s C, V, Cr gradienti, superzlitine jekla in niklja za keramiko - oksidi, karbidi z gradientnimi delci
- funkcionalno stopnjevani cementni karbidi: Ti površine, keramični sloji
- feritno - austenitna kombinacija 316L in 17-4PH, jeklo-keramika
- žlahtne kovine Pt, Ag kot katalizatorji in oksidi kot SnO<sub>2</sub> z gradientno nanoporoznostjo za senzorje

### Hibridni materiali

#### 8. Hibridni materiali

- multimaterialni (hibridni) sistemi: kovina - plastika, keramika-kovina, kompoziti, Al - jeklo, kovina - guma, plastika - TPE, plastika - kovina - TPE

### Premazi, prevleke

#### 9. Premazi, prevleke

- nanostrukturirani premazi
- materiali za obrabne aplikacije
- tankoslojne prevleke PVD, CVD (TL)
- mikrostrukturirani, multifunkcionalni, samozalazni, tribološki premazi
- premazi brez Cd, Cr, Pb
- protizmrazovalni premazi

Prioritetni so tudi postopki, vezani na napredne materiale, od modeliranja in razvoja preko proizvodnih tehnologij in recikliranja do karakterizacije.

## Evropske prioritete v 7. okvirnem programu

[e nikoli se niso prognoze o evropski gospodarski prihodnosti tako razlikovale kot sedaj. Managerji in ekonomisti napovedujejo mra-no prihodnost, npr. 40 % padec zaposlovanja tudi v industriji plastike v 10-ih letih. Razvojniki pa nasprotno ravno na podro-ju novih (najpogosteje inteligentnih in polimernih) materialov vidijo najve-je mo`nosti Evrope in napovedujejo njen preboj. To dokazujejo tudi prioritetni razvojni programi, za katere so se zedinile evropske institucije znanja in razvojno najintenzivnejše firme v okviru tehnološke platforme EuMaT. V povzetku programov posku{amo pokazati na ogromne mo`nosti Evrope in nas, -e bomo delali pametno.

### 1. Eko - energija

Emisija CO<sub>2</sub> se mora do leta 2050 zmanjšati za 50 %, t.j. 100 Gt CO<sub>2</sub>, kar pomeni zvi{anje temperature le za 2 °C, za kar je treba:

- **proizvajati ni- - emisijsko** fosilno in obnovljivo energijo (oz. loviti in skladi{iti CO<sub>2</sub>) `e do leta 2020, upo{tevajo- vse energente: biomasa, biogoriva, odpadki, H celice, solarna (termalna in fotovoltai-na), vetrovna, morska ter nuklearna energija,
- **shranjevanje in prenos** energije: H celice, baterije, rezervoarji in cevovodi za H<sub>2</sub> i n CO<sub>2</sub>,
- **manj{a poraba in konzerviranje** energije: eko-hi{e, superizolacije, lahka vozila, recikla`a,
- **razvoj novih materialov**: superizolacije, lahki materiali, ekstremni materiali za reaktorje (trdnost, temperatura, korozija), predvsem kompoziti, "karboni", polimeri in zlitine (Ti, Al, Mg...), ter multifunkcionalni, inteligentni, nano- in hibridni materiali, membrane in premazi/prevleke, katalizatorji za H-celice. EuMaT na-rtuje 500 mio EUR za razvoj energetskih materialov.

### Evropske prioritete v 7. Glavni stebri TP EuMaT: okvirnem programu:

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. zdravje</li> <li>2. hrana</li> <li>3. IKT</li> <li>4. nanomateriali</li> <li>5. energija</li> <li>6. okolje</li> <li>7. transport</li> <li>8. socio-ekonomika</li> <li>9. varnost</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. mnogofunkcionalni materiali</li> <li>2. lahki ekstremni materiali</li> <li>3. hibridni materiali</li> </ol> |
|--|---|



Program je multisektorski, saj posega v energetiko, gradbeni{tvo in transport oz. industrijsko proizvodnjo. Evropa `e zdaj proizvaja 50 % elektrarn na fosilna in biogoriva, vodilna je v vetrovnih in morskih elektrarnah, na vrhu v fotovoltai-ni energiji in v razvoju mnogih materialov. Globalna ponudba eko - energije bo prinesla tudi konkuren-nost in zaposlovanje.

### 2. Transport zahteva lahke in inteligentne materiale

**Brezemisjska in varna** vozila bodo v naslednjih 10-ih letih zahtevala nove materiale:

- **superlahke**, trdne (nano in bio) **kompozite** z absorpcijo energije, vibracij in zvoka za {asijo in karoserijo ter nove tehnike spajanja,
- nanostrukturirane ter inteligentne materiale za **adaptroniko** (senzorji, aktuatorji, procesorji) in nove funkcije,
- lahke, ekstremne, tribološke materiale za motor, pogon, mehatroniko, o`i-enje,
- **multifunkcionalne** hibridne (mnogoslojne, z nanovlakni in povr{insko samo-istilno in baktericidno strukturo) materiale za interier z absorpcijo {okov, zvoka, uravnavanjem temperature, vlage, atmosfere, haptike.

Za razvoj "transportnih" materialov na-rtuje EuMaT 150 mio EUR. Evropa je v svetovnem vrhu pri razvoju materialov kot so biokompoziti, nano- in karbonski kompoziti, tudi visokotemperaturni samopasivirni za temperaturo do 2000 °C, gradientni protistresni in protiobrabni materia-

li, površinsko barvanje brez premazov, samoozdravljivi kompoziti ob povečani obremenitvi, visokotemperaturni tribološki materiali, katalizatorji.

### 3. Nanomateriali (NAM) za (mikro)komponente

Novi elektromagnetne in optične funkcije NAM bodo revolucionarno spremenile medicino, EE/IKT/telekom, transport in energetiko, predvsem z vgradnjo novih funkcij v komponente in mikrosisteme. Primer: potrošnja senzorjev za avtoindustrijo v ZDA znaša 4,5 Md\$ in raste z 10,7 % letno. Za NAM v mikrosistemih EuMaT načrtuje 150 mio EUR. Prioritetna področja so:

- **modeliranje** in orodja za konstruiranje s povsem novimi zakonitostmi nanodelcev in vgradnih matrik,
- **proizvodnja** nanodelcev, tudi lupina/jedro, i-k, cevki, "mnogoslojev", inteligentnih materialov in materialov s spominom, (pol)prevodnih ali svetlelih polimerov oz. nanokristalov, samopasivirnih, samosestavnih, piezo/magnetostriktivnih materialov, membran,
- **vgradnja** NAM v mikrokomponente, predvsem v adaptroniko: senzor/aktuator/procesor, z nizkim energijskim virom in komunikacijsko sposobnostjo; tudi visoko temperaturno, kemijsko in vibracijsko odpornih. V industriji je prioriteta **robotika**, v medicini **mikrofluidika** (MFS), t.j. mikrolaboratoriji za biocelice z magnetnimi ali svetlelimi nanodelci za sledenje reakcijam.

**4. Mnogopasovno modeliranje materialov** z integriranim vseevropskim in z aplikacijami vzpodbujenim (top down) inovativnim pristopom bo pomenilo možnost predvideti in krojiti optimalne materiale glede na zahtevane potrebe in na njih fokusirati raziskave. Doslej je uveljavljen obratni direktni princip - raziskave, nato aplikacije glede na ugotovljene lastnosti. Predvidevanje lastnosti je nuja zaradi enormno povečanega spektra multimaterialov z interakcijami na nanonivoju.

Raunalniška orodja za modeliranje in simulacijo ter knjižnice podatkov bodo nastajali hkrati s ciljnim eksperimenti. Tako bo tudi strategija "management odpadkov" zamenjana z "zelenorogenimi" materiali. Posebej neraziskani so intermetali, MC kompoziti, funkcionalni gradientni (FGM), termoelektriki, feroelektriki, optično nelinearni in materiali visoke energijske gostote, pomembni za energetiko, transport, EE, biomedicino, kemijo... Za razvoj modeliranja je načrtovano 150 mio EUR.

**5. Multifunkcionalni materiali** (KMM, na znanju temelje-i), npr. intermetali, MC nanokompoziti, FGM, bodo bistveno posegli v biomedicino, transport, kemijo.

- **Intermetali** so kompromis med kovinami in keramiko. Aluminidi Ti, Ni, Fe imajo visoko trdnost in korozijsko obstojnost tudi na sulfidacijo (še pri 900 °C. FePd, FePt in NiMaGa imajo magnetni oblikovni spomin (MSMA), Nb<sub>3</sub>Al in Nb<sub>3</sub>Sn sta superprevodnika. Krhkost pri njih temperaturah presežemo s -istostjo komponent in lamelarno strukturo. Intelligentni SMA (shape memory alloys, NiTi, Cu in Fe zlitine) so pomembni v medicini in za samopopravljive komponente. Uporabni so tudi kot matrike za kompozite in za visokotemperaturne prevleke kovin.

- **Metalkeramični kompoziti** MCC z novimi elektromagnetnimi in termičnimi lastnostmi ter nano/laminatne strukture zahtevajo iste komponente, predvsem pa pocenitev proizvodnje, npr. v plinski fazi. Stabilnost do 1500 °C, možnost vgradnje C nanocev, izdelave premaznih emajlov, visokotlačno litje izdelkov s skoraj konno obliko in uporabnost za medicino, H celice in reaktorje bo porabo močno povečalo. Poleg cene je problem nizka duktilnost, teška obdelava in premalo podatkov. Poraba se je z 37 mio \$ v 10 letih povečala na 103 mio evrov (leta.1999), 62 % za transport, 26 % za termično uporabo in 6 % za aeronavtiko.

- **Funkcionalni gradientni materiali** (FGM), npr. BioFGM in piezoelektriki

FGM so najpomembnejši v medicini, in sicer kot nadomestno tkivo ter kot mnogoslojni aktuatorji, senzori in polprevodniki. Potrebno je razviti univerzalni BioFGM za vsa tkiva in piezokeramiko brez Pb (npr. SnZn ali perovskit na osnovi Bi-Ni-Ti-Ta). Polprevodniki na osnovi p- in n- dopiranih oksidov v disperzijah so "barva" za tiskano elektroniko. Tiskani polprevodni sloji (-ipi) so lahko zelo vzdržljivi - keramični ali poceni - polimerni, npr. za RFID. Radiofrekvenčna identifikacija je eden največjih bodočih trgov, predvideva se cena pod 5 centov/izdelek. "Multilayerji" so razen za polprevodnike najpomembnejši za aktuatorje in senzorje, npr. za uravnavanje temperature, pritiska in doziranje zdravil v telesu. Kontrola gibanja, piezomotorji in piezoinjektorji omogočajo gibanje komponent s frekvenco do 100 kHz in s točnostjo pod 1  $\mu$ . Poleg medicine in transporta je uporaba v tekstilu, tiskarstvu, mikrotehnologijah... Polimerni multilayerji so pomembni za magnetostruktivne in materiale s spominom. Keramika s kontinuirno spreminjajočo se sestavo ali z nehomogenim elektromagnetnim poljem kaže nehomogeno piezoelektricitetno; nad-

vse primerna je za **upogibne aktuatorje**.

Evropa je vodilna v aktuatorjih, preko 100-procentna rast se nadaljuje in odpira več tisoč delovnih mest, proizvede tudi 70 % svetovnih tiskarn in ima izrazito prednost pri tiskani elektroniki, uspeh bo enak. BioFGM imajo nesluten trg; samo osteoporoza Evropo stane 31,7 Md evrov, implantati bodo imeli enormni vpliv na ekonomijo in družbo. Za razvoj FGM EuMat načrtuje 450 mio EUR.

### Nastajanje razvojnih prioritet tudi v TP NaMaT

V NaMaT smo v zadnjem času dopolnjevali strategijo razvojni program in izlučili prve potencialne razvojne projekte, s katerimi se bomo poskušali vključiti v največje vseevropske projekte, npr. v okviru 7. okvirnega programa. Pri tem smo vključili bodoče potrebe ostalih tehničnih platform. Tako je vsaka od obstoječih tem "medplatformska", obenem vključena v prioritete programe EuMaT (tabela), ima pa dovolj razvojnega potenciala in interesa pri naših firmah in institucijah znanja.

Tema	Prioriteta po EuMaT	Sodelovanje s platformo
Vakuumska izolacija za pasivne hiše	1. Eko-energija	TP Gradbeništvo, Manufature, Grozd KGH
Membrane za separacijo plinov in čiščenje vod		TP Ekologija
Katalitska oksidacija VOC		TP Manufature, Voda, Grozd KGH
Alternativna energija in diesel gorivo iz odpadkov		TP Voda, Les
Nanoporozni materiali		TP Vode
Materiali za H celice	TP Vodik	
Polimeri in biokompoziti na lesni osnovi	2. Transport	TP Les, Manufature
Nanotriboški materiali		TP Manufature, Vozila
Ultralahke kompozitne konstrukcije		TP Gradbeništvo, Vozila
Samočistilni katalitski premazi in prevleke		TP Vozila, Manufature, Tekstilna
Nanokompozitni elastomeri		TP Gradbeništvo, Vozila
Temperiranje orodij s Petier efektom	3. Nano za mikrokomponente	TP Manufature, Vozila
Barierni in aktivni materiali za inteligentno embalažo		TP Hrana in zdravje
Keramični, kovinski in polimerni tanki sloji		TP Manufature, Fotonika, Vgrajeni sistemi
Nanokompoziti za transp. in netransp. balistično zašč.		TP Vozila
Keramični in polimerni magnetni materiali		TP Vgrajeni sistemi, Vozila, Fotonika
Inteligentni polimeri	Vgrajeni sistemi, Manufature	
Matematični modeli za kompozite	4. Modeliranje	TP Manufature, Gradbeništvo, Vozila
Software za modeliranje in simulacije		TP Manufature, Programska oprema, Vozila
Keramika za orodjarstvo	5. Multifunk. mat	TP Manufature, Vgrajeni si., Vozila



# Napredni materiali

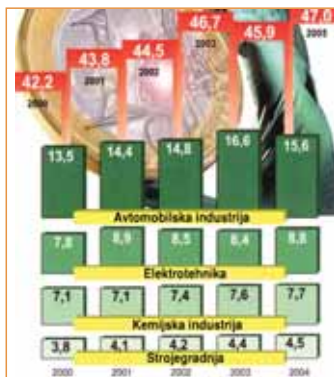
Evropske tehnološke platforme (TP) bodo poslej usmerjale prioritete smeri razvoja. Napredni materiali, vključno tudi večinoma skupin polimerov, pokriva platforma EuMaT. Pridružil se ji je tudi naša TP NaMaT. Navajamo skupine materialov, ki jih je kot napredne določila EuMaT. O nekaterih med njimi, ki so za naš pomembni in jih manj poznamo, podajamo v nadaljevanju nekaj podatkov in primerov uporabe.

## Nanostrukturirani materiali

### Uporaba nanotehnologij se bo strmo večala

Kljub še vedno majhni komercializaciji nanotehnologij napovedujejo samo za avtomobilsko industrijo v petih letih prihranke v milijardah EUR zaradi pocenitev za nanotehnologijami.

**Vlaganja v RR** so predpogoj za razvoj novih materialov, zato se ti najhitreje uporabijo v sektorjih za največje vlaganje. V Evropi je to avtoindustrija, v Ameriki IT, na drugem mestu je povsod bio-far-



Slika 1: Vlaganja v RR v md EUR (skupaj avtomobilsko, elektro, kemijska in strojna industrija)

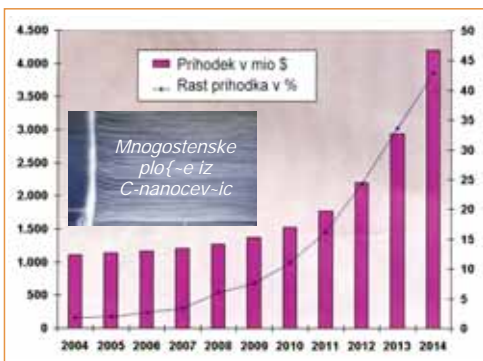


Slika 3: Dobro poznana uporaba nanotehnologije: Lotus efekt, ki skrbi za čisto površino (BASF)

macija ter na tretjem mestu tehnologije. Kljub recesiji je nemogoče gospodarstvo zadnjih deset let podvojilo vlaganje v razvoj na 47 mrd EUR, od tega kar tretino v avtomobilsko industrijo, petino v elektroindustrijo in skoraj enako v kemijsko industrijo.

Prvi na svetu po vlaganjih v RR je Daimler C. s 5,6 mrd EUR (7. O.P razpodela s 5 mrd EUR), pri IT pa je na vrhu Nokia s 3,8 mrd EUR. Preko 5 mrd vlagajo še Pfizer, Ford, Toyota in Siemens. ZDA in Japonci, ki vlagajo preko 3 % BDP, dosegajo le Skandinavci. Vendar pa vlaganja rastejo (slika 1).

Uporaba nanomaterialov v avtomobilski industriji bo po analizah vse hitreje naraščala, do 45 % letne rasti v 10-ih letih. Samo z laki, katalizatorji in gorivni-



Slika 2: Svetovni trg uporabe nanotehnologije v avtomobilih

### Napredni materiali po EuMaT

- 1. Nanostrukturirani materiali**
- 2. Kompoziti, lahki materiali**
  - Napredni polimeri
  - Kompoziti
  - Lahke kovine
- 3. Multimateriali**
- 4. FGM - funkcionalni gradientni materiali**
- 5. Premazi, prevleke**
  - Tankostenske prevleke
  - Lepila
- 6. Visokotemperaturni materiali**
  - Keramika
  - Intermetalne zlitine
- 7. Ultratrdni korozijsko odporni materiali**
  - Samopasivirni materiali
  - Radiacijsko stabilni materiali
  - Katalitski materiali
  - Kriogeni materiali
- 8. Biomateriali**
  - Biomimetični materiali
- 9. Materiali za mikroelektroniko**

mi celicami naj bi bil letni prihranek preko 1 mrd EUR. Nanostrukturirani polimeri, kompoziti, Al in Mg bodo omogoili preko 25 % zmanjšano težo, kar bo omogoilo prihranek 6,5 mrd EUR letno. V 10-ih letih se bo poraba preko 4-krat povečala (slika 2).

**Nanostrukturirani polimeri** se uveljavljajo najhitreje za spreminjanje površinskih lastnosti, za bioanalitiške sisteme, nova tekstilna vlakna in inteligentne materiale. Dosegamo lahko povsem nove mehanske, fizikalne in kemijske lastnosti površin. Pri inteligentnih materialih lahko z zunanjimi vplivi, kot so temperatura, pritisk, električno polje, itd., kontrolirano spreminjamo lastnosti, za kar so polimeri posebej primerni, ker lahko z njimi dosegamo poljubne strukture v nanopreciznosti, hkrati pa lahko uporabimo manj trajne obutljive strukture, saj se polimeri pogosto uporabljajo le enkrat ali kratkotrajno, npr. v embalaži, medicini (slika 3). Nanostrukture dosegamo tudi v kompozitnih materialih, kjer je ena od komponent, npr. vlakna, v nanodimenzijah.

Polimerne nanodelce lahko pripravljamo iz velikih organskih molekul ali iz organskih sestavin, pomembni so  $\pi$  valenčni elektroni in hibridne izmenične enojne in dvojne vezi, npr. v butadienu, benzenovem obroču in kondenziranih obročih tipa naftalen kakor tudi trojne vezi tipa acetilen (slika 3a).

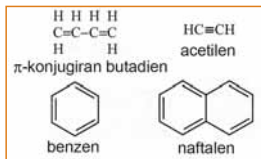
Polimeri so velike molekule, sestavljene iz ponavljajočih se monomerov, npr. 1000 do 10000, tipična molekularna masa polimerov je  $10^4$  do  $10^7$  Da (Dalton = g/mol). Zaradi tetraedrične razporeditve tirihih vezi C je tudi v linearnih polimerih kot med vezmi  $109^\circ$ . Na C verigi so vezani večinoma H atomi in radikali, npr. kislinski, vinilni.

**Nanokristale** velikih organskih molekul lahko proizvajamo z dodajanjem raztopine v vodo ob intenzivnem mešanju, npr. z ultrazvokom. Tako dispergirani klastri poasi rastejo do nanokristalov, ki razsipajo svetlobo. Rast je višja pri višjih temperaturah. Enojni kristali  $\pi$  konjugiranih spojin imajo nelinearne optične lastnosti, vidno svetlobo lahko konvertirajo v višjeenergetsko UV svetlobo z ultrahitrim odzivom. Močno električno polje povzroči dvojni odboj. Lahko jih uporabljamo za optična stikala on/off. Kristali s konjugirano dvojno vezjo, npr. perilen, piren in antracen, izkazujejo ekscitone, katerih gibanje je omejeno z velikostjo kristala in povzroajo luminiscenco kot pri polprevodnikih (slika 3b).

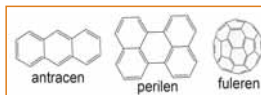
**Polimerizacija nanokompozitov** omogoči vgradnjo PA, PET, PS itd. z radikalno polimerizacijo med sloje gline, npr. montmorilonita. Uporaba polnil in vlaken za izboljšanje polimerov ima zaradi razlike dimenzij omejen uinek: mikropolnila - nanopolimeri, tako za filme in vlakna taki kompoziti niso primerni.

Razpršeni nanodelci slojevite Si kisline ali gline poveajo togost, trdnost, bariere, kemijsko obstojnost in obstojnost na nabrekanje v toplih. Uinek je večji pri montmorilonitu, naravni glini, ki ima oktaedrske komplekse Na med sloji silikatnega tetraedra. Možnost razklopa slojev dajejo defekti, ki se lokalizirajo v vmesnem oktaedrskem sloju in dajo negativen naboj, ki se uravnateji z zamenljivimi kationi ( $\text{Na}^+$ ), ki se zlahka zamenjajo z organofilnimi molekulami.

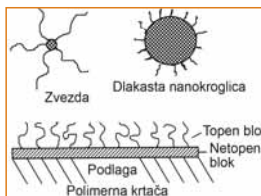
Za uvajanje polimerov so v rabi trije postopki: dodajanje monomera, dodajanje raztopin in dodajanje talin. Monomer veemo na organofilno molekulo, s katero smo zamenjali Na ion, nakar



Slika 3a: Primeri organskih molekul



Slika 3b: Nanokristale dimenzij cca. 100 nm proizvajajo iz antracena, perilena, fulerena, polidiacetilena



Slika 3c: Blokopolimeri v nanostrukturah

injiciramo radikalno polimerizacijo. Za raztopinski postopek suspendiramo glino in polimer v topilo,  $\text{Na}^+$  zamenjamo z amonijevim ionom z 10-12 C atomi. Ve- C atomov bi povzročilo, da je organofilna glina preve- hidrofobna. Homogeni kompozit dobimo z izparevanjem topila. Postopek se uporablja za PP in polietilen oksid. Za talinski postopek so uporabni PET, PS, PO ... Po zamenjavi iona v glini mešanico gline in polimera stalimo.

**Polidiacetilen** ima konjugirane enojne, dvojne in trojne vezi in rekristalizira v perfekte kristale, pri katerih sega vsaka veriga od za-etka do konca kristala. Kristali v trdni obliki kakor tudi v raztopini se ka`ejo v ble{-e-ih barvah: rde-i, rumeni, zeleni, modri in zlati. Zaradi nelinearne optike in od dimenzije odvisnih kvantnih ekscitonskih efektov (polprevodniki) so v razvoju mnogovrstne pomembne uporabe.

**Prevodni polimeri**, imenujemo jih tudi organske kovine, imajo kovinam podobno prevodnost, poliacetilen je v galvanski vrsti poleg srebra. Prevodne polimere dajejo tudi anilin ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) in dva pet-lenska obro-a z N in S, to sta pirol in tiofen. Vse te molekule imajo  $\pi$  konjugirane dvojne vezi in prevodne elektrone, oblak elektronov (polaroni) skupaj s fononi omogo-a lastno prevodnost. Prevodni polimeri imajo tipi-no nanostrukturo in se znotraj kristalov obna{ajo kot kovinski nanodelci z mehaznimom prevajanja kot pri kovinah, med delci pa je amorfni sloj s prevajanjem s prebojem elektronov. Nanostrukturo 10 nm je la`je pripraviti iz polimerov kot iz kovin. Materiali menjajo barvo z elektri-no napetostjo ali s kemikalijami, so elektrokromni in kemokromni in idealni za LED diode. Mo`nosti uporabe so {e tiskana vezja, korozijska za{-ita kovin, antistati-ni premazi elektronike, polimerne baterije, EM za{-ita, itd.

**Blockopolimeri** imajo makromolekule iz ve- polimerov, vsak je zdru`en v dalj{e sekvence - bloke. Pomembni so diblockopolimeri, ki imajo dva razli-na monomerna bloka, zdru`ena z vmesno prehodno sekcijo, npr. poliacetilen - prehodna sekcija -

polistiren. Kot prehodna sekcija je npr.  $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O}_2)-$ . V ugodnih pogojih, npr. -e je ena komponenta vodotopna, druga pa ne, nastajajo pomembne nanostrukture s samogradnjo, npr. nanokroglice, zvezde, krta-e (slika 3c). Zvezde se uporabljajo npr. za pove-anje trdnosti talin, nanokroglice za odstranjevanje organskih spojin iz vode, krta-ke uporabljajo za dispergiranje lateksa in pigmenta v barvah. Vse te strukture pa za katalizatorje, elektronske naprave, -i{-enje vode, za strukturirane nanopovr{ine, biomedicino, itd.

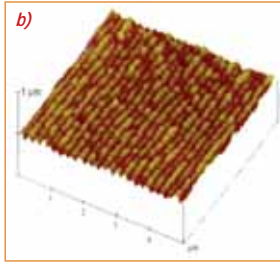
Blockopolimeri kot kompatibilizatorji omogo-ajo vme{avanje kopolimerov v epoksidne smole oz. kompozite. Nanostruktura kopolimera (Nanostrength) omogo-a me{anje zelo razli-no polarnih polimerov, gre pa za SBM (stiren-butadien-metilmetakrilat) in MBA (metil-metakrilat-butil-akrilat) in omogo-a tudi gradnjo duroplasti-nih nanokompozitov.

Uporaba nanodelcev kot **aditivov** za kompozite in premaze omogo-a bistveno pove-anje trdnosti in obrabnosti, nujne pa so predhodne raziskave vplivov na zdravje in okolje.

S procesom brizgalnega stiskanja PC, ki se uporablja za proizvodnjo CD, dose-gajo strukture dimenzij 30 nm, kar je 10-krat manj kot pri DVD. Proces se `e upo-rablja v mikrooptiki. Matrice so iz silicija, vgravirane z elektronsko litografijo.

**Nanocepljenje** (grafting) je nov proces oblikovanja polimernih nanostruktur. Podlago, npr. ETFE, omo-imo v monomer, npr. PS, in z ionizirajo-imi rentgenskimi ali elektronskimi `arki v pramenih nanodimenzij (interferen-na litografija) proizvedemo radikale na podlagi, na njih pa se izvr{i polimerizacija, pri -emer dobi-mo rebra v nanodimenzijah. Nanesemo lahko tudi biopolimere, bodisi za analitiko ali pa za uporabo kot tkiva (slika 4b).

**Nanostrukturirana vlakna** dobijo tako, da vlakna vtisnemo z nanostrukturiranimi valji. Tako se dose-gajo bistvene nove lastnosti, npr. barve, otip, prijem umazani-je in trdnost kompozitov s temi vlakni (slika 4a). Vlakna so lahko tudi sama v



Slika 4: a) "Nanoteks" vlakna odbijajo vlagu in se ne ma'ejo, b) struktura s cepljenjem polimera na podlago, c) nanostrukturirana biblija po tehnologiji CD



Slika 5: Zra-ni filter iz sintetskih nanovlaken dol ine 200 µ, i ki 7-krat pove-ajo lo-ljivost - na 2 %.

nanodimezijah, npr. za 7-krat izboljšano učinkovitost filtrov (slika 5).

Potrebujemo več izdelanih modelov za vpliv velikosti na kombinirane mehanske, optične, električne in magnetne lastnosti. Ti modeli bodo predstavljali orodje za določanje kritičnih dimenzij in prenosnih dimenzij na lastnosti. Za razširjanje uporabe nanostrukturiranih materialov v industrijo v srednjeročnem obdobju bo težje na izdelkih, v katerih majhne količine nanostrukturiranih materialov hitro spreminjajo njihove lastnosti. Ti izdelki vsebujejo miniaturizirane komponente, nanotanke, nanomembrane, za variiranje mehanskih elektronskih sistemov. Nanostrukturirani tanki filmi spreminjajo trg izdelkov, od premazov in barv do katalitskih osnov in bioaktivnih površin. V razvoju je potrebnega tako na sovlivih nanostrukturiranih površin na okolje in nanostrukturiranih delcih, ki lahko menjajo lastnosti tako tekočih kot trdnih materialov.

## Nanokompoziti

Kljub velikim aktivnostim je zaradi še vedno visokih stroškov, dolgega razvoja in nerazjasnjene varnosti trg nanokompozitov še majhen in znaša 11.100 ton oz. 90,8 mio \$ pri 18,4 % rasti, ki se bo še

celo povečevala. Da bi dobile prednost, razvoj mnoge firme skrivajo. Poglejmo nekaj primerov uporabe. Hybrid Plastics proizvaja masterbatche z nanododatkom (POSS - polyhedralni oligomerni silsesquioxani). Gre za Si/O strukturo z organskimi skupinami na vogalih, ki materialom močno poveča ognjeodpornost, barierne lastnosti in težavost.

Firma Cyclics proizvaja kompaund CBT z organsko glino, podobno tudi Dow, GE in Basell.

Süd Chemie proizvaja PP/PS blende z visokimi odpornostmi in majhnimi skrbmi z nanoglino kot kompatibilizatorjem. Za elektroniko za avionsko industrijo proizvajajo prevodne plošče z nanocevicami kot polprevodnikom in PI kot matriko.

## Polimerni nanokompoziti (PNC)

Z nanodelci ojačani plastični materiali, izpolnjujejo vse večje tehnološke, ekonomske in komercialne interese. V primerjavi s čistimi polimeri ali kompoziti s klasičnimi polnili imajo namreč bistvene prednosti. Eksperti napovedujejo 100 % letno rast, kar pomeni v letu 2009 vrednost približno 1500 milijonov EUR.

Prednosti polimernih nanokompozitov (v primerjavi s čistimi polimeri ali s kompoziti s klasičnimi polnili v mikrodimezijah):

- mehanske lastnosti, kot je togost brez izgube težavosti,
- mehanske površinske lastnosti, kot so trdota, obraba in odpornost na praske,
- dimenzijska stabilnost in toplotna oblikovna obstojnost,

- termična stabilnost, ognjeodpornost,
- električna prevodnost,
- kemijska odpornost,
- barijerne lastnosti.

### Ploščice iz nanocev-ic

Ogljikove nanocev-ice se odlikujejo predvsem po izjemni trdnosti in bodo omogočile izgradnjo ultratrdnih kompozitov, saj so glede na težo 490-krat trdnjeje od jekla. Pri tem je cena v desetih letih, odkar so jih sintetizirali iz helija in ogljika, padla iz 2 mio \$/g na 100 \$/g, torej za faktor 20.000. Kompozit s cev-icami je primeren za vodikove rezervoarje za gorivne celice. Na univerzi UTD v Dallasu so razvili postopek kontinuirne proizvodnje ploščic iz nanocev-ic z mnogoslojno tehnologijo MWNT. Pri postopku lovijo cev-ice na vodni filter in nastalo ploščico odcepljajo do hitrosti 7 m/min. Postopek za izdelavo niti je podoben predenju z vodnim filtriranjem. Ve-slojne ploščice iz cev-ic (MWNT) uporabljajo za polimerne LED diode, kot umetne mišice, za kompozite, superkondenzatorje, baterije, gorivne celice, displeje, za ogrevanje cevi v elektroniki, kot emitorji elektronov ali x-žarkov, kot mobilni absorbenti mikrovalov za varjenje plastike, itd. Cev-ice namreč ne absorbirajo mikrovalove in lahko služijo kot vmesni sloj, prilepljen na debelih PMMA prozornih ploščicah.

### Organofilni ve-slojni silikati

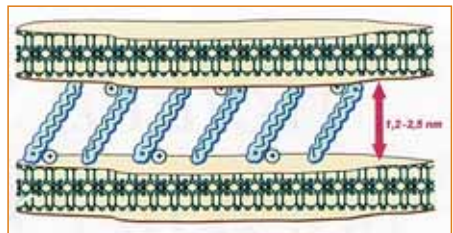
Glinasti minerali (smektiti) so trislojni silikati, kjer oktaedrične  $Al_2O_3$ - oz.  $MgO$ -vmesne sloje obdajajo tetraedrični  $SiO_2$ -sloji. Na sliki 1 je prikazan montmorilonit, ki je glavna komponenta industrijskega minerala bentonita. Ker je v vmesnem sloju  $Al^{3+}$  delno nadomečen z  $Mg^{2+}$ , ki ima nižjo valenco, imajo takšni trislojni samostojni minerali anionski naboj, ki se kompenzira z vgradnjo kationov med sloje. Pri bentonitu je takšen kation npr.  $Na^{3+}$  ali pa  $Ca^{2+}$ . Za industrijsko uporabo nanokompozitnih polnil je potrebno bentonite pripraviti, npr. z odstranjevanjem

silikatnih plasti ter z zamenjavo  $Ca^{2+}$  z  $Na^{+}$ . S tem zmanjšamo obrabo predelovalnih strojev.

V skupini smektitov so industrijsko pomembni hektoriti. Za razliko od talka na osnovi magnezijevega silikata z nenabitimi tremi sloji, so pri hektoritih  $Mg^{2+}$  izomorfni ioni nadomečeni z  $Li^{+}$ , kar predstavlja anionski naboj in zato nalaganje  $Na^{+}$  med sloje. Za razliko od bentonitov, ki imajo zelen do rjav odtенок, so hektoriti brezbarvni in imajo s približno 350  $m^2/g$  nekaj desetkrat višjo specifično površino.

Odločilno za uporabo ve-slojnih silikatov kot nanokompozitnih polnil je hidrofobiranje in povečanje razdalje med sloji. To dosežemo z zamenjavo kationov v vmesnih slojih. Pri v vodi nabreklih ve-slojnih silikatih se  $Na^{+}$  ioni zamenjajo z organskimi kationi, npr. alkilamonijevimi ioni. Npr. pri montmorilonitu (slika 5a) se razdalja med sloji poveča od 0,98 na 1,2 do 2,5 nm, odvisno od dolžine alkilne verige. Dobljen organofilni ve-slojni silikat ni vodotopen in postane z določeno izbiro organskih amonijevih ionov združljiv s plasti. Tipične alkilamonijeve spojine so npr. dimetildistearilamonijevklorid in dimetilsteartilbenzilamonijevklorid.

Posebna značilnost organofilnih ve-slojnih silikatov je sposobnost nalaganja makromolekul med sloje pri predelavi in delovanju strižnih sil. Pri tem se razdalja med sloji poveča, pri nekaterih silikatih pa se lahko posamezni sloji odlučijo in dispergirajo v polimerno



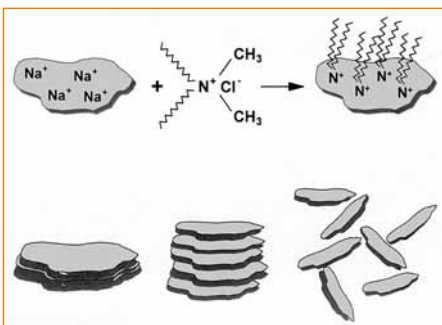
Sl.5a: Povečanje razdalje med sloji pri organofilnih ve-slojnih silikatih dosežemo z zamenjavo kationov  $Na^{+}$  v vmesnih slojih z organskimi alkilamonijevimi ioni.

matriko. Med sloji pride do menjave ion-skih in vodikovih vezi, zlasti na robovih, kar povzroči tvorbo posebne zložene mrežaste strukture (kot hiša iz kart). Ta struktura pa je odločilna za reološke lastnosti nanokompozitov. S tako strukturo lahko pri nanokompozitih naravnavamo mehanske lastnosti in efekte, npr. obstojnost proti permeaciji tekočin.

**Proizvodnja in možnosti nanokompozitov:** v vodi nabrekli, nemodificirani ve-slojni silikati se pri povišani temperaturi dajo v vodno raztopino kvarternih amonijevih spojin. Nastalo oborino hidrofobiranih organofilnih ve-slojnih silikatov prefiltriramo, posušimo in zmeljemo. Ker kvarterni amini vsebujejo dve stearilni skupini, se organofilni ve-slojni silikati zelo dobro dispergirajo v nepolarnih topilih, npr. v heksanu in bencinskih frakcijah. Za polarnejša topila, kot so etri, ketoni in višji alkoholi, se hidrofobiranje izvede s kvarternimi amonijevimi spojinami, ki vsebujejo benzilni ostanek. Ve-slojne silikate nudijo naslednje firme: Süd-Chemie AG, Southern Clay products (ZDA), Nanocore (ZDA), Co-op Chemical (Japonska).

Vgradnja organofilnih ve-slojnih silikatov pri proizvodnji polimernih nanokompozitov lahko poteka po naslednjih postopkih:

- polimerizacija med sloji



Sl.5b: Organski slojni silikati, proizvedeni z menjavo kationov, so v klasičnih polnjenih plastih dispergirani kot kompaktni delci polnila (levo). Pri nanokompozitih pa so lahko zloženi (sredina) ali pa so posamezne plasti dispergirane v polimerni matriki (desno).

- disperzijska polimerizacija in disperzijski blendi
- kompaundiranje
- reakcijsko ekstrudiranje.

Tvorba specialne strukture (slika 5b) je odločilna za lastnosti nanokompozitov. Pri organofilnih ve-slojnih silikatih se delci polnila razdelijo v majhne anizotropne nanosloje, ki se dispergirajo v polimerni matriki in sami zložijo v t.i. strukturo "hiše iz kart" oz. skeletno strukturo. Z ionsko izmenjavo in reaktivno povezavo s polimerno matriko pride do zelo učinkovitega zasidranja nanopolnil v polimeru.

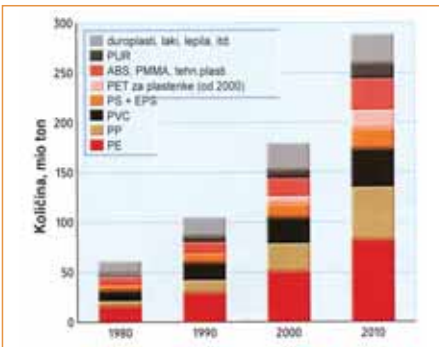
**Prednosti nanokompozitov** so naslednje:

- povišanje togosti brez izgube elastičnosti;
- povišanje toplotne oblikovne obstojnosti;
- zvišanje elastičnosti zaradi učinkovitega prenosa energije;
- krmiljenje reoloških lastnosti s samodejno postavitvijo in reverzibilno tvorbo mreže;
- zvišanje togosti brez obrabe predelovalnih strojev, kajti ve-slojni silikati so v nasprotju s kratkimi steklenimi vlakni relativno fleksibilni in "mekki";
- izboljšanje površinski sijaj;
- površinsko aktivni organofilni silikati v blendah in kompozitih delujejo kot povezovalci posameznih faz;
- zvišanje pretrdnosti elastomerov;
- izboljšanje odpornosti proti gorenju;
- izboljšanje bariernih lastnosti (zlasti zmanjšana prepustnost kislin in vodne pare);
- izboljšane električne lastnosti, kajti organofilni silikati ostale migrirajo-e ione večje mase;
- optična transparentnost pri obojnih polimernih steklih;
- pospeševanje pri vulkanizaciji kavčuka;
- nuklearna sredstva;
- kompenzirajo zmanjšanje volumna s tvorbo skeletne strukture;
- oblikovanje novih aditivov, kjer izkoristimo dispergirno delovanje ve-slojnih silikatov.

## Kompoziti, lahki materiali

### Napredni polimeri

Kljub neponovljivi rasti polimerov, 9 % preko 60 let in po volumnu vodilnemu položaju med industrijskimi surovinami (slika 6) standardnih polimerov ni med megatrendi, pa- pa mnogo nastajajo-ih novih naprednih polimerov.



Slika 6: Svetovna poraba plastike bo preseгла 300 mio ton

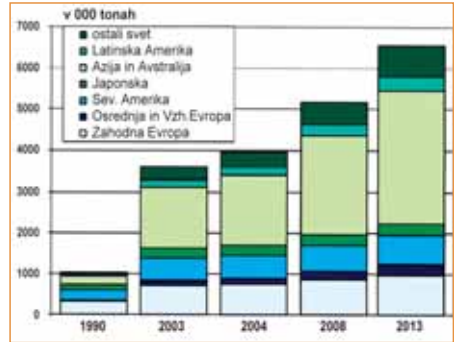
### Napredni poliolefini

Proizvodnja PE bo v 5 letih narasla za 5 mio ton, vendar bo ve-ina proizvodnje iz Srednjega Vzhoda (9 mio t), najve-ji porabnik pa bo Kitajska. Najve-ji del pove-anja proizvodnje, 33 %, bo {el v Saudsko Arabijo, 29 % pa v Iran.

PP bo zavzemal kar 24 % porabe plasti-ke, od tega 38 % za brizganje.

**BOPP folije** (slika 9) so kljub uporabi standardnega PP zaradi zahtevnega dvo-osnega raztezanja in napreovanja HT izdelek z 11 % rastjo pri 4 mio t porabe. Ve-ina prirastka je na ra-un azijskega in evropskega vzhoda.

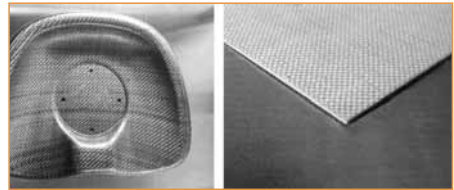
Kompozit PP z vlakni PP lahko tekmuje s kompoziti s steklom v togosti in obrabni odpornosti pri za tretjino manj{i te{i (Azdel, Propex). Posebej interesanten je za termoformiranje zaradi nizkih pritiskov in temperatur pod 180 °C, npr. za stene



Slika 9: 11 % letna rast pri 4 mio ton porabe BOPP folij

kamionov, pa tudi za izdelke za {port in dom. Podoben kompozit na osnovi PEI je ognjestabilen in primeren za proizvodnjo vlakov. Najnovej{a je uporaba PP za pre-forme po PET postopku.

**Oblikovan tekstil MFT** (Moldable Fabric Technology) je nov tekstilni material iz pre{anih visokotrdnih PP vlaken. Z visokoorientiranimi vlakni iz sicer cenene-ga PP (firma Milliken) so dobili material, ki

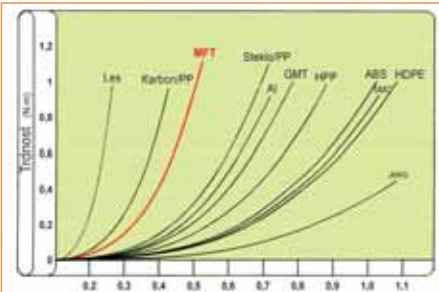


Slika 10: Plo{-e MFT so tkane iz PP vlaken in se preoblikujejo z vro-im pre{anjem.



Slika 11: Udarna ilavost MFT (Gardner)

je 30 - 60 % lažji od PP, HDPE in druge plastike, hkrati pa je 2-15-krat bolj elastičen od ostalih polimerov, kompozitov, jekla ali aluminija in sicer pri temperaturah vse od -40 °C do 110 °C. Ploščice se prečajo pri temperaturi 140 °C v Al orodjih, material je lahko laminiran z Al ali termoplastično folijo in drugimi materiali. Cena je podobna kot pri PP s steklenimi vlakni. Material je primeren za vozila, plovila, športne izdelke, zaščitne, itd. (slike 10 - 12).



Slika 12: Primerjava trdnosti MFT z drugimi materiali

Lahko zapolnimo največje izdelke, kot npr. kompozitno vetrnico. Stabilen je pri 140 °C, obrabno odpornejši, uporablja pa se za rezervoarje za gorivo, za plovila, avtomobilske dele, kot osnova za masterbatche, tudi za roto postopek. Velika omogljivost omogoča uporabo nanoglin, nanocev in superfinih polnil. Firma gradi nove 50 t kapacitete za ciklične PBT in ciklične PET.

**Novi tipi PET** omogočajo npr. tekočinske plaste, vročinsko polnjenje in večjo bariero za kisik in CO<sub>2</sub>. Tako tehta 0,5-litrska plastenka le 12 g, izdelujejo pa jo s pomočjo 192 gnezd. Za vročinsko polnjenje pri 89 °C uporabljajo posebne oblike, ki zadržijo nastajanje vakuumu po ohlajanju (slika 14, 15).

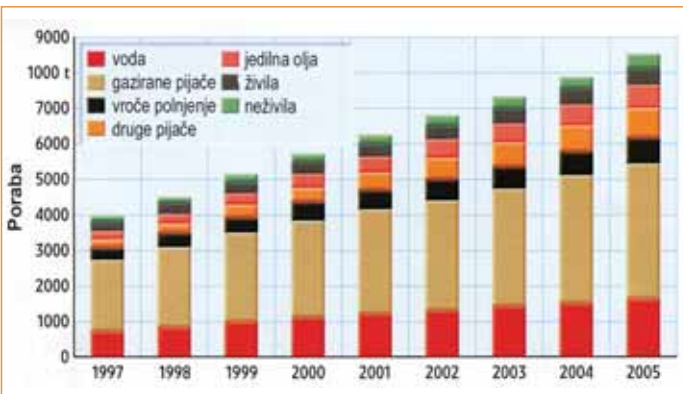
Nekatere firme uporabljajo dvostopenjski postopek za kristalizacijo in s tem stabilizacijo odebeljenega vratu plastenke pri vročem polnjenju, trend pa je opuščanje kristalizacije.



Slika 16: Peka iz PCT Thermx (DuPont)

## Napredni poliestri

**CBT (ciklični butilentereftalat)** je nov termoplast z ultranizko viskoznostjo. Firma Cyclics je prišla z proizvodnjo 3 t CBT z razgradnjo PBT v oligomere s talilno točko pri 170 °C. Je precej drag (10-15 EUR/kg), vendar pa ima izjemne lastnosti.



Slika 14: Poraba PET - 9 mio ton, rast preko 10 % vsaj čez 10 let



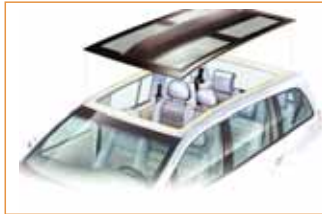
Slika 15: Ojčana PET plastenka za vročinsko polnjenje



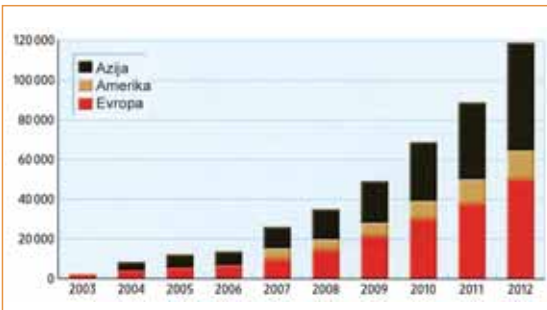
Visokotemperaturni PCT (policiklohek-silen-dimetilentereftalat, Thermx DuPont) zdrži zadostno temperaturo, da se lahko uporablja kot pekač (slika 16).

**Polikarbonat PC** se z razvojem brizgalnega stiskanja in oslojevanja pospešeno uporablja tako za avtomobilske žipe kot tudi za prozorne strehe (slika 17, 18).

Zasteklitve prihrani 50 % teže, plazma oslojevanje v debelini 2 μm pa zagotavlja odpornost na UV žarke in praske 10 let (Exatec). V zasteklitve hkrati vgrajujejo antene,



Slika 17: Opel Zafira s transparentno streho



Slika 18: Razvoj PC zasteklitve avtomobilov

solarne celice in prevodni sloj za preprečevanje zmrzovanja. Daimler C. planira 5 mio zasteklitve do leta 2008.

PC žipa je le 1,25 mm debela, v njo pa integrirajo tudi svetilo. PC folije s prozornim UV lakom se vse več uporabljajo (poleg PP) za vlaganje v orodje namesto laka.

### Poliamidi za visoke temperature

PA za visoke temperature izpodrivajo druge materiale iz avtomobilskega motorja, temperaturno obstojnost, žilavost in obrabno ter kemijsko odpornost pa jim povečujejo z vlakni, PTFE in silikoni. Kolektorji za vsesavanje zraka imajo z 2K

postopkom vgrajene lopute. PA za trajno uporabo pri 200 °C omogoča izdelavo oljnega modula v diesel motorjih z vgrajenimi senzorji in ventili (slike 21, 22).



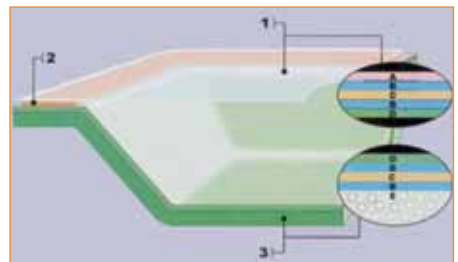
Slika 21: Razvodi v motorju iz PA 12 so bistveno cenejši od gume



Slika 22: Oljni modul PA HTN

### Barierna plastika

Za preprečevanje izhajanja arome, bencina ali prehoda plinov je najpomembnejši material EVOH (etilenvinilalkohol). Cena je 5 - 6 EUR/kg, proizvajata pa ga le japonski firmi Kuraray (81 tt) in Nippon (nov pogon 15 tt). Letna rast je 10 %. Problemi so predvsem tehnološki, npr. slabo tečenje ter slab oprijem na druge materiale. Potrebni so najmanj 5 slojev (slika 23)



Slika 23: Struktura embalaže za hrano, sloj C je EVOH

Te`ko recikliranje

Razvijajo tipe brez teh problemov, primerne tudi za raztežno folijo, za termoformiranje, za PET plastenke in za zamenjavo PA.

Konkurenca EVOH je PVdC (poliviniliden klorid), ki je cenejši, vendar podobno kot PVC v embalaži nepopularen. LCP je dobra bariera, vendar zelo drag in rumenkast ter slabo prozoren. Drag je tudi cikloolefin COC.

## HT polimeri

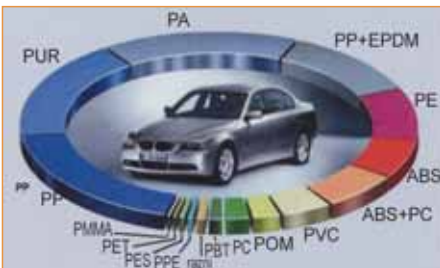
HT polimeri, npr. **PEEK s C vlakni**, nadomeščajo jeklo v ekstremnih pogojih. Bat hidravli-nega ventila (slika 24) ima zadostno tlačno trdnost, odpornost proti te-enju in obrabi, da tesni pri 50 - 350 barih (če po 10 milijonih gibov in to brez elastomernega tesnila, ki je potreben za jeklene bate. Izguba tlaka je za 20 % manjša, ni`ja je tudi cena. Ekstremne tolerance dosegamo namreč z brizganjem brez obdelave.

Avtomobil je "razstavnih salon" skoraj vseh tipov plastike (slika 25).

**HT kompaundi** imajo lastnosti, ki jih z drugimi materiali ni mogoče doseči, npr. visoka obrabna odpornost in `ilavost pri



Slika 24: Brizgan hidravli-ni bat iz PEEK za 350 barov ne rabi tesnila



Slika 25: Dele i plastov v BMW 5

nizkem trenju in te`i.

Za visoke obremenitve in obrabe običajni kompaundi s samomazilnimi dodatki ne zadoščajo. Firma Lati je zato razvila kompaunde z ekstremno nizko obrabo in trenjem. **Tribokompaundi** na osnovi PA6, PA66, POM, PPS, PPA in PEEK so ojačani z 20 % aramidnih vlaken. Po potrebi se dodaja (če polnilo PFTE ali druga tribološka polnila). Aramidna vlakna so mehkejša, bolj `ilava in trdnjša od drugih ter dajejo gladko neobrabno površino z nizkim trenjem. Za rotirajoče ali oscilirajoče dele v kontaktu s kovinami, ki se mnogo hitreje obrabijo in povzročajo vibracije, so ti kompaundi idealen material (slika 26). Tudi v kombinaciji z visoko obrabnimi Cu, Al ali bronzo so npr. zobniki iz tribokompaunda zelo trajni in tihi.



Slika 26: Tribološki kompaund PA66/aramid 15 % (Lati)

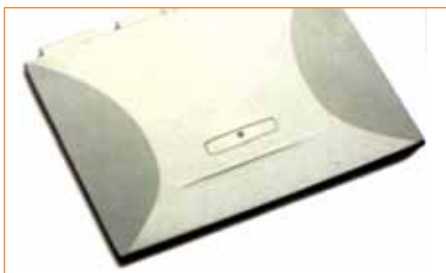
## Zamenjava keramike

Firmi Polyplastics in Otsuka Chemical iz Japonske sta razvili nekaj novih tipov termoplastičnih kompaundov, od katerih bazirata dva na **teko-ekristalnih** polimerih in dva na **polifenilensulfidu**. Gre za materiale s trgovskim nazivom Freqtis, ki imajo visoko dielektrično konstanto in bi lahko v kvalitetnih elektronskih komponentah, ki se uporabljajo pri visokih frekvencah (mikrovalovne pečice), nadomestili keramiko. Keramika ima visoko dielektrično konstanto, vendar jo je zaradi skrivanja te`ko oblikovati, (če posebej v izdelke s tankimi stenami).

Potreba po takšnih izdelkih z rastjo novih telekomunikacijskih tehnologij močno narašča. Prvi komercialni izdelki bodo majhne antene za celi-telefone in brezžične LAN ter konektorji na visokofrekvenčnih telekomunikacijskih napravah.

Za proizvajalce komponent za elektron-

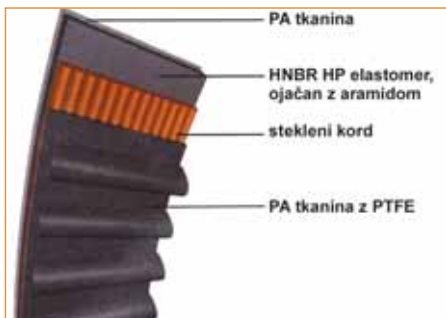
ske naprave in telekomunikacijsko opremo je primerna nova Cycology EF tehnologija (inženirska polnila) firme GE. Gre za PC/ABS blende z novimi kovinskimi polnili. Le-ti dajejo brizganim izdelkom, kot so npr. ohišja prenosnih računalnikov, kovinski efekt, ki je dovolj atraktiven, da niso potrebne dodatne operacije lakiranja. Dosežemo lahko grobo, sijajno in mat površino. Na sliki 27 je prikazano ohišje za prenosni računalnik; vidna je izboljšava linij tečenja, dosežena z novim materialom. Linije tečenja so pri uporabi novega Cycologya s polnili precej manj vidne.



Slika 27: Nov PC/ABS/Al kompaund brez linij tečenja

## Napredni elastomeri

Napredni elastomeri nadomeščajo kovine, npr. avtomobilski zobati jermeni s kombinacijo HNBR/aramid/PA zdrži 160 °C, in 240.000 km namesto običajnih 100.000 km in se pri tem podaljša le za



Slika 28: Visokozmogljiv jermen

desetinke mm. Jermeni so mnogo mirnejši in tišji od verig, zavzamejo manj prostora in se manj obrabijo, zato imajo več 75 % trn delež (slika 28).

**Teko-i silikon LSR** je uporaben od -50 do 180 °C, z dodatki tudi do 250 °C. Je dvokomponenten material, zato zahteva posebne brizgalke z doziranjem, hlajenim cilindrom in ogrevanim orodjem. S "primerji" ga uporabljamo tudi za 2K brizganje, razvijajo pa "samolepilne" tipe, ki se oprimejo plastike. Uporablja se za manjše izdelke do teže 1 kg, npr. za 2K konektorje. LSR je sicer dražji od običajnih TPE, toda temperaturno obstojni tipi s FDA certifikatom so 3-krat dražji. 2K in 3K orodja so zahtevna, saj je silikonski del ogrevan, ostali hlajeni.

## Termoplasti za ekstremne obremenitve

HT termoplasti, kot sta npr. PPS in PEEK, se lahko zaradi izjemnih termičnih in mehanskih lastnosti uporabljajo na veliko področjih. Danes pa jih večimo preko t.i. **ekstremni termoplasti**, kot sta npr. PAI (Torlon) in PBI (Celazole). Z lastnostmi sta zelo blizu kovinskim materialom in tako izpolnjujeta njihove funkcije.

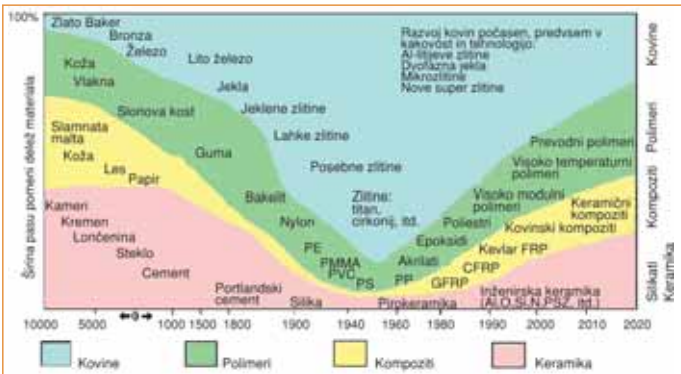
PBI - polibenzimidazol (Celazole) je material z mejo dolgotrajne uporabne temperature, ki znaša 310 °C in močnostjo kratkotrajne temperaturne izpostavitve na 500 °C. Pri PAI (poliamidimid) je meja uporabe 250 °C oz. pri kratkotrajni izpostavitvi 270 °C. Oba materiala imata nizek toplotni razteznostni koeficient, ki je primerljiv z aluminijem. Podjetje Angst+Pfister izdeluje polizdelke iz omenjenih materialov v obliki plošč, okroglih palic in cevi. Izdelujejo tudi valje, vodila in toplotno skrbljive izdelke.



## Polimerni kompoziti

Polimerni kompoziti predstavljajo predvsem zaradi cene kljub zmanjšanju teže le 7,5 % avtomobilskih materialov. Jeklo stane 1,2 \$/kg, Mg 2 \$/kg, dolgovlaknati kompaundi 2,5 \$/kg, kompoziti pa 10-20 \$/kg. Velika ovira je lakiranje, ki predstavlja 1/3 stroškov avtomobila (lakirnica 1,2 md \$). Potrebno je namreč dodajati "primer", uporabiti plazmo ali korona efekt ali prevodne polimere oziroma IMD folije za vlaganje v orodje. Rešitve, kot so tikso-brizganje Mg ali brizganje z direktnim kompaundiranjem dolgovlaknatih kompaundov (Husky), lahko pri konkurenčni ceni za 50 % zmanjšajo npr. te ohišja zobnikov.

Civilizacijo obeležujejo materiali. Jeklena doba je dovela vrh sredi 20. stoletja, očitno ji sledi doba polimerov in kompozitov (slika 29).

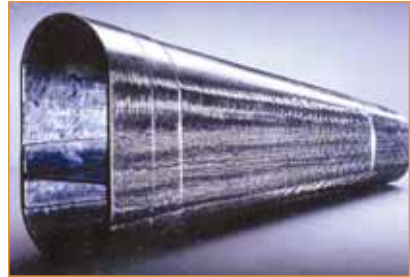


Slika 29: Kompoziti in polimeri izpodrivajo kovine

**Duroplasti-ni kompoziti trdnjši od jekla:** RMI je pri- el z proizvodnjo 50.000 avtomobilov s celotno kompozitno strukturo. Karoserija tehta namesto prej(njih) 1800 kg le 856 kg. Izdelana je iz karbon- skih vlaken z nizkoviskoznim lavrolakta- mom (PA12). Karoserija tehta le 187 kg, torej 57 % manj kot jeklena, pogon je na gorivne celice. Kljub temu je zaradi bistve- nega zmanjšanja sestavnih delov cena

konkuren- na. Struktura je sestavljena le iz 14-ih delov z 62 komponentami, kar je za 77 % manj kot pri jekleni.

Duro/termoplasti-ni hibrid (SMC/PP folija) je novost, ki prihrani 30 % teže. V razvoju je hibrid SMC/plo-evina.



Slika 30: Karbonski nosilec motorja pri nesre-i nekajkrat pove-a absorbirano energijo in upo-asni deformaciji.

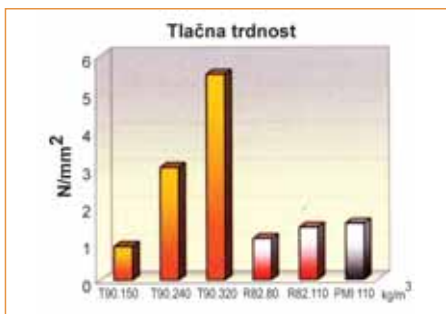
## Jedrni materiali za sendvi- strukture

so bistvena sestavina kompozitov (PUR, PVC, PMI, PEI pene, satje, cev-ice...). Firma Alcan, dobavitelj jedrnih materia- lov, je predstavila struktur- no penjeno jedro, ki je ide- alno za vlake (sliki 31, 32). Airex T90 bazira na PET. Predelujemo ga lahko s katerimkoli smolnim siste- mom, od standardnih poli- estrov do vinilnih estrov in epoksidov. Uporabljamo lahko celo smole z visokim dele-em stirena. Fina, zaprtoceli-na struktura

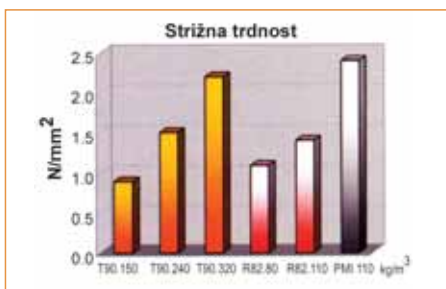
pene zn- uje absorbcijo smol in pripomore k optimizaciji skupne te- e sendvi-a.

Pene lahko uporabljamo pri vseh procesih laminiranja, od ro-nega nana(anja do infuzije smol in prepregov. Lahko jih ve- emo na aluminij, jeklo ali s steklom oja- ano plastiko. Da dobimo ukrivljene povr(ine, jih lahko tudi termoformiramo. Airex T90 ima vi(jo tla- no trdnost kot npr. pene s PMI, zaradi -esar je primeren za stene, tla, strehe in uporabo na -lezni-

cah. Ustreza evropskim zahtevam za `eleznice glede gorljivosti, npr. NF 16-101 in DIN 5510. Airex T90 lahko predelujemo do 150 °C, pri -emer ni stranskih u-inkov, kot npr. ekspanzije ali izhajanja plinov, prenese pa dolgotrajno temperaturno obremenitev do 100 °C. Pena je na voljo v gostotah od 100 - 400 kg/m<sup>3</sup>.



Slika 31: Tlačna trdnost jedrnih materialov

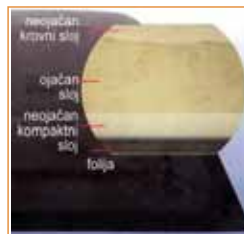


Slika 32: Strižna trdnost jedrnih materialov

**PUR kompoziti** se proizvajajo z zabrizgavanjem tkanin, vmešavanjem vlaken - RRIM, z nabrizgavanjem, prečanjem, nov pa je postopek **CSM (Composite Spray Moulding)**, to je nabrizgavanje kompaktnega PUR z vlakni izmeni-no s peno kot sredico sendvi-a (Multitec - Bayer). Oblikovanje je brez pritiska, zato uporabljamo kompozitna orodja in prakti-no neomejeno velikost izdelkov. Stroj programirano dozira isti izocianat, a izmeni-no dva poliola hitro in po-asi, oziroma izmeni-no dodaja sekana vlakna ali penilo. Na licu, torej na orodju, uporabljamo gelcoat

oziroma IMC ali oblikovano folijo, na površini pa zaključni krovni sloj (slike 33, 34, 35).

S popolno avtomatizacijo lahko izvedemo kakršnokoli strukturo sendvi-a po želji. Sistem je v nasprotju z UP in EP kompoziti brez toplil. Pri dolžinah 5 -12,5 mm se dosega 25 % delež vlaken. Brez dodatnega stiskanja ali valjanja dosežemo gladke, kompaktne, tudi poželjne in tanke stene debeline 1 mm. Mogoča je tudi uporaba zaprtega kalupa, naravnih vlaken - lana ali konoplje, kakor tudi satastih sredic za sendvi-. Za dodatne funkcije, npr. duženje zvoka in vibracij, se dodajajo barijevi sulfat, sljuda, kreda ali melamin za samogasnost. Za ojačitve dodajamo rebra in dodatna tkana ali istosmerna vlakna iz role.



Slika 33: PUR-CSM kompozit s folijo na licu



Slika 34: Oja-itivna rebra na sendvi- izdelku po CSM postopku



Slika 35: Stranska oja-itev kopalne kadi s postopkom PUR-CSM



Slika 36: Poraba PUR - 12 mio ton in rast 7 %

Novost je postopek "RIM alpha", ki uporablja alifatski PUR, ki ima poleg UV stabilnosti mehak otip (Softtouch), uporablja pa se na vseh podlagah, tudi na cenejših aromatskih PUR. Rast porabe PUR je treba pripisati kompozitom (slika 36).

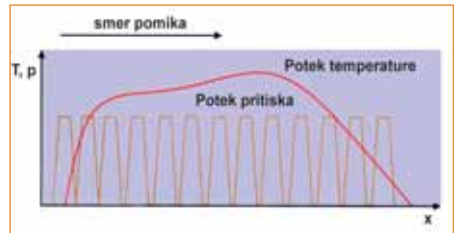
**Organoplo-evina**, termoplasti-ne kompozitne plošče z visokim procentom neskončnih vlaken in termoplasti-no matriko, je material, ki bi zlahka nadomestil nekajkrat težjo ploščevino v vozilih, za visoke serije pa sta problem cena in predelovalni cikel. Nov postopek Fiberforge omogoča proizvodnjo in nato oblikovanje surovcev v ciklusu pod minuto. Z avtomatskim nanašanjem vlaken v več slojih se izdelava surovca v 2D formatu različnih oblik, s čimer se glede na klasično termoformiranje prihrani 50 % materiala. Hkrati z nanašanjem poteka ogrevanje s hitrostjo 1,2 m/sek. Med inox in Si ploščami nato material konsolidiramo pri 220 - 260 °C in 3 - 10 MPa. Krojene surovce lahko oblikujemo s hidroformiranjem, z diafragmami ali z gumenimi modeli. Uporabljamo IR grejte in temperaturo 160 - 180 °C. Dosegamo lahko cikel 45 s. Največ se uporabljajo C- ali steklena vlakna in PA. V primerjavi s SMC je prihranek na teži kot tudi izmetu 50 %. Pri uporabi C/steklo pa imamo tudi za 20 % nižjo ceno. Za doseganje boljše površine (cilj je klasa A) uporabljajo PA film debeline 0,075 mm, eventualno v kombinaciji s 6,8 g/m<sup>2</sup> karbonskim filisom, ki prepreči sledenje vlaken na površini. Napovedujejo izdelavo 57 % lahkega kompozitnega vozila, pri čemer ne bodo potrebni varnostni niti funkcionalnost ali izgled (slika 37).



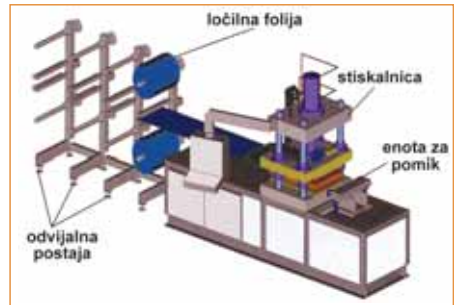
Slika 37: "Tancanje" organoplo-evine za telo avtomobila s ciklusom 45 s



Slika 38: Zgradba sendviča pred impregniranjem



Slika 39: Potek pritiska in temperature v laminatu



Slika 40: Intervalna vrotka-stiskalnica

lavo 57 % lahkega kompozitnega vozila, pri čemer ne bodo potrebni varnostni niti funkcionalnost ali izgled (slika 37).

### Profilirani sendviči iz organoplo-evine

Intervalno stiskanje termoplasti-nih kompozitov je nov postopek, ki omogoča hkratno proizvodnjo termoplasti-nih kompozitnih plošč (organoplo-evina), profiliranje in konstrukcijo sendviča (slike 38 - 41). Materiali imajo izjemno trdnost pri nizki teži, absorbcijo energije in korozijsko odpornost in so odlični strukturni materiali za vozila ter za izdelke za industrijo in prosti čas.

Proizvodnja termoplastičnih kompozitov v vseh primerih teče v treh fazah: impregniranje, konsolidiranje in oblikovanje. Lastnosti polizdelkov zavisijo od pogojev predelave, temperature, pritiska in vlaga, ki so jim podvržena vlakna in matrika. Impregniranje je najzahtevnejša faza, saj moramo dobiti kompaktno material brez zračnih vključkov, staljeni termoplasti pa imajo bistveno večjo viskoznost kot smole, 100 - 1000 Pas, zato potrebujemo pritisk, ki izrine zrak med vlakni. V fazi konsolidiranja se posamezni sloji spojijo, pritisk pa mora preprečevati tudi ponovno nastajanje zračnih vključkov in dviganja vlaken zaradi povratnih sil. Po oblikovanju je potrebno izdelek ohladiti.



Slika 41: Oblike sendvič-profilov iz PP-GF in PA12-CF.

Za proizvodnjo polizdelkov imamo statične (npr. avtoklavi), polkontinuirne in kontinuirne naprave. Najcenejši so avtoklavi, dražje

polkontinuirne intervalne vroče stiskalnice, najdražje pa kontinuirne stiskalnice z dvojnimi trakom. Cena zavisi tako od pritiska in uporabljenih temperatur kot od njihovih variacij, predvsem tudi na orodjih. Lahko namreč proizvajamo plošče ter profile W ali U in druge. Zaradi njihovih hitrih menjav, cenejših orodij ter malo materiala za menjave, je za srednje kapacitete najugodnejša intervalna stiskalnica. Inštitut za kompozite IW Kaiserslautern je razvil intervalno vročo stiskalnico za proizvodnjo ravnih ali profiliranih sendvičev. Kot jedro se uporabljajo PUR, PEI ali PMI pene. Z obeh strani se uvajata ločilna folija in prepreg, tako da do ohlajanja poteka hkrati vse faze. Hitrost zavisi od faze prečanja in ohlajanja. Stroj sestavlja večpreči v vrsti. Orodja so hkrati greta in imajo hladilne kanale z vodnim oz. oljnim hlajenjem. Pomik materiala je s hidravličnimi kličami, ki jih naprej pomika hidravlični sistem. Linija omogoča proizvodnjo orga-

noploevine, sendvičev ali profilov do temperatur 410°C (primerna za PEEK). Površina stiskanja je 1400 x 660 mm, uporablja pa se pritisk 25 barov in hitrost do 1m/min. Kot transportno sredstvo služita ločilna folija, ki preprečujeta lepljenje plastike na orodje. Kot ločilne folije se uporabljajo bodisi papirne, plastične ali jeklene. Pri sendvičih dosegajo hitrost 20 m/h.

## Polimerna elektronika

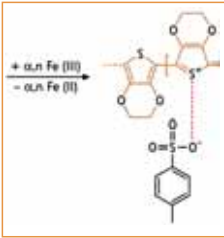
### Prevodni polimeri ICP

Polimerna elektronika na osnovi notranje prevodnih polimerov (intrinzični) se širi najhitreje na področju displejev, zelo razširjena pa je tudi uporaba za prebojne kontakte v tiskanih vezjih, kot elektrode v kondenzatorjih itd.

ICP, notranje prevodni polimeri (Intrinsic Conductive Polymers), so polimeri z izmenično dvojno vezjo, ki jih lahko z oksidacijo ("dotiranje") vzpodbudimo do prevodnosti bakra ( $10^{-12}$  -  $10^{-5}$  S/cm). Manj pomembni so prevodni kompaundi, pri katerih dosegamo prevodnost z dodajanjem C ali kovinskih vlaken oz. praha. Polprevodni ICP imajo prevodnost manjšo od  $10^{-5}$  S/cm, prevodni pa večjo. Z oksidacijo dosežemo prosto gibajočo pozitivno nabito skupino, torej "luknjo", v nasprotju s kovinami, kjer se giblje elektron (Nobelova nagrada 2000 McDiarmid). S poliacetilenom so dosegli prevodnost bakra, vendar zaradi občutljivosti ni trane uporabe, uporabni pa so polimeri anilina, pirola in tiofena.

V industriji se uporabljajo monomeri pirola in etilendioksitiofena kakor tudi vsi polimeri, v glavnem v organskih ali vodnih disperzijah. ICP imajo namreč visoke temperature steklastega prehoda in nimajo tališča, zato jih ni mogoče brizgati ali ekstrudirati. Anilin se uporablja v glavnem polimeriziran (Ormecon). Ker je polimerizacija zahtevnejša, se polipirol prodaja kot monomer (DSM, BASF) in se z anodno oksidacijo predeluje v film. Med največ-

uporabljanimi je **PEDT** (polietilendioksitifen - Bayer). Uporablja pa se tudi v disperziji skupaj s **PSS** (polistirolsulfonska kislina), ki služi kot oksidant, slika 41.



Slika 41: Tvorba pozitivne prevodne "luknje" z delno oksidacijo PEDT

EDT uporabljamo kot monomer za polimerizacijo "na mestu" ali kot disperzijo in raztopino. S polimerizacijo dosegamo visoko prevodnost (preko 500 S/cm). Potrebne so tri stopnje: nanos, polimerizacija, odstranitev stranskih produktov, kot Fe(II), zato pogosteje uporabljamo disperzije ali raztopine, ki jih je treba le

nanesti in posušiti. Polimerizacijo uporabljamo predvsem za prepajanje poroznih osnov, npr. pri Al, Tn in Nb kondenzatorjih. Najpreprostejša je uporaba disperzije PEDT/PSS, pri kateri je sulfonska kislina hkrati ion za kompenzacijo naboja in dispergirno sredstvo.

### Polimerni prevodniki (npr.

Electriplast), s prevodnostjo podobno kot Al ali Cu se uporabljajo še za preko 100 različnih komponent elektronike, od telefona, kjer je celotno ohišje antena, vzvratno ogledalo, ki je hkrati antena za radio, do ekstrudiranega **plasti-nega kabela**, ki je primeren celo za visokonapetostne daljnovode. Ima namreč večjo prevodnost kot sedaj uporabljan Al in za 40 % nižjo težo. Proizvajajo 13 različnih kompaundov, katerih prevodnost je odvisna od polnila, testno predelavo imajo v 39-ih tovarnah, vendar je letna proizvodnja le 600 ton.

**Polprevodniki** predstavljajo trg v velikosti preko 1000 mlrd \$. V glavnem so to tiskana vezja PCB (printed circuit board), imenovana tudi vgrajeni sistemi. Vezja so večinoma zalita z epoksidno smolo. Nizka viskoznost pri nizkih temperaturah omogoča zalivanje brez poškodb s transfornim livom, ko smola preprosto zalije mikro-ipe.

Intenziven je razvoj zalivanja v termoplaste, saj je brizgalcev vsaj 30-krat več. Težava pri termoplastih je tudi s halogeniranimi dodatki za samogasnost, EP, s kemijsko stabilnostjo itd. Z uporabo PBT, PA ali drugih primernih termoplastov (slika 42) se prihrani tudi ena faza dela - vgradnja v ohišje. Kot najprimernejši za zalivanje polprevodnikov, kondenzatorjev in konektorjev za optična vlakna, itd. se je pokazal LCP, tudi zaradi temperaturne odpornosti do 300 °C pri lotanju.

Dielektr. konstanta, razdalja 3,2 mm	1 MHz suh	Skrček	Temperatura taline
PBT	4.0	0,40-0,50%	238-271 °C
LCP	3.6	0,20-0,40%	363-399 °C
PEEK	4.1	0,20-0,40%	349-399 °C
PPA (45% GF)	-	0,15-0,30%	320-343 °C
PPS	3.9	0,20-0,40%	307-329 °C

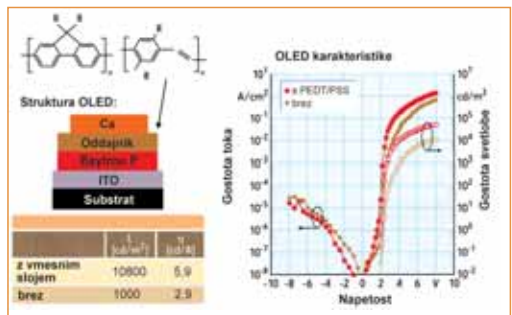
Slika 42: Termoplasti za zalivanje -ipov

### Svetlobo sevajo-i displeji PLED

Prevodnost PEDT in drugih ICP izkoristimo za proizvodnjo polimerne (organske) elektronike:

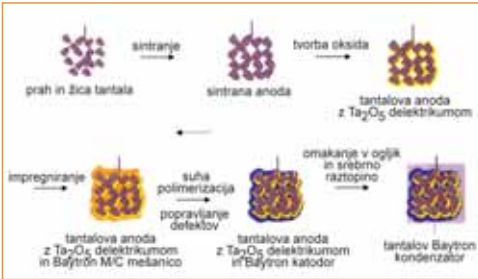
- polimerne svetlobne diode/displeji,
- polimerne fotovoltai-ne celice PV,
- polimerni tranzistorji, kondenzatorji, -ipi,
- polimerna senzorska elektronika.

Pri diodah uporabimo prevajanje anodnih pozitivnih "lukenj" in katodnih elektronov, pri čemer se oboji združijo v **fotoluminiscen-nem polimeru** ob nastanku



Slika 43: Struktura in karakteristike PLED diode / zaslona





Slika 44: Proizvodnja tantalovih kondenzatorjev: izdelava anode, anodna oksidacija, impregnacija s polimerom, nastavljanje kontaktov in zapiranje

svetlobe. Primerni fotoluminiscenčni materiali so **PPV (polifenilenvinilen)** in **PF (polifluoren)**. Kot anoda služi **ITO (indijev kositrov oksid)**, kot prevodnik pa **PEDT (Baytron)**. Z oslojevanjem lahko izdelamo zelo velike površine displejev. Prednosti so {e visok kontrast, ve-ji opazovalni kot in zato bolj{a -itljivost, bistveno manj{a poraba energije kot pri LCD zaslonih, predvsem pa mo`nost proizvodnje velikih fleksibilnih zaslonov (slika 43).

### Polimerna elektronika je poceni

Elektronske komponente na osnovi ICP, od diod, fotovoltainih celic do kondenzatorjev in do bistva integriranih vezij - tranzistorjev, `e omogo-ajo izgradnjo cenenih polimernih integriranih vezij **PIC -ipov**. Bistveni elementi so polprevodnik, dielektrik in vodnik, kar vse je lahko polimer. V silicijevi tehnologiji je Si kot polprevodnik,  $\text{SiO}_2$  kot dielektrik in kovine Al, Cu kot vodniki. Ti materiali pa so krhki in togi. Fleksibilnost, nizka cena in celo transparentnost so odlike polimerne elektronike. Kot polprevodnik se najve- uporablja **heksiltrialkiltiofenol**, kot dielektrik **polivinilfenol** in **PEDT/PSS (Baytron P)** kot vodnik. Kot vodnik se uporablja tudi polianilin, kot alternativni material za primerjavo pa



Sevajo-i displej za nastavitev

pogosto zlato. Najve-ja motivacija je proizvodnja enotne potro{nje elektronike, kar z dragimi Si -ipi ni mo`no. ^eprav je mobilnost ICP ve-ja kot pri amornem Si, pa mobilnost in razdalja kanalov ter s tem frekvenca za Si -ipi {e mo`no zaostajajo. Ra-unalniki torej {e niso ciljna uporaba polimernih -ipov.

**Kondenzatorji** z visoko trajnostjo so podro-je, kjer so se ICP mo-no uveljavili za protielektrode v Al in tantal kondenzatorjih. Kondenzatorji so pasivni elektronski elementi, katerih naloga je kratkor-no skladi{-iti majhne koli-ine naboja. ^as je merjen v Hz do MHz, bistveni elementi pa so kapacitete, stabilnost napetosti in ESR (ekvivalentni serijski upor). Slednji je pomemben za visoke frekvence. Prakti-no imajo kondenzatorji namre- od materialov odvisne zakasnitve, kar pomeni bistveno zmanj{-anje kapacitet pri visokih frekvencah. Pomembna je prevodnost protikontaktov. Lo-imo folijske, kerami- in elektrolitske kondenzatorje, pri slednjih predvsem **Al in tantalove** za visoke kapacitete. Sestojijo se iz kovinske anode z nane{-enim dielektri-nim slojem iz kovinskega oksida in kontaktov. Za tantalove uporabljajo doslej manganov dioksid kot kontakt in teko-e elektrolite za kontakte Al kondenzatorjev. Oboji dosegajo prevodnost do  $10^{-2}$  S/cm, polimeri pa kar  $10^2$  S/cm, torej je prevodnost desetstiso-krat ve-ja. Strukturo polimernega kondenzatorja ka`e slika 44.

Sintrana porozna tantalova anoda je prevle-ena z 10-100 nm debelim slojem tantalovega oksida kot dielektrika. Elektroda iz manganovega dioksida je impregnirana s polimerom, nato je dodan grafit in prevodno srebro ter vse zalito. Visokofrekven- ni polimerni kondenzatorji so v telekomunikacijah in ra-unalnikih postali standard, tudi zaradi zanesljivosti in samopopravljalnega efekta. Tantal kondenzatorji so namre- zelo ob-utljivi na pre-

boj. Kovina in oksidant manganov dioksid sta namreč ločena s tankim dielektrikom. V primeru risov in mehanskih kratkih spojev nastajajo lokalna pregrevanja, ki povzročajo razpad  $MnO_2$ . Nastajajoči kisik eksotermno reagira s kovino in s tem pospeši razpad, vse do preboja kondenzatorja. V primeru uporabe polimernih kondenzatorjev se na napakah zaradi lokalnega povečanja temperature prevodnost polimera zmanjša in napaka se sama odpravi.

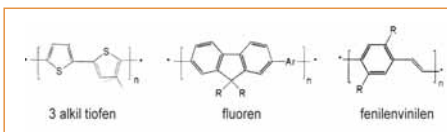
**Namesto bakrenja kontaktov** v vezjih se je razširila metoda DMS-E, ki uporablja prevodni polimer PEDT, ki služi kot galvanska podlaga bakru. Luknje na ploščah obdelamo s kalijevim permanganatom, izloči se  $MnO_2$ , ki služi kot oksidant pri polimerizaciji EDT. Tako se izognemo dragemu in ekološko problematičnemu postopku bakrenja, kjer se uporabljajo lahke kovine, formaldehid itd.

**Antistatično oslojevanje folij** se uporablja kot konkurenčen postopek za uporabo kompaundov in dodatkov, kjer smo prevodnost in antistatičnost dosegali z metalnimi delci in oksidi, npr. ITO (indijev Sn oksid). Nanos polimerov je lahko prozoren, z vodnimi mediji, visokofleksibilen. Uporablja se lahko za fotofilme, uporabo v elektroniki, antistatične filme, trakove za blister, embalažo za iste prostore, katodne cevi. Statični naboj se odstranjuje z zelo malimi tokovi in visokimi napetostmi, zato zadoščajo visoki površinski upori  $10^9$  -  $10^{10}$  Ohmov. Uporablja se predvsem PEDT/PSS v kombinaciji s topili, tenzidi, zamrevali, oprijemali in aditivi za povečanje prevodnosti. Slednji so visokopolarni glikoli, sladkorji itd. Prednost je zadostna tudi v zelo tankih stabilnih površinskih slojih.

### Polimerni tranzistorji in -ipi

Polimerna natiskana fleksibilna elektronika na osnovi (pol)prevodne plastike bo v prihodnosti prodrla v vse proizvode, a ne kot zamenjava sedanje silicijeve elektronike, pač pa kot e-inteligenca na področjih,

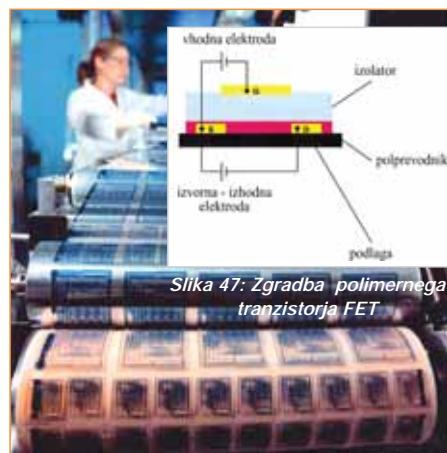
kjer je danes (e)ni. ^ipe, inteligentne objekte, fleksibilne displeje ali RFID etike te za (i)to pred krajaj se mogoče tiskati na kontinuirnih tiskarnah po ceni npr. 3 cente (firma PolyIC), medtem ko je najnižja cena silicijevih (i)ipov 1 EUR. Kot tiskarske barve se uporabljajo raztopine prevodnih polimerov z izmenično enojno / dvojno vezjo in delokaliziranimi  $\pi$  elektroni. Materiali postanejo prevodni z "dotiranjem", to je redoks reakcijami. Taki materiali so **polialkiltiofeni PAT**, **polifluoreni PF** in **polifenilenvinileni PPV** (slika 46).



Slika 46: Gradniki konjugiranih polimerov PAT, PF in PPV

S tiskom na standardno izolativno plastiko PS, PMMA ali PET izdelujejo t.i. "feld efekt" organske tranzistorje - OFET, diode OLED in tudi fotovoltaične celice, in sicer vse brez kovin in silicija.

Organski tranzistor ima 4 komponente (slika 47), nosilec, polprevodnik z vgrajeno izvorno in izhodno elektrodo (source - drain), vmesni izolator ter prevodni del z



Slika 47: Zgradba polimernega tranzistorja FET

Slika 48: Tiskanje polimernih (i)ipov

vhodno elektrodo (gate), ki je običajno na vrhu (top gate). Pri klasičnih tranzistorjih sta osnova in elektroda iz Si, izolator iz  $\text{SiO}_2$ , S in D elektroda pa iz zlata. Pri organskih tranzistorjih je osnova PET folija, na katero je ali naporjen polprevodnik **pentacen** ali nabrizgan **politiofen**. Kot elektrode lahko naneseemo zlato ali tudi prevodne polimere, npr. **trialkiltiofen**. Za precizno strukturiranje nanosa elektrod se uporabljajo litografsko izdelane maske in prenos "elektronskega črnila z globinskim ali tamponskim tiskom". Kmalu bo mogoče digitalni laserski in "ink-jet" tisk polprevodnih barv. Kot izolator služi premaz z raztopljenim polimerom, vhodna elektroda pa je lahko zlata ali iz prevodnega **polianilina ali PSS**, ki pa so slabši prevodniki od kovin.

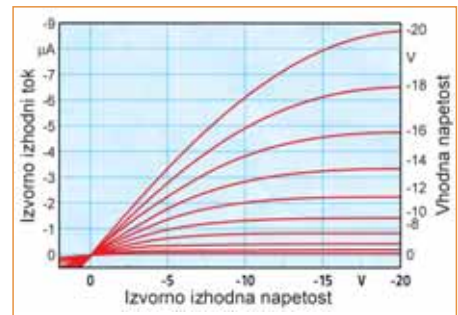
Funkcija je podobna kot na tankofilmskih tranzistorjih **TFT**. Polprevodniki postanejo prevodni (elektrode nastanejo) nastankom električnega polja s priključitvijo vhodne elektrode na napetost. S tem med izolatorjem in polprevodnikom nastane tanek prevodni kanal, kjer se elektroni akumulirajo in nato stečejo od izvorne do izhodne elektrode, pri čemer zavisi tok od vhodne napetosti in mobilnosti elektronov, kar je materialna lastnost polprevodnikov. Maksimalna frekvenca  $f = \mu \times U_{DS}/L^2$ , pri čemer je  $\mu$  hitrost elektronov, L pa razdalja med elektrodama, torej dolžina prevodnega kanala. Omejitev za frekvence je torej hitrost, ki je v dosedanjih polimerih do  $0,1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ , pri siliciju pa do  $2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Dodatna omejitev je resolucija, ki jo dosegamo, npr.  $1 \mu\text{m}$  z litografijo ali nekaj  $10 \mu\text{m}$  s tiskarskimi tehnikami. Dosežene frekvence so tako v področju MHz. Za uporabo v analognih s področjem GHz polimerni tranzistorji (če niso primerni, pa pa za mnogo drugih vsakdanjih uporab). Soodvisnost med vhodno in doseženo izhodno napetostjo kaže slika 49. Možnost uporabe tiska iz role na rolo, menjave plošč in pri digitalnem tisku celo menjave strukture integriranega vezja pri vsakem naslednjem kosu omogočajo skrajšanje razvoja generacije čipa iz nekaj mesecev na en teden.

Najenostavnejše logično vezje predstavlja inverter iz dveh tranzistorjev iz nizke lastne napetosti (zapis 0) in visoke napetosti (zapis 1), pri čemer ojača inverter vhodni signal, z izhodnim signalom pa pomeni naslednji inverter. Osnovni gradniki integriranih plastičnih vezij - IPC oz. čipov nastanejo z nadaljnjo paralelno (NOR) ali zaporedno vezavo (NAND). Poseben problem je izdelava prebojnih kontaktov (Vias) med obema vrstama elektrod pri večsto vezanih tranzistorjih. S krožno vezavo lahko (težje) dobimo sinusno oscilirajoči izhodni signal.

**Uporaba polimernih čipov** se bo lahko močno razmahnila zaradi sledečih prednosti:

- nizki stroški omogočajo tudi enkratno uporabo,
- tanki fleksibilni čipi so lahko integrirani v vsak izdelek (embalaža, oblačila, itd.),
- kratki časi razvoja, kot danes tiskovine,
- izjemna odpornost brez dodatne zaščite ali ohišitij, tudi npr. večlet pri 85 % vlagi in  $85^\circ\text{C}$ .

V nasprotju z OLED, ki morajo biti zaradi občutljivosti katoda za vodo, so OFET grajeni kot sendvič z obojestransko zaščitnim polprevodnikom in elektrodama. Frekvenca se bo lahko povečevala skladno z možnostmi doseganja večjih resolucij, npr. z laserjem, vendar za večino uporabe dosežene frekvence zadostujejo. Primeri cenene uporabe: RFID - etikete za radiofrekvenčno identifikacijo, ki brez uporabe lastnega vira energije



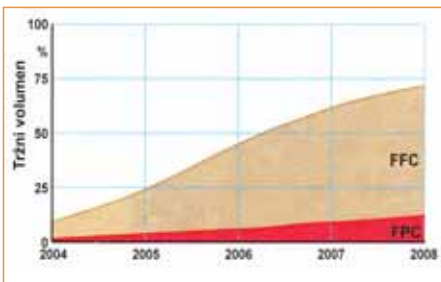
Slika 49: Napetosti v OFET tranzistorjih

preko radijskega oddajnika sprejmejo in ponovno oddajo kakršenkoli zapis. S sprejemnikom, tuljavo in kondenzatorjem sprejmejo signal in ga ponovno oddajo npr. za kreditne kartice, izkaznice, vstopnice, -rtne kode na embalaži in oznako datuma, pogojev skladičenja, za-ito blagovne znamke ali pred tatovi. Nadaljnje uporabe so krmiljenje fleksibilnih displejev, igra-e za kratko uporabo itd.

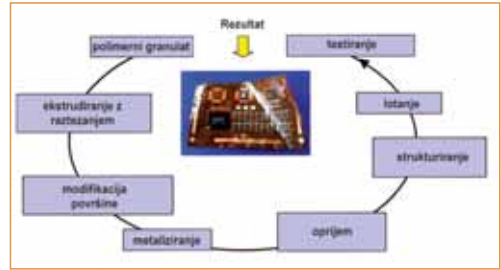
### Fleksibilni nosilci vezij

V avtomobilski industriji bo v naslednjih treh letih 75 % kablov zamenjanih s fleksibilnimi nosilci vezij FFC s pločatimi kabli FFC (slika 50) predvsem zaradi prednosti v teži, izkoriščanju tretje dimenzije in možnosti proizvodnje iz role na rolo. Kot osnova so najprimernejše duroplastične PI ter termoplastične PET, LCP in PEEK folije. PI je drag, navzema vodo in je alkaljsko nestabilen, vendar zdrži potopno lotanje. PPS je razmeroma krhek, zato gre razvoj v smeri PEEK, ki ima s 340 °C tudi najvišje talilne točke. Z dodatki polnil je mogoče doseči tudi razteznostni koeficient bakra (18 ppm/°C). PEEK ekstrudirajo na 400 °C in pri temperaturi hladilnih valjev 230 °C v folijo debeline 50 mikronov. E-modul in natezna trdnost sta boljča kot pri PPS foliji in izotropna (cca. 70 MPa), medtem ko je pri LCP foliji ogromna razlika glede na smer 20-250 MPa. Postopek izdelave vezij prikazuje slika 51.

Zahteve za folijo so izotropnost, dimenzijska stabilnost pri visoki temperaturi, sposobnost metaliziranja, visoke obstojnosti,



Slika 50: Prognoza razvoja fleksibilnih vezij



Slika 51: Proizvodnja fleksibilnih vezij - veze na PEEK foliji



sposobnost lotanja in odpornost na staranje. Metaliziranje je bistven element v proizvodnji. Uporablja se nalepljanje Cu folije. Pred tem je treba PEEK aktivirati z jedkanjem v kromovepleni kislini ali s plazmo. Tako dosežemo povečano polarnost in s tem oprijem. Trdnost oprijema na PEEK je 0,1 N/mm, po standardu pa bi morala biti vsaj 0,6, vendar dosežemo z jedkanjem 12 oziroma z obdelavo s plazmo 11 N/mm. PEEK ima zarezno žilavost 83 J/m, torej precej več kot konkurenčni materiali. Ima razteznostni koeficient 47 ppm/°C, torej manj kot drugi materiali, razen LCP (4/38). Ima manjše navzemanje vode (0,1 %), PEEK ima tudi boljčo -asovno termično stabilnost pri temperaturnem staranju. Problem je le krčenje pri temperaturi spajkanja (255 °C in 0,5 % krčenje), vendar se s temperiranjem PEEK folij pri 250 °C ta skrček zmanjša na 0,3 %, kar je enako kot pri PI. S tem je doseženo, da je PEEK najboljči material za fleksibilna vezja.

### Gorivne celice

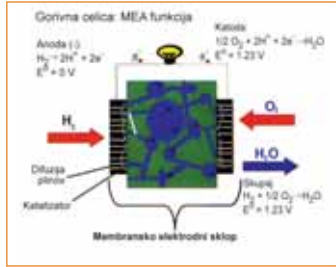
Prve celice za direktno pretvorbo goriva in zraka v elektriko je NASA proizvedla pred 40 leti. Zaradi visoke cene so bile uporabne le za astronave. Trg je še razmeroma neznan, veji prodor v avtomobilsko industrijo napovedujejo za leto 2015. Trenutno se prodajajo predvsem male gorivne celice (SFC) na osnovi

metanola, ker potrebuje vodik tla-ne posode. Ciljni trgi so mobilni telefoni, kamere, ra-unalniki, itd. Firma SFC prodaja celice z npr. 4,3- litrsko pihano HDPE plastenko, ki proizvede toliko energije kot stokilogramska baterija. Glavna celice je iz plastike - membrane, bipolarne ploše, monopolarni bloki, sestavni deli, itd. Ključni elementi so membransko elektrodni sklopi (MEA), npr. PS sulfonat, kopolimeri PTFE/fluorsulfonska kislina, tudi PVdF, PTFE/fluoroionomer, pa tudi cenejše kompozitne kombinacije visokomolekularnega PE s sulfonati (DuPont, Arkema, Elkton, PolyFuel). Membrane debeline 25 - 51 μm - PEM transportirajo proton iz ene elektrode na drugo.

Membrane s fluorom zahtevajo visoko vlago, kar jih dodatno podraži, novejšje membrane brez fluora pa imajo tudi 15 % večji izkoristek, delajo lahko do 95 °C, pri čemer ni potrebno hlajenje. Proizvajajo se z obarjanjem iz raztopine na brezkonni trak.

**Metanolske gorivne celice** (npr. SFC) so idealne za uporabo v kampih in na vodi. Samo 8 kg teška celica s 50 W in 100 Ah zadožja za energijo avtodoma, 5 l metanola zadožja za 2 tedna. Membrane NAFION proizvaja DuPont (slika 53).

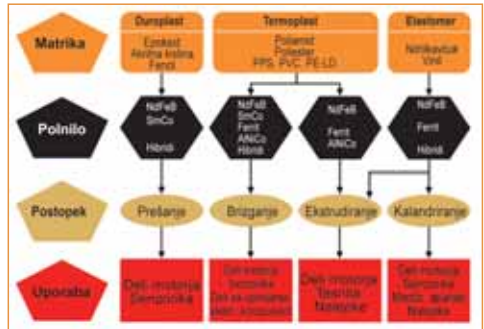
**Polimerni magneti** so zaradi hitrih in cenениh postopkov naračajo in vse pogostejši na izdelave magnetov, bodisi brizganih oz. prečanih ali pa ekstrudiranih v obliki trakov in folij, npr. za etikete, mikromotorje, biomedicinske aparate, prtljavnike avtomobilov, zvočno zaščitno, itd. Dosegati je mogoče do 90 % polnil. Z magnetnim poljem npr. do 1T lahko pove-ujemo viskoznost taline, pri čemer je uinek pri njih temperaturah večji. Uporabljamo tako duroplasti-na kot termoplasti-na ali elastomerna veziva in običajne postopke (slika 54).



Slika 52: Membransko elektrodni sklop PVdF celice



Slika 53: Metanolska gorivna celica za oskrbo avtodoma



Slika 54: Materiali, postopki in uporaba polimernih magnetov

## Polimerna fotovoltaika

Silikonske fotovoltaične celice PV proizvajajo že od leta 1980, vendar sta visoka cena in nizek izkoristek, ki značaja 12 - 15 % sonnih črkov, kriva za previsoko ceno (0,22 \$/kWh, električna iz premoga pa stane 0,04 \$). Kar 98 % proizvodnje je na osnovi silicija. Najmonejši državi sta Nemčija in Japonska, sledi jima ZDA. Rast v zadnjem desetletju je bila 30 % letno.

Polimerna fotovoltaična PPV, ki je v startu 4-krat cenejša, je močno oživila trg, in sicer do 80 % rasti v tem segmentu. Skupna rast je zdaj 47 %, za naslednjo dekadno pa napovedujejo vsaj 40 %. Vrednost trga je zdaj 5 mrd \$. Pri ceni nafte 50 \$/sod so nekatere rešitve in konkurenčne. Uporabljajo se nanostrukturirani fulereni in prevodni polimeri. Uporabljajo se premazna tehnologija iz role na rolo kot



Slika 56: Tehnologija "rola na rolo" (Konarka) daje oslojen plasti-en substrat z vgrajenim fleksibilnim vezjem.

pri fotografskih filmih ter tiskarske tehnike (Siemens, Konarka, Sharp, BP, Shell, Nanosys, Nanosolar, Kyocera, GE). Vodilen je BP, ki razvija najboljane PPV z dodatkom ogljikovih nanoccev-ic. Fleksibilne folije brez gibljivih

delov imajo vgrajene vse elemente. Folija dimenzij 3 x 5 m proizvaja npr. 110 W. Kyocera proizvaja module s 35 - 190 W in gradi kapacitete s 35 mV. Princip je dejansko polimerna LED dioda oziroma displej. Vgrajujejo pa tudi PPV v strešnike (slika 55). V Kaliforniji so opremili podro-je z 8100 hičami, ki imajo nad 50% lastne energije. Guverner Schwarzenegger je v ta namen ustanovil celo fond. Razvili so tudi "0-energijske" hiče.



Slika 55: PV material ima lahko izgled klasi-ne stre(ne kritine in odgovarja ve-ini zahtev HOA (Konarka).

## Kerami-ni kompoziti

**Visokotrдна keramika ATZ** (Alumina - toughened Zirconia), se zaradi visoke cene uporablja le, kadar rešitve s polimeri ali kovinami niso mogo-e. Kombinacija aluminijevega in cirkonijevega oksida daje kemijsko in obrabno odpornost ter trdoto aluminijevega oksida in udarno ilavost ter upogibno trdnost cirkonijevega oksida, npr. za vle-ne matrice (slika 57), vodilne letve, rezilna orodja, svedre za kirurgijo, itd.



Slika 57: Matrica iz karbidnih trdin zdr`i le nekaj mesecev, iz ATZ pa nekajkrat ve-

**Kompoziti kovina/keramika** so odli-na kombinacija visokih mehanskih in termi-nih lastnostih ter elektri-ne prevodnosti, nizkega toplotnega raztezanja, dobre obrabne odpornosti in obnažanja na visokih temperaturah.

Dejanska poraba kerami-nih kompozitov je mnogo manj{a, kot se je napovedovalo. V 1990 je trg MMC značal 3 - 37 mio \$ in leta 1999 103 mio \$, 62 % za transport, 26 % za visokotemperaturne uporabe ter 5,4 % za vesoljska plovila.

Lo-imo kompozite s kerami-no matrico (CMC) in z metalno-matrico (MMC). CMC je lahko oja-an s kerami-nimi ali metalnimi delci ali vlakni whiskersi ali v obliki kerami-ne prevleke v mnogih slojih, npr. CMC z mre`no

	Smeri raziskave pri nepolimernih kompozitih
MMC	Nizkostroškovni materiali in poceni proizvodne linije MMC iz Al in Mg za visoke T in obrabe
	Kompoziti na osnovi, drugačni od aluminija
	Reciklaža, odrezovanje, finalizacija, varjenje in alternative
	Nov matični ojačitveni sistem MMC z večfunkcijskostjo ter samopopravnim potencialom (aluminij, titan in jeklo)
CMC	Predvidevanje mehanskih in fizikalnih lastnosti nanoojačanih MMC za različne strukturne uporabe, simulacija in modelirna orodja
	NDT koncepti s posebnimi značilnostmi MMC, uporaba senzorjev in aktuatorjev
	Mikrostrukturne lastnosti, razmerja
	Novi interfazni materiali, vlakna in matrice
	NDT (neporušitveno testiranje, metode modeliranja, orodja)
	Mikrostrukturne lastnosti

mikrostrukturo kot  $A_{12}O_3/Al$  zlitine,  $TiO_2/Al$  zlitine,  $Al_2O_3/MexAl_i$  (intermetalne spojine).

MMC, ojačani s keramičnimi delci ali vlakni, vsebuje MMC na Ti-osnovi ( $Ti+SiC$  ali  $Si_3N_4$ ) za nadomestilo Ti super zlitin za reaktivne motorje ali turbine, kompresorske komponente ter MMC na bazi Al ( $Al+SiC$ ,  $TiB_2$ ,  $Si_3N_4$  ali  $Al_2O_3$ ) za avtomobilske motor-ske bloke. Keramične prevleke predstavljajo posebno skupino. Z laminiranjem različnih keramičnih materialov se lahko povečala teža. Mikrostruktura se lahko proizvede z infiltriranjem kovine v porozno keramično preformo (uporaba B/AI kompozitov za dizelske bate v vesoljskem plovilu).

Imamo zelo malo znanja na dolgoročnem mehanskem obnašanju kovinsko keramičnih kompozitov in razmeroma slabo razumevanje sovpliva teh materialov. Proizvodnja nanoMMC z uporabo SHS plazme in sušenja sprejev ima potencialno uporabo kot premazni material ( $Ti-TiC$ ,  $Ti-TiB$ ,  $Ni-TiC$ ,  $Al-TiC$ ,  $Al-TiB_2$ ).

V kovinsko-keramičnih kompozitih bodo smeri razvoja direktno nalaganje praška (DPD) za komponente s po meri narejeno funkcionalnostjo pri hitrem proizvodnjavi s 3-dimenzionalnimi in neporčitenimi metodami za analizo postopkov (npr. tomografija visoke resolucije) ter izboljšani modeli za oceno življenjskega ciklusa. Za leto 2020 so glavni izzivi MMC z boljšo odpornostjo na lezenje z uporabo nanoojačal z zanesljivimi intermetalnimi MMC z



Slika 58: Audi A8 - poželji (keramične zavore imajo 4-kratno življenjsko dobo)



Slika 59: Keramični deli v K razdelilniku olajajo teženje v orodjih (DO Therm).

boljšimi visokotemperaturnimi lastnostmi, ki jih proizvajamo z reaktivno oksidativnimi metodami, CMC odporni na postopke in lezenje za turbinske uporabe nad  $1400\text{ }^{\circ}C$ , samoobnovitveni premazi in podobno (posebno za neoksidna kompozitna vlakna z uporabo kristalnih oksidnih vlaken, ki so odporna na lezenje).

Visoka cena keramičnih kompozitov dovoljuje omejeno uporabo. V Audi A8 (slika 58) vgradijo z doplatilom keramične zavore, ki imajo 4-kratno življenjsko dobo do 300.000 km, po tem času je obraba le 0,5 mm. Izboljšana je tudi dinamika vožnje, saj je kar za 5 kg na kolo, torej za 50 %, zmanjšana nevezmetena obremenitev. Material je znan iz vesoljske tehnike: SiC z diamantu podobno kristalno strukturo in vgrajenimi C vlakni, ki prevzamejo natezne obremenitve. Izjemna trdota ter obrabna in korozijska odpornost tudi pri visokih temperaturah so glavne odlike materiala.

**Keramični izolatorji** se vse bolj uporabljajo za vroe-kanalne razdelilnike in oboje v orodjih za brizganje plastike, kot izolirne plošče, obroči in kanali, ob katerih zaradi močne izolativnosti talina neovirano teče, hkrati pa od hladnega dela orodja izolirajo do  $400\text{ }^{\circ}C$  vročotalino (slika 59).

## Lahke kovine

**Magnezij** bo kot ničla lahka kovina prodrl tudi v avtomobilsko industrijo. Od 250 t leta 2000 bo do leta 2010 poraba narasla na 800 t, kar je 24 kg po avtu oziroma 2 % teže. Glavni proizvajalec je Kitajska s 450 t, ima pa kar 22,5 % svetovnih zalog Mg (slika 60).

Prav se Mg kot najlažja kovina z gostoto  $1,74\text{ g/cm}^3$  (Al 2,7, jeklo 7,8) pojavlja tudi v portu, je večinoma uporabe metalurška, v zlitinah z Al ali v jekleni litini z grafitnimi kroglicami.



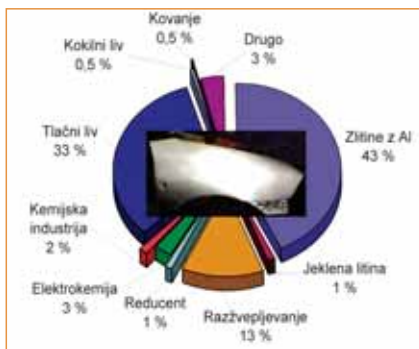
Slika 60: Magnezij - svetovna poraba od leta 1900 do 2003

Ciljne komponente so krmilni mehanizem, armaturna ploča, ohišje menjalnika, morda tudi blok motorja, zaganjač, predvsem iz zlitin z **neodimom**, **gadolinijem** in **cinkom**, ki so odporne na lezenje do 200 °C.

Proučujejo tudi uporabe za sedeže, okvire vrat, pokrov ventila, kolektor, oljno posodo, kolesa, os volana, ključavnice, zobnike in pomično streho. Možnosti oblikovanja so se močno povečale s **tiksotopnim brizganjem**, ki je skoraj identično briz-

ganju plastike. S temi komponentami bi bilo v avtu 50 - 80 kg Mg. Hiter skok porabe je zaradi zračnega hlajenja naredila firma VW (42 t), nato se je poraba zmanjšala.

Perspektivne so livarske zlitine z Al v  $\beta$ -fazi ( $Mg_{17}Al_{12}$ ). Magnezij s heksagonalnimi kristali je težje preoblikovati kot zlitine z Al s kubično strukturo, za kar gre 43 % Mg (slika 61).



Slika 61: Uporaba magnezija

## Multimateriali

Mnogo pogostejše kot povsem novi materiali so kombinacije materialov s povsem novimi lastnostmi, ki so pogosto kombinacija najboljših lastnosti posameznih komponent. Ti multimateriali se zaradi raziskanosti in dostopnosti posameznih komponent tudi hitreje uveljavijo in so ponavadi cenejši. Kombinirani materiali so tudi kompoziti in kompaundi, ki pa jih zaradi velike različenosti še tudi statistično vodimo kot samostojne skupine.

**Multimaterialni (hibridni) sistemi** so napredni materiali, kombinirani s konvencionalnimi strukturnimi materiali. Na razpolago morajo biti baze podatkov za selekcijo materialov, sposobnosti materialov iz različnih procesov in z različnimi lastnostmi za uporabo v dani aplikaciji: kovina - plastika, keramika - kovina, kom-

poziti, Al - jeklo, kovina - guma, plastika - TPE, plastika - kovina - TPE.

**Laminati steklo/plastika/kovina** so se najprej uveljavili kot laminat **steklo/PIB (poliizobutiral)** kot varnostno steklo za avtomobile in zasteklitve. Uspešna novost so laminati z vključeno gosto perforirano pocinkano pločevino (slika 62), ki dajejo zadostno trdnost tudi pri velikih obre-



Slika 62: Orientalni center v Shanghaju je podnevi kovinski, ponoči prozoren.



menitvah. Pomembnejša pa je povsem nova lastnost, to je spremenljiva prozornost in izgled oziroma barva. Fasada lahko ima podnevi zaprto kovinsko ali stekleno barvo, ponoči pa je prozorna v katerikoli barvi.

Laminat, tanka pločevina/epoksi pena gostote  $0,6 \text{ g/cm}^3$  močno poveča togost pri zmanjšanju teži in se uporablja za dno avtomobila in okvir strehe (slika 63).



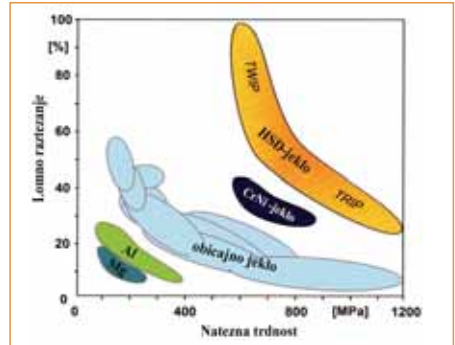
Slika 63: Pločevina/EP pena in PC lamele v A klasi

## Jekla (e ostajajo vodilna

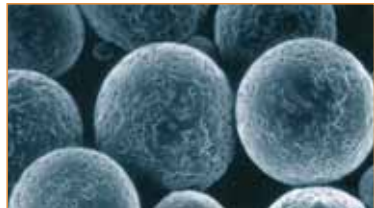
V avtomobilu, ki je glavna izločba novih materialov, bo nadaljnjih pet let vodilni material po teži še vedno jeklo, rasel pa bo delež novih visokotrdnih jekel z lažjim preoblikovanjem BH (Bake Hardening), TRIP (Transformation Induced Plasticity) in LIP (Light Induced Plasticity), slika 64.

**Sintrana ultrajekla** dosegajo pri enaki vsebnosti karbida, Cr (19 %) in Mo trdnost 62 HRC in bistveno višjo kemijsko in

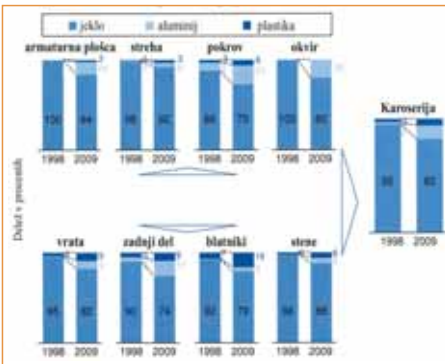
abrazijsko odpornost, pri boljših obdelovalnih lastnostih in sposobnosti poliranja. Iz aeronavtike in kirurških implantatov se uporaba razširja na orodna jekla, posebej za predelavo agresivnih materialov (slika 66).



Slika 65: Primerjava lastnosti



Slika 66: Homogenost sintranih ultrajekel



Slika 64: Izpodrivanje jekla v karoseriji

## FGM - funkcionalni gradientni materiali

**Funkcionalni gradientni materiali** (FGM) so materiali z gradienti v lastnostih, kot so tribologija, biomehanika, nanotehnologija in visokotemperaturne tehnologije. Postopno spreminjanje lastnosti in sovpilje dveh materialov, kovine in keramike ali polimera, lahko bistveno zmanjša temperaturne napetosti, koncentracije napetosti in lome z umirjenimi površinami. FGM keramika-metal imajo zaradi premostitve razpoka višjo odpornost na lome, medsebojne vezi so zelo izboljšane z usklajenimi kompozitnimi variantami. Namenjene so toplotnim stresom pri temperaturah do

Tip	Lastnosti	Postopki	Aplikacije
Keramično/kovinski voluminozni FGM, tanke prevleke	Termična sprostitelj napetosti, visoka temperatura, obrabna in mehanska odpornost	Oblončna plazma, sintranje, PVD,CVD	Visokoelektivni stroji, komponente, rezalna orodja
Ti zlitine z naraščajočo gostoto ali poroznostjo	Kombinacija dobrih mehanskih lastnosti in lahke teže	(DMLS), oskojevanje, sintranje (DMLS)	Lahke strukture za zračna plovila, implantati
Orodna jekla s C, V, Cr gradienti, superzlitine jekla in niklja za keramiko – oksidi, karbidi z gradientnimi delci	Kombinacija žilavosti, trdote in obrabne odpornosti	Aditivni, oskojevanje, 3D tisk z lokalno kontrolo, proizvodnja surovcov in sintranje ali infiltracija	Orodja, medicinski instrumenti, implantati, zračna plovila
Funkcionalno stopnjevani cementirni karbidi: Ti površine, keramični sloji, cementirana karbidna površina in vmesni gradientni sloji	Obrabna odpornost, odpornost na lome in termične razpoke	Sintranje	Orodni vložki
Feritno-austenitna kombinacija 316L in T7-4PH, jeklo-keramika	Magnetne in nemagnetne, različne in toge	Koinciranje in kosintranje s sovplivom prihodnih slojev	Avtomobilska industrija, senzori, medicinski instrumenti
Žlahtne kovine Pt, Ag kot katalizatorji in oksidi kot SnO <sub>2</sub> z gradientno nanoporoznostjo za senzore	Visoka specifična površina in sovpliv plin –kovina, stopnjevana poroznost, optimalen kontakt s substratom na masivni strani in funkcionalnostjo na nanostrani	PVD z inertnimi plini, izparevanjem in kondenzacijo ter kontroliranim nanosom	Plinski senzori, katalitski sloji, nizkotemperaturna spajanja konektorjev

Slika 67: Tipi funkcionalnih gradientnih materialov

1600 °C v plinskih turbinah, v vesoljskih plovilih, gorivnih celicah, sistemih za pretvorbo energije z uporabo termoelektrinih ali termoionskih materialov (**termalne bariere prevleke - TBC**). Uporaba: fuzijski in drugi reaktorji s kompozitnimi stenami, piezoelektrone in termoelektrone naprave, mediji za zapis podatkov z visoko gostoto, optične aplikacije z gradientnim lomnim količnikom v audio-video napravah, bioinženiringu, za dentalne in ortopedske naprave, za ognjevarna vrata in balistični material v zaščitnih jopihih.

Ve-funkcijski materiali zagotavljajo trde površine, korozijsko in temperaturno odporne, na eni strani električno prevodne in / ali magnetne lastnosti so zagotovljene samo z enim delom vzorca. FGM-ji se izdelajo ali z infiltracijo kovine (brez pritiska, s stiskom odlitka ali z infiltracijo s plinom in pritiskom v porozno "preformo" ali s sintranjem množice različnih kovinsko-keramičnih kompozicij skupaj z vročim prežganjem (sintranje z enoosno obremenitvijo). Na področju biomaterialov, kjer so gradienti od titanija do hidroksiapatita z uporabo plazma sprejanja za proizvodnjo FGM.

Ve-funkcijski materiali zagotavljajo trde površine, korozijsko in temperaturno odporne, na eni strani električno prevodne in / ali magnetne lastnosti so zagotovljene samo z enim delom vzorca. FGM se izdelajo ali z infiltracijo kovine (brez pritiska, s

stiskom odlitka ali z infiltracijo s plinom in pritiskom v porozno "preformo" ali s sintranjem množice različnih kovinsko-keramičnih kompozicij skupaj z vročim prežganjem (sintranje z enoosno obremenitvijo). Na področju biomaterialov so gradienti od titana do hidroksiapatita z uporabo plazma spreja za proizvodnjo FGM.

Procesne tehnike FGM, ki vključujejo praškasto sintranje, vročevitkovanje, vročo ekstruzijo, elektroforetsko nanašanje, koloidno proizvodnjo in proizvodne tehnike standardnih polimerov (raztopinsko litje, termično indukcijsko fazno ločevanje). **Bioaktivni FGM** imajo posebno pomembno vlogo: kovinsko biokeramični FGM premazi na biomedicinskih substratih, **nitinol intermetali** z oblikovnim spominom, tridimenzionalni FGM (kovinski biokeramični in polimerni biokeramični) v obliki visokoporoznih s prirejenimi kompozicijami in gradientno poroznostjo, 3D mehansko obnašanje teh biomaterialov in njihova mehanska interakcija z biološkimi vlakni. Opis materiala izvedemo preko naprednih raziskovalnih tehnik kot npr. nanorezanje in ultrazvok. Te oblikujejo temelj za zanesljive elektrokemomehanske simulacije obnašanja organa - vsadka v življenjskih razmerah.

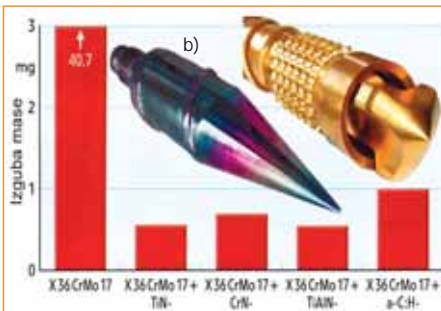
Da bi ugotovili ve-funkcionalnost in dalje razumeli dinamično obnašanje loma FGM, potrebujemo modeliranje FGM.

## Premazi, prevleke

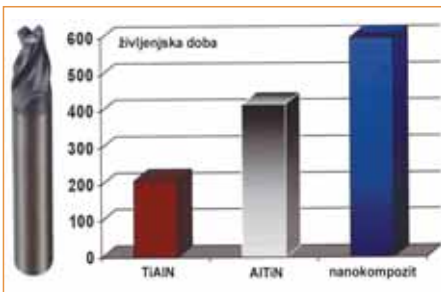
### Tankoslojne prevleke PVD, CVD

Prevleke iz Ti in Cr nitridov zaradi manjše obrabe, trenja in lažjega ločevanja vse pogosteje uporabljamo za rezilna orodja ter gnezda in gibljive dele brizgalnih orodij. Nanoš kovin ali nitridov poteka pri  $10^{-3}$  do  $10^{-6}$  mbar in pri temperaturi pod  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri fizikalnem naprejevanju PVD ali nad  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri kemijskem naprejevanju CVD. Zaradi manjšega oprijema in večje izolativnosti dosegamo pri brizganju bistveno večje potiteneje. Nitridne PVD prevleke se odlično obnesejo tudi za plastificirne polimere, medtem ko jih v cilinder ni mogoče nanesti (slika 68).

Razen nitridov se uporablja ogljik v diamantni strukturi **DLC (diamond-like**



Slika 68: Obraba tankih slojev v primerjavi z orodnim jeklom 1.2316, b) PVD z 3 - 9  $\mu\text{m}$  nanosa CrN preprečuje oprijem lepljivih EVA, ABS...



Slika 69: Podaljšana življenjska doba frezerjev z nanokompoziti

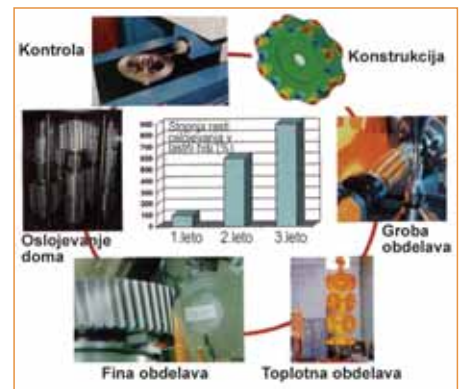
**carbon).** Problem je tanka debelina nekaj  $\mu\text{m}$ , ki se lahko obrabi ali tudi poškoduje pri premehki podlagi - efekti jaje lupine. Pomembnejše od začetne pred obrabo je preprečevanje nastanka temnih oblog iz razpadnih produktov POM, PC, barvnih pigmentov, itd., ki se kružijo naknadno in povzročajo napake posebej na prozornih izdelkih. Nalaganje oblog naračajo v področju visoke fricije oz. temperature in pritiska, ne odstrani jih niti izločanje s stisnim granulatom. Neparjeni sloji lahko v celoti preprečijo nastajanje oblog na polih in tudi v orodjih.

**PVD nanokompoziti (LARC-Platit)** močno podaljšajo življenjsko dobo rezilnim orodjem (slika 69).

Uporaba PVD za rezilna orodja se je iz storitev, kjer je običajna doba 2 - 14 dni preselila tudi v male orodjarne, ki orodja same oslojujejo (slika 70).

Z oslojevanjem doma prihranimo na številu frezerjev, njihovih popravilih in zamenjavah, omogočamo korekture itd.

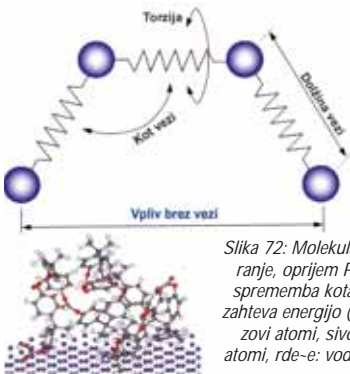
**Plazemske PICVD prevleke** omogočajo kot steklo odporno prozorno površino plastike, ki bodisi v celoti vsrka ali pa ojača svetlobo. Osnovna hiba kemijskih prevlek CVD je bila do nedavnega visoka potrebna temperatura (preko  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Nov postopek z uporabo impulzov plazme (PICVD Plasma Impulse Chemical Vapour Deposition - Schott) omogoča



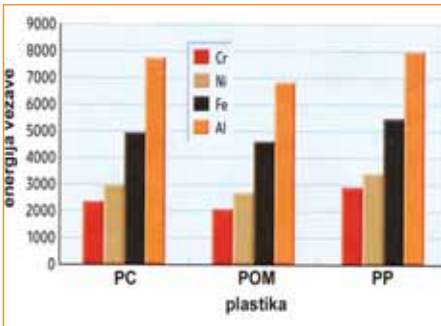
Slika 70: Integracija oslojevanja v orodjarne



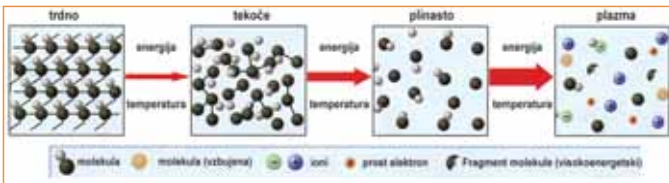
Slika 71: PC na praske odporen displej brez refleksije in popolna zaščita zdrvil



Slika 72: Molekularno modeliranje, oprijem PC na jeklo, sprememba kota in razdalje zahteva energijo (modro: ogljikovi atomi, sivo: ogljikovi atomi, rdeče: vodikovi atomi).



Slika 73: Največje energije za oprijem zahteva PP, najteje pa se plastika oprime Cr.



Slika 74: Plazma kot četrteto agregatno stanje

nanašanje več slojev z uporabo vpihavanja z mikrovalovi vzpodbujene pulzirajoče plazme. Ob tem plazma razpade, produkti, običajno oksidi, pa tvorijo ekstremno homogene večslojne prevleke v debelini par  $\mu$  in z diriganimi lastnostmi. Za displeje v avtomobilu se npr. uporablja 4 sloje: polimerni prijemalni sloj, delno anorganski sloj odporen na praske, protirefleksni sloj iz menajolitov in slojev  $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ . Prekrovnostni sloj je iz hidrofobnega lahko-istilnega polimera. Dobimo odpornost na praske na nivoju stekla. Padajočiarki se odbijajo na posameznih slojih in se po odboju bodisi povsem nevtralizirajo, sicer se odbija svetloba zmanjša pod 1 %-ni delež, ali pa searki seštevajo in imamo malo svetleče dele površin, npr. posamezni znaki na sicer prozorni plošči. Z debelino slojev lahko dosegamo tudi barvne prozorne efekte. Sloji tako lahko dosežejo različne svetlobne koncepte. Nizka temperatura nanašanja omogoča tudi uporabo za proizvodnjo embalaže, ki vsestransko zaščiti npr. zahtevna zdravila (slika 71).

**Molekularno modeliranje** je metoda, pri kateri lahko z računalniškimi simulacijami predvidimo obnašanje molekul v kontaktu. Pri vezavi molekul pride do sprememb v razdaljah, kotih med atomi, do torzije, za kar je potrebna energija. Ta npr. vpliva tudi na adhezijo (slike 72, 73). Molekule se postavijo v položaj, ki zahteva najmanjšo energijo.

Modeliranje je eno glavnih orodij bodočega razvoja novih materialov, predvsem polimernih, praktično pa se je malo uveljavilo pri prevlekah.

## Uporaba odprte plazme OP

Plazma je četrteto agregatno stanje, ko molekule z dovoljenjem energije razpadejo na ione, proste elektrone in fragmente molekul z visoko energijo (slika 74).

[ele mo`nost uporabe odprte plazme OP (Openair Plasma) pri atmosferskem pritisku in temperaturi 300 - 1500 °C omogo-a uporabiti plazmo industrijsko tudi na linijskih procesih. Skozi {obe pod visoko napetostjo izpihavajo zrak oziroma procesni plin, vendar se plastika ne segreje za več kot 20 °C. Plazma je uporabna za:

- i{enje povr{in z odstranjevanjem lo-il in dodatkov,
- aktiviranje z nastankom funkcionalnih skupin, ki pove-ujejo oprijem lepil in premazov,
- izbolj{avo lastnosti z nanosom plazma polimerov.

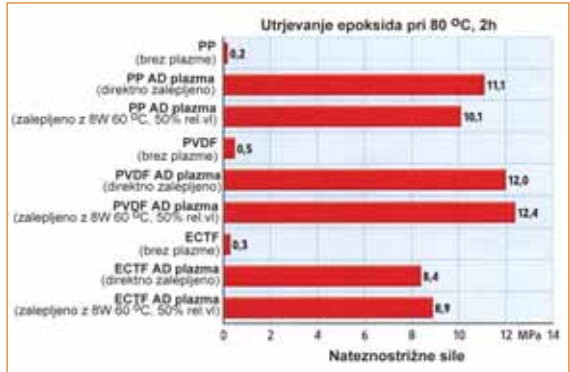
Nepolarni materiali se prakti-no ne lepijo, s plazma aktiviranjem pa silo prijema pove-amo preko 50-krat. Efekt je stabilen nekaj mesecev.

**Uporaba OP** je najpogostej{a za pove-evanje oprijema, npr. z odstranjevanjem lo-ila s PUR ali kompozitnih izdelkov, polizdelkov in pohi{tveni in avtomobilski industriji, industriji koles, odstranjevanje organskih spojin pred metalizacijo, odstranjevanje ostankov lakov pred zalepljenjem, npr. v industriji reflektorjev, pri visokozahtevnih spajanjih v avtomobilski industriji, pri mokrem etiketiranju itd. Za plazmo je mogo-e uporabiti lake in lepila na vodni bazi, UV utrjajo-e, kazeinska in druga zahtevnej{a lepila.

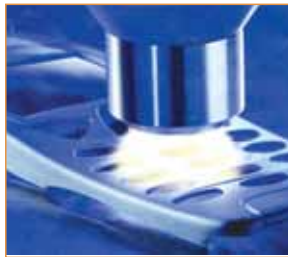
Plazemsko oslojevanje je bilo do nedavno mogo-e uporabiti le z vakuumom. Sedaj se uporabljajo **prekurzorski materiali**, to je uparjeni reakcijski materiali, ki se ve`ejo na povr{ino in dajejo povr{inam povsem druga-ne lastnosti. Tako na primer oslojujemo CD s protivodnimi barijerami, sicer bi morali uporabljati cikloolefinske PC (slika 75).

Na mobilni telefon je mogo-e nalepiti PC okenca (slika 76).

**Plazma oslojevanje folij** (Kufoplas) je najnovej{i kontinuirni postopek za PP in



Slika 75: Primerjava nateznostrni nih sil lepilnih spojev z in brez plazme



Slika 76: Z UV lepilom brez razred-il

BOPP folije, ki se mno`i-no uporabljajo v prehrani, za cigarete, etikete v elektroindustriji, itd. Tisk omogo-imo s koronskim ali plamenskimi obdelovanjem, ki pa ima kratkotrajen in manj{i u-inek. Korona deluje tudi obojestransko, tako se folije v roli lahko zlepijo. Novo razvita linija BOPP ima hitrosti do 200 m/min in {irino 10 m. Z namestitvijo plazma {ob na raztegovalno napravo v razdalji 40 mm in prokurzorskega plina so dosegli visoko oprijemljivost pri maksimalni hitrosti 250 m/min. Povr{inska napetost, ki je pri neobdelanem PP 27 mN/m, se je pove-ala na 72 mN/m. Plazma je aktivirala povr{inske skupine z O in N, s -imer je omogo-eno celo lakiranje z vodnimi laki.

### UV laki za 3D izdelke

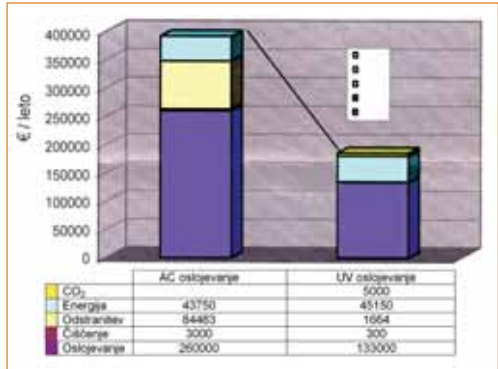
UV utrjevalni laki so za ve-je povr{ine v industriji `e postali standard, in sicer predvsem zaradi hitrega utrjevanja brez topil in bolj{e kvalitete.

Z uporabo CO<sub>2</sub>, ki prepre-i dostop kisiku, ki sicer inhibira utrjevanje, se je raz{irila uporaba UV lakov na vse substrate. @e leta se UV laki uporabljajo za oslo-

jevanje papirja, lesa in plastike, torej za ravne površine, kjer lahko svetilo močno približno in z večjo intenziteto in hitrostjo utrjevanja preprečimo inhibiranje kisika. Zrauni kisik namreč s vzporednimi reakcijami blokira radikale, ki zaenjajo polimerizacijo. Zato mora biti svetilo le nekaj cm od substrata, kar pri 3D izdelkih ni mogoče, ali pa le z uporabo robotov. Z dovajanjem CO<sub>2</sub>, ki je 1,5-krat teži od zraka, ta izpodrine kisik. Da preprečimo izgube CO<sub>2</sub> in konvekcijo zaradi pregrevanja, so svetila ločena s steklom, komore pa so iz reflektirajočega Al, ki odbija UV svetlobo. Tako lahko lakiramo tudi les, npr. stole z vodnim lakom, v kabini z vračanjem odpadnega laka, kar daje velike prihranke. Preto ni sušilnik dolžine 4 m ima tri UV enote moči 2000 W. UV laki so brez hlapnih sestavin, potrebne so ni investicije, procesni stroški so ni, dosežemo pa hitrost traka 3 - 5 m/min. Temperaturno občutljivi les in plastika se sušita pri temperaturi pod 40 °C. Izdelke je mogoče menjati brez preureditve linije, zato je proces 2-krat cenejši (slika 77).

V lakih uporabljamo nanotehnologijo najpogosteje kot samo-istilno nanostrukturo ali za preprečitev razpok pri udarcih, z visokoelastinimi nanopolnili (npr. silikon Genioperl, slika 78). Lakom in lepilom lahko tako povečamo tudi temperaturno stabilnost preko 260 °C. Z akrilno raztopno nanoAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Nanobyk) koncentracije 0,5 - 5 % dobimo lake, odporne na praske.

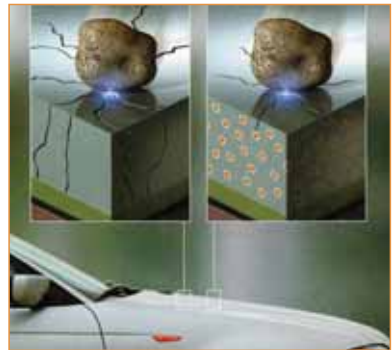
**UV - plazma** je novost, ki omogoča utrjevanje UV avtolakov brez UV svetila. Utrjevanje poteka v plazma komori brez emisij z ničlo vloženo energijo, predvsem pa neodvisno od oblike in brez senc na teže dostopnih mestih (Dürr).



Slika 77: Primerjava proizvodnih stroškov s SH lakom in UV vodnim lakom



Slika 79: Digitalni manometer s točnostjo 0,05 bara doprinese k natančni debelini in barvnemu tonu pri lakiranju



Slika 78: Silikonski nanodelci preprečijo razpoke akrilnega laka ob udarcu.

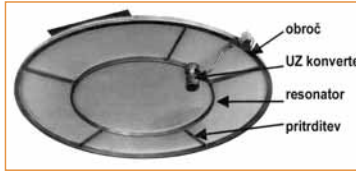


Slika 80: NIR grelec, 1500 kW/m<sup>2</sup>, sušenje 3 s

**Infragrelec (NIR)** z valovno dolžino 0,8 - 1,5 μm in z zelo visoko gostoto energije 1500 kW/m<sup>2</sup> posuši lak v 3-5 sekundah in to pri 20-50 °C njih temperaturah. Mogoče je nanati 15 - 20 μm debeline na trakove s hitrostjo 180 m/min. Grelne plošče imajo reflektirajoče ozadje, ki odbije 99,9 % žarkov in so pritrjene na vodno hlajeno ohišje (slika 80).

**Pračnati laki** imajo pred klasičnimi in vodnimi bistveno prednost, ker jih utrjujemo le s taljenjem in hkratnim utrjevanjem, kar da kompaknejši in trdnjejši sloj. Za utrjevanje so najboljše bližnji kratkovalovni

infrarde-i `arki NIR ali srednjevalovni karbonski CIR. Taliyo od znotraj navzven, s -imer so izklju-eni mehur-ki, nastajanje ko`ice, dosega pa se idealen film. Pomemben je nana{alni ciklon s sitom, ki lo-i groba zrnca in smeti, a se ne sme zama{iti. Nova je uporaba ultrazvo-nega 20 kHz resonatorja v obliki obro-a, ki vibrira sito, tako da se zrnca ne zatikajo. Tako uporabljajo sita do premera 0,7 m (Telsonic), slika 81.



Slika 81: Sita za nanos pra{kastega laka z UZ vibratorjem

## UV lepila

Lepljenje plastike med seboj, na kovine, steklo in druge materiale zaradi prihranka na te`i in -asu vse pogosteje zamenjuje mehanske pritrditve. Zaradi visoke hitrosti utrjevanja in {irokih mo`nosti izbora pogojev in kvalitete spajanja se vse bolj uveljavljajo enokomponentna UV lepila, pri katerih se z dodatkom **fotoiniciatorjev**, ki razpadejo pri to-no dolo-eni valovni dol`ini svetlobe, spro`i reakcija utrjevanja. Pri akrilatnih lepilih so to reakcije z radikali, pri epoksidnih pa s kationi. Imamo eno- in dvokomponentna lepila, dvokomponentna, predvsem epoksidna, utrjujejo s toploto, kar lahko traja nekaj ur. Za UV utrjevanje z nevidno UV (slika 82) ali modro svetlobo uporabljamo enokomponentna lepila, in sicer najve- akrilatna. Pri teh je izbor lastnosti zelo {irok. Mo`na je popolna

avtomatizacija, vklju-no s kontrolo. Z dodatkom fluorescentnih in barvnih pigmentov lahko utrjevanje vizualno kontroliramo. Zelo {irok je izbor viskoznosti, oprijemljivosti, trdote, trdnosti in itd.

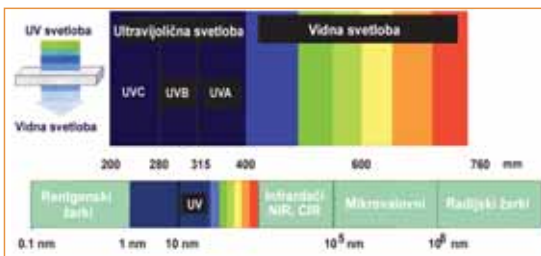
Prednosti UV lepil:

- procesni -as v sekundah,
- enostavno avtomatiziranje in kontrola,
- zni`anje te`e,
- ni me{anja lepil in -akanja,
- zalepljenje na "komando", brez osvetlitve lahko dele ponovno razstavimo,
- lepljenje skoraj vseh materialov,
- ni topil in ventilacije.

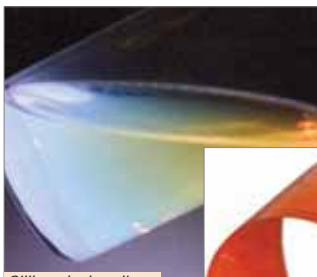
Za zanesljivost lepljenja moramo lepljivost testirati, dolo-iti primerno te-ljivost za lepljenje, zahtevane fizikalne lastnosti v sistemu in -as utrjevanja, zahtevane specifikacije in certifikate.

Lepilo izbiramo v 5-ih korakih: dolo-imo oprijem s kapljo na substrat, izberemo viskoznost in fizikalne lastnosti, kot sta trdota in trdnost, izberemo -as utrjevanja glede na povr{ino ter specifikacijo glede na zahtevane standarde.

Za utrjevanje potrebujemo najve-krat UVA svetlobo s 365 nm in modro svetlobo s 436 nm (slika 82). Ena od komponent mora biti propustna za eno od teh svetlob. ^as utrjevanja zavisi od intenzivnosti svetila. Nekatere plastike so propustne za UV, druge za vidno svetlobo, zato je koristna kombinacija. Tako se pospe{i utrjevanje tudi do ve-je globine. Propustna je tudi navidez neprozorna plastika. Za utrjevanje uporabljamo to-kovno svetilo, ki daje svetlobni sto`ec premera 5 mm in visoko intenziteto 4000 -20000 mW/cm<sup>2</sup> v UVA podro-ju. Za ve-je povr{ine uporabljamo plo{-ato svetilo z intenziteto 30 - 225 mW/cm<sup>2</sup> npr. velikosti 20 x 20 cm. Za avtomatsko proizvodnjo uporabljamo kontinuirni svetlobni tunel s plo{-atim svetilom. Priporo-ljiva je kontrola utrjevanja z radiometrom. Lepila so se uveljavila v zra-ni tehniki, elektroniki, medicini, steklarski in opti-ni industriji, itd.



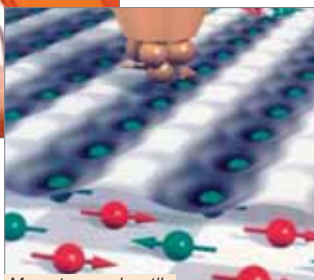
Slika 82: Spekter elektromagnetnega valovanja



*Silikonske kroglice v nanovelikosti: homogena motna raztopina silikonskih delcev s premerom približno 100 nm*



*Inteligentni kompozit dela kot mišičice.*



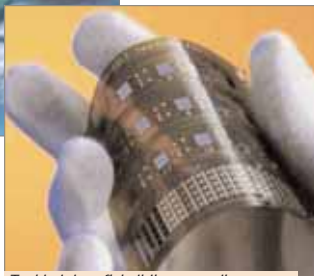
*Magnetna sonda vrtilno polariziranega ras-trskega tunelskega mikroskopa zazna magnetne lastnosti posameznih atomov.*



*Inteligentna embalaža s transponderjem na polimerni podlagi*



*Inteligentna obleka: integrirana elektronika predvaja MP3 glasbo, vodi skozi mesto in nadzoruje pulz.*



*Tanki -ipi na fleksibilnem nosilcu, npr. za inteligentne etikete, ki jih je mogoče integrirati v embalažo ali v oblačila.*