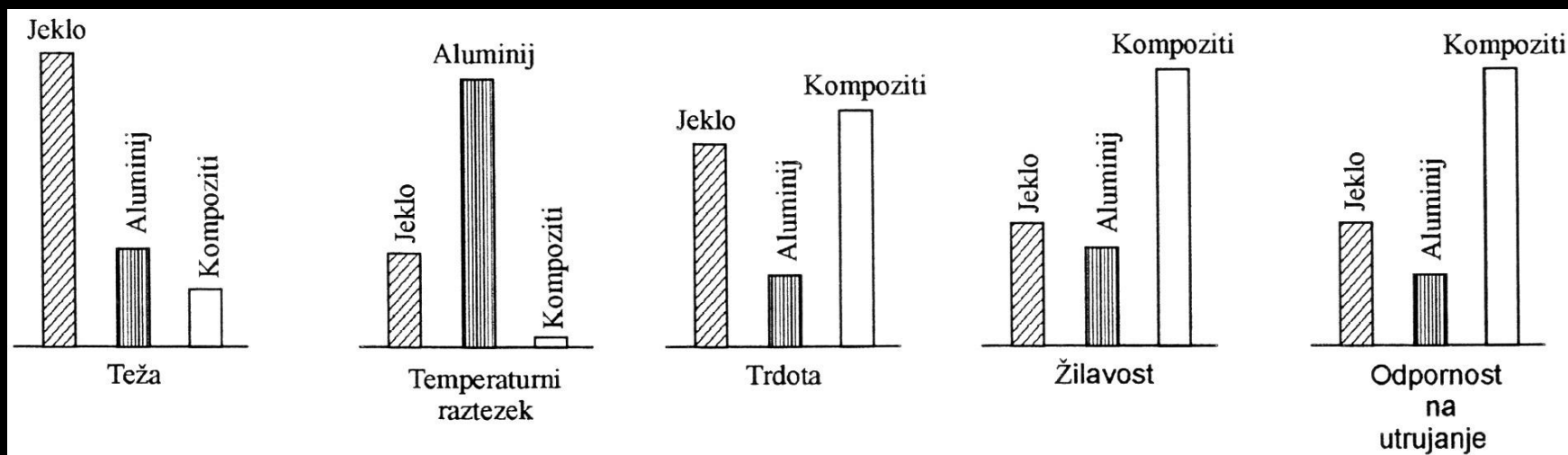


# KOMPOZITNI MATERIALI



- Kompozitni materiali so sodobni materiali, ki so sestavljeni iz dveh ali več različnih materialov na makroskopskem nivoju
- Vsak kompozitni material je sestavljen iz osnove ali matrice ter utrjevalne faze ali tudi ojačilnega elementa
- Velika prednost kompozitnih materialov je, da lahko njihove lastnosti načrtujemo naprej
- Lastnosti so predvsem odvisne od izbire matrice in utrjevalne faze, oblike, orientacije utrjevalne faze ter prostorninskega deleža faz



- V zadnjem času kompozitni materiali dobivajo velik pomen, saj so postali nepogrešljivi v vesoljski, letalski in vojaški tehniki. Močno pa so se tudi že uveljavili v potrošniški industriji (avtomobilska, športni rekviziti,...)



- Nek material lahko prištevamo med kompozite, če izpolnjuje naslednje pogoje:
  - ni naravna tvorba
  - sestavljen je iz več sestavin, ki so med seboj jasno razmejene
  - posamezne sestavne dele ločimo s prostim očesom
  - njegove lastnosti se razlikujejo od lastnosti sestavnih delov
  - ena sestavina mora biti zvezna (osnova), druga sestavina pa prekinjena in razdeljena (utrjevalna faza ali armatura)



- Kompozite delimo glede na material osnove na:
  - Kovinske kompozite (MMCs)
  - Keramične kompozite (CMCs)
  - Polimerne kompozite (PMCs)
- Glede na obliko utrjevalne faze pa delimo kompozite na:
  - Kompozite, utrejene z delci
  - Kompozite, utrjene s kosmiči
  - Kompozite, utrjene z vlakni
  - Strukturne kompozite
  - Kompozite s polnili
- Kompozite pa delimo tudi glede na to, ali je utrjevalna faza usmerjena ali pa je naključno razporejena





# ZGRADBA KOMPOZITOV - OSNOVA

- Osnova daje kompozitu obliko in monolitnost
- Zagotavlja ustrezno nosilnost – obremenitve prenaša na vlakna, zavira napredovanje razpok, utrjevalno fazo pa ponavadi ščiti pred okolico
- **KOVINSKE OSNOVE:**
  - Običajno imajo veliko trdnost in žilavost
  - Ponavadi želimo doseči večji modul elastičnosti, kar dosežemo z utrjevanjem z vlakni
  - Večina vlaken, ki se uporabi pri tem kompozitu pa ima tudi manjšo gostoto
- **KERAMIČNE OSNOVE:**
  - Imajo veliko trdnost in so zelo krhke
  - Atomi so med seboj povezani z ionsko ali kovalentno kemijsko vezjo
  - So odporni proti toplotnim in mehanskim šokom, imajo majhno toplotno prevodnost
  - Natezna napetost ni velika, modul elastičnosti je velik
  - Prenášajo lahko visoke temperature (nad 1500°C) in imajo majhno gostoto
  - Z izdelavo kompozitov želimo izboljšati lomno žilavost in temperaturno stabilnost



# ZGRADBA KOMPOZITOV - OSNOVA

## • POLIMERNE OSNOVE:

- Imajo manjšo trdnost in modul elastičnosti kot kovinske in keramične osnove
- Imajo zelo majhno gostoto in so dobro odporni proti kemikalijam in vodi
- Osnove iz plastomerov so žilave, iz duromerov pa krhke
- V večini slabo prevajajo toploto in električni tok
- Najpogosteje uporabljene polimerne osnove so duromeri: epoksidne smole, nenasičeni poliestri, fenolne smole, seveda pa je še kar nekaj plastomerov



# VRSTE KOMPOZITOV

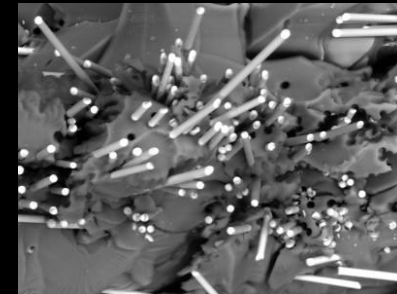
## Vrste kompozitev glede na matrico - povzetek

a) polimerni kompoziti (PMCs):  
epoksi smola, poliester

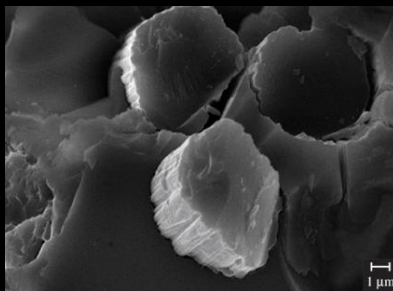
b) ogljikovi kompoziti (*Carbon  
Carbon Composites*)

c) kovinski kompoziti (MMCs)

č) keramični kompoziti (CMCs)

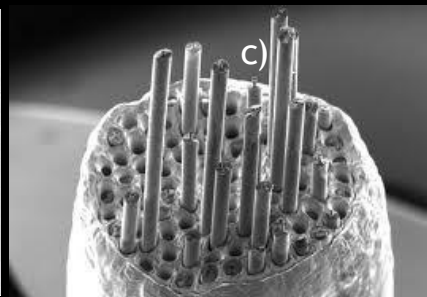


a



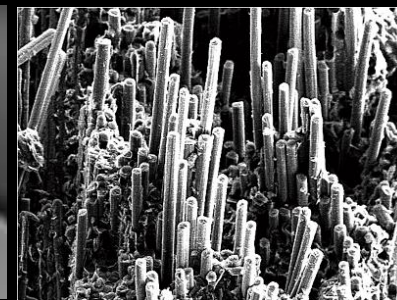
b

Matrica = grafit  
Vlakna CF



c

SiC vlakna v  
kovinski

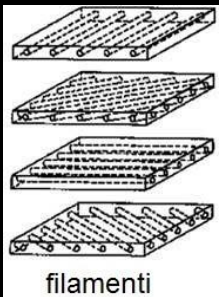


č

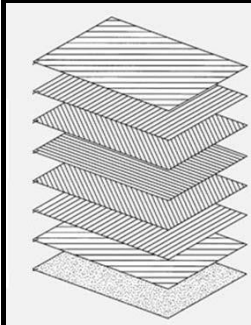
# VRSTE KOMPOZITOV GLEDE NA UTRJEVALNO FAZO



kratka vlakna



filamenti

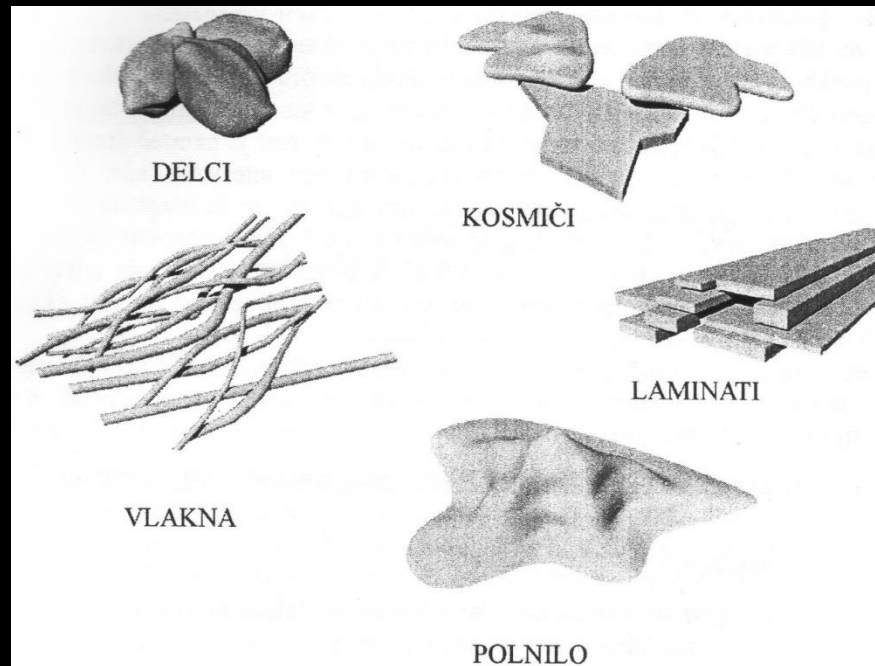


laminati



# ZGRADBA KOMPOZITOV – UTRJEVALNA FAZA

- Utrjevalna faza je nezvezna sestavina kompozita, ki izboljša mehanske lastnosti zvezne sestavine – osnove; s tem dosežemo željene lastnosti
- Utrjevalna faza je lahko amorfna ali kristalna
- Glede na obliko pa delimo utrjevalno fazo na: delce, kosmiče, vlakna, lističe ali polnila



# ZGRADBA KOMPOZITOV – UTRJEVALNA FAZA

- Kompoziti z utrjevalno fazo iz vlaken z zelo majhnim premerom imajo veliko večjo trdnost in togost kot pa material z večjimi dimenzijami
- Vzrok temu je, da imajo tanka vlakna bistveno manj napak, kot pa isti material večjih dimenzij
- Prav zaradi te lastnosti se kompoziti z vlakni veliko uporabljajo kot konstrukcijski material
- Vlakna, ki jih uporabljamo za kompozitne materiale lahko razdelimo na:
  - viskerje
  - kratka, (diskontinuirana) vlakna
  - dolga (kontinuirna) vlakna
- Viskerji so zelo tanki monokristali, ki imajo veliko razmerje dolžina/premer
- Njihova kristalna mreža vsebuje izredno majhno število napak, zato so viskerji izredno trdni
- Njihova slabost je visoka cena, kar onemogoča dostopnost
- Kratka in dolga vlakna so amorfna, lahko pa so tudi kristalna



# ZGRADBA KOMPOZITOV – UTRJEVALNA FAZA

- Za uspešno utrditev osnove morajo imeti vlakna naslednje lastnosti:
  - majhno gostoto
  - velik modul elastičnosti
  - veliko natezno trdnost
  - majhno topnost v osnovi
  - termodinamično stabilnost
  - kemijsko obstojnost
  - nestrupenost
  - ustrezne tehnološke lastnosti
- Vlakna, ki se v večini uporabljajo danes, imajo veliko trdnost in majhno gostoto, atomi v vlaknih pa so po navadi povezani z kovalentno vezjo za zagotovitev velikega modula elastičnosti

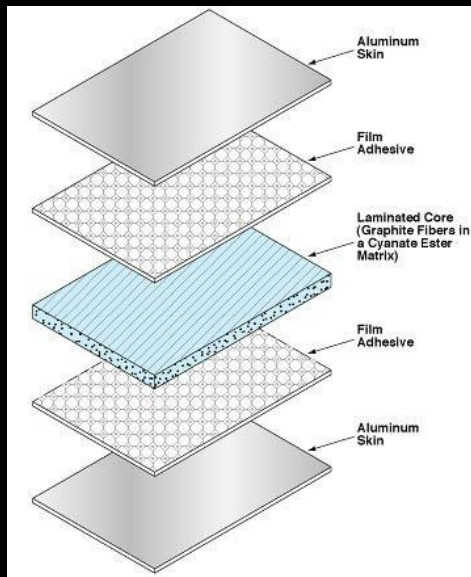


Ogljikova tkanina



# ZGRADBA KOMPOZITOV – MEJNE POVRŠINE

- Lastnosti kompozita so odvisne od osnove, utrjevalne faze in mejnih površin, ki so med osnovo in utrjevalno fazo
- Povezava med osnovo in utrjevalno fazo je na mejni površini lahko mehanska ali kemična
- Večina kompozitnih materialov je sestavljena iz termodinamično nezdružljivih sestavin – neravnotežje je gonilo medfaznih reakcij, ki so v določenem pogledu celo nujne za izdelavo kompozita z dobrimi lastnostmi



Primer kompleksnega materiala izdelanega iz kompozitov in drugih materialov





# LASTNOSTI KOMPOZITOV

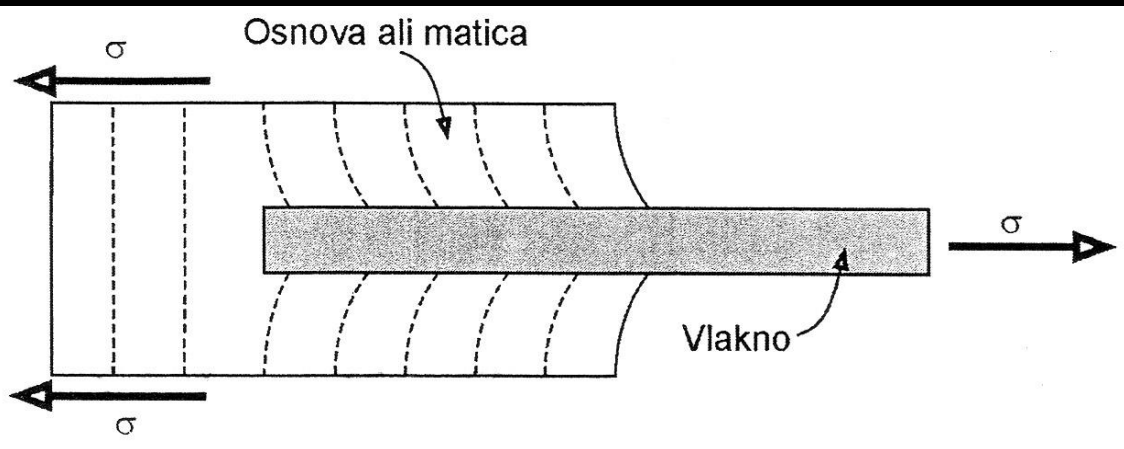
- Omenili smo že, da so lastnosti kompozitov odvisne od osnove, utrjevalne faze in mejnih površin
- **Kompoziti utrjeni z velikimi delci**
  - Običajno so delci enako veliki z enako obliko in so enakomerno porazdeljeni v osnovi
  - Mehanske lastnosti se z večanjem deleža polnila ponavadi izboljšujejo
  - Delce lahko dodamo zaradi: spremembe lastnosti, izboljšanja lastnosti ali pa samo, da zamenjamo material s cenejšim polnilom
- **Kompoziti utrjeni z majhnimi delci**
  - Ni ostre meje med kompoziti in disperzijsko utrjenimi zlitinami
  - Trdnost kompozita utrjenega z majhnimi delci je odvisna od sposobnosti teh delcev, da blokirajo drsenje dislokacij v osnovi
  - Tako torej je trdnost odvisna od velikosti, gostote delcev, od razdalje med delci in od skladnosti mejne površine s kristalno mrežo osnove



# LASTNOSTI KOMPOZITOV

## • Z vlakni utrjeni kompoziti

- Ta vrsta kompozitov je najbolj znana in se tudi veliko uporablja, saj se odlikuje z veliko trdnostjo in togostjo pri zelo majhni gostoti
- Kompozite utrjene z vlakni delimo glede na dolžino vlaken na kompozite z dolgimi vlakni ali kontinuirne kompozite in kompozite s kratkimi vlakni ali diskontinuirne kompozite
- Diskontinuirni kompoziti nimajo bistveno večje trdnosti od osnove, saj so vlakna prekratka, da bi se lahko napetosti iz osnove uspešno prenesla na njih



Slika nam prikazuje prenos napetosti z osnove na vlakno

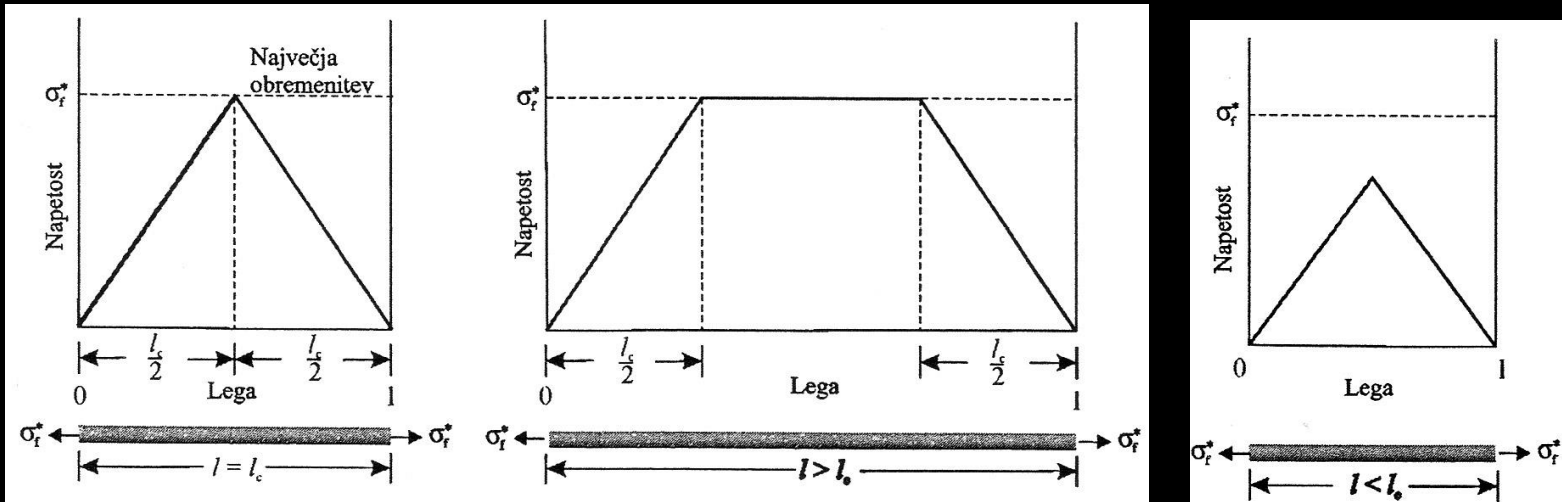


# LASTNOSTI KOMPOZITOV

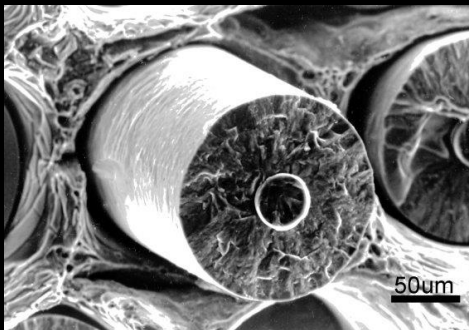
- Napetost, ki jo osnova prenese na vlakno, se povečuje z oddaljenostjo od koncev vlaken. Pri določeni vrednosti  $x$  doseže napetost največjo vrednost
- Vlakno ima kritično dolžino takrat, kadar velja  $l=2x$ , torej kadar je vlakno dolgo za dve vrednosti  $x$
- Kritična dolžina vlakna pa je odvisna tudi od premera vlakna, natezne trdnosti vlaken ter od jakosti kemijske vezi. Če poznamo vse te parametre, lahko izračunamo kritično dolžino vlaken:  $L_C = d \cdot \sigma_F / \sigma_C$
- Če delujemo na kompozit z napetostjo  $\sigma = \sigma_F$  in je  $l = L_C$ , potem dosežemo največjo napetost točno na sredini vlakna
- Če je  $l > L_C$  je utrjevanje z vlakni še bolj uspešno, saj se poveča tisti del vlakna, ki je obremenjen z največjo napetostjo
- Kadar pa je  $l < L_C$  pa je utrjevanje z vlakni slabše, saj na nobenem odseku vlakna ne dosežemo napetosti  $\sigma_F$
- Vlakna, ki imajo dolžino  $l > 15L_C$  imenujemo zvezna (kontinuirna) vlakna, tista, ki imajo pa manjšo dolžino pa imenujemo nezvezna (diskontinuirna) vlakna
- Kompoziti z vlakni, ki so krajši od  $L_C$ , pa so po lastnostih podobni kompozitom utrjenimi z delci



# LASTNOSTI KOMPOZITOV



Slika nam prikazuje porazdelitev napetosti po vlaknu v odvisnosti od dolžine vlaken in jakosti kemijske vezi



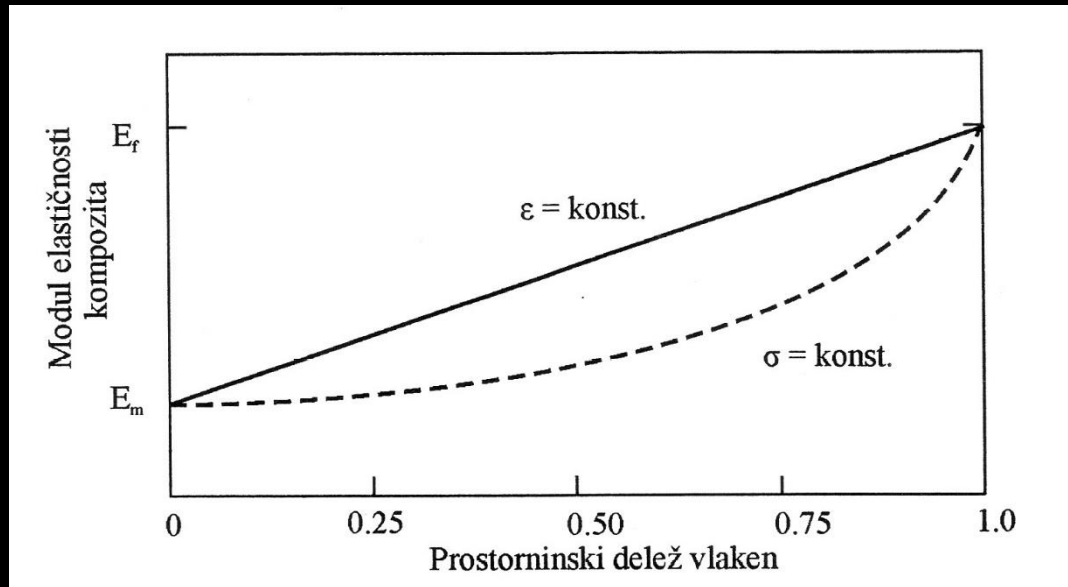
Prikaz enega izmed vlaken





# LASTNOSTI KOMPOZITOV – VPLIV ORIENTACIJE IN DELEŽA VLAKEN NA MEHANSKE LASTNOSTI

- Zelo dobra lastnost kompozitnih materialov je, da lahko veliko lastnosti že vnaprej izračunamo
- Vse enačbe za izračun lahko najdemo v knjigi Gradiva – Zapiski predavanj, ki je navedena na koncu prezentacije med viri



Spreminjanje modula elastičnosti kompozita utrjenega z zveznimi vlakni v odvisnosti od prostorninskega deleža vlaken pri vzdolžni (A) in prečni (B) obremenitvi



# NAJPOGOSTEJE ZASTOPANI MATERIALI

## Polimerne matrice

- termostabilni polimeri:  
epoksi smole
- termoplastični  
polimeri: poliestri

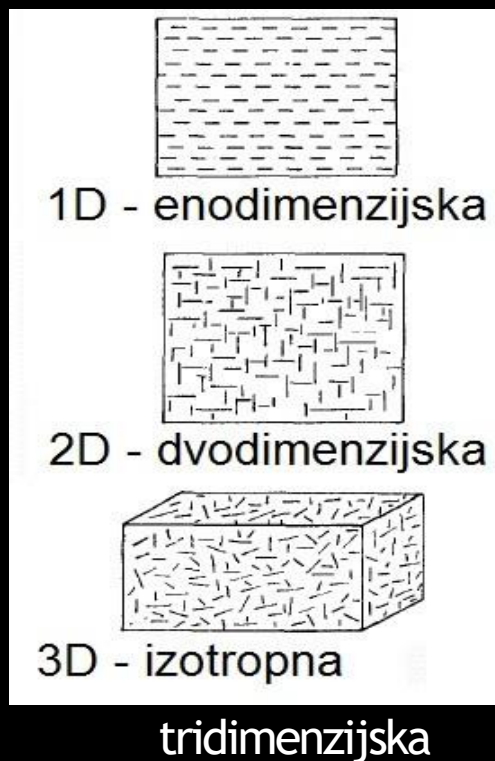
## Ojačitvena vlakna

- steklena vlakna
- ogljikova vlakna
- aramidna vlakna

Tipično razmerje med matrico in ojačitveno fazo: 60 :  
40

*FRC = Fibre Reinforced Composites TRC = Textiles  
Reinforced Composites*

# NAČINI OJAČITVE IN LASTNOSTI OJAČITVENE FAZE



Za uspešno utrditev matrice morajo imeti vlakna naslednje lastnosti:

- **nizka gostota** (za 20–25 % nižja poraba goriva pri rabi kompozitov v primerjavi z aluminijem v avtomobilih)
- **dimenzijska stabilnost**
- **visok modul elastičnosti**
- **velika natezna trdnost**
- **odpornost na utrujanje**
- **netopnost v matrici**
- **termična stabilnost**
- **kemična obstojnost** - odpornost na korozijsko
- **nestrupenost**
- **ustrezne tehnološke lastnosti**

# PRIMERI UPORABE KOMPOZITNIH MATERIALOV



Čelade za profesionalce:  
Izredno lahke, a trpežne



Kolo narejeno iz ogljikovih  
vlakn (tkanine) in  
epoksidne smole



Armiran beton vzdrži  
večje obremenitve kot  
navaden



Za zagotovitev majhne mase se v  
avtomobilski industriji uporabljajo  
kompozitne materiale



Večina današnjih jadralnih letal in tudi  
drugih letalnih naprav ima veliko  
materialov prav iz kompozitov

