

ÚVOD

Skriptá sú určené na výučbu predmetu „Nekovové materiály“ v 1. ročníku inžinierskeho štúdia na Strojníckej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline. Predmet sa zaoberá vlastnosťami nekovových materiálov (keramika, sklo, plasty, kompozity, drevo), technológiou ich výroby a spracovania a použitím pre konkrétne aplikácie v technickej praxi.

Predmet „Nekovové materiály“ nadväzuje na materiálové predmety z bakalárskeho štúdia, a to:

- predmet „Materiály 1“, ktorý sa zaoberá fyzikálnou podstatou technických materiálov, všeobecnými poznatkami o štruktúre a vlastnostiach materiálov a spôsoboch ich ovplyvňovania (napr. tepelným spracovaním);
- predmet „Materiály 2“, ktorý zahŕňa konkrétne informácie o jednotlivých materiálových skupinách (predovšetkým kovoch, ale aj plastoch, keramike a kompozitoch), ich štruktúre, vlastnostiach a použití;
- predmet „Vlastnosti a skúšanie materiálov“, ktorý sa podrobnejšie zaoberá kovovými materiálmi, ich vlastnosťami a použitím.

Predmet „Nekovové materiály“ ďalej rozširuje poznatky získané na týchto predmetoch, pričom sa zameriava na nekovové materiály, ako sú keramika, sklo, plasty, kompozity a ďalšie nekovové materiály.

Skriptá obsahujú okrem prednášanej problematiky aj referáty určené na experimentálne laboratórne cvičenia, ktoré slúžia k prehĺbeniu teoretických poznatkov z oblasti nekovových materiálov. Predtlačé referátov určené na laboratórne cvičenia obsahujú zadania úloh a podklady pre spracovanie experimentálnych výsledkov.

Skriptá vznikli v spolupráci Ing. Alana Vaška, PhD., ktorý tento predmet prednáša na Strojníckej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline a Ing. Lenky Markovičovej, PhD., ktorá vedie laboratórne cvičenia z tohto predmetu. Autorom teoretickej časti (kapitôl 1 až 6) je Ing. Alan Vaško, PhD., autorkou referátov pre laboratórne cvičenia (kapitoly 7) je Ing. Lenka Markovičová, PhD.

Vysokoškolské skriptá „Nekovové materiály“ boli vydané s finančnou podporou projektov:

- KEGA č. 049ŽU-4/2017 Implementácia nových metód a foriem výučby pri rozvoji kľúčových kompetencií študentov v rámci nového študijného programu „Technické materiály“;
- KEGA č. 012ŽU-4/2019 Internacionalizácia vzdelávania v materiálovo-technologických predmetoch pre zahraničných študentov.

V skriptách sú použité aj niektoré nové poznatky získané vo vedecko-výskumnej činnosti, realizovanej s finančnou podporou týchto projektov.

1 ROZDELENIE MATERIÁLOV

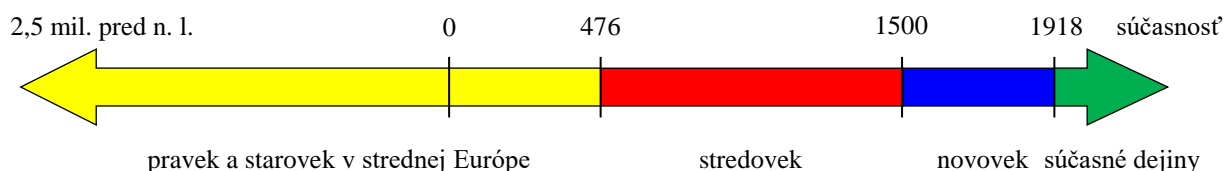
1.1 História vývoja materiálov a technológií

Materiály mali odjakživa významné postavenie vo vývoji ľudskej spoločnosti. V dejinách sa vývojové etapy ľudstva často nazývajú podľa hlavného materiálu používaného v tej dobe, napr. doba kamenná, doba bronzová, doba železná. Pre názov súčasnej etapy sa z tohto pohľadu ponúka názov doba multimateriálová.

Historici rozdelili dejiny na viaceré obdobia, oddelené významnými historickými medzníkmi. V rámci týchto období je možné nájsť určité spoločné črty, charakteristické pre každú historickú epochu. Takto vzniklo rozdelenie na pravek, starovek, stredovek a novovek. Tieto obdobia sa vnútorne ďalej členia. Keďže vývoj sveta a jednotlivých krajín je nerovnomerný, označenie historických epoch neplatí univerzálne pre všetky územia a všetky historické obdobia. V názoroch na periodizáciu dejín sa navyše líšia aj samotní historici.

V nasledujúcom texte sú stručne popísané najstaršie dejiny ľudstva, ktoré sú spojené s používaním prvých nástrojov, potrebných pre zabezpečenie obživy, stavbu príbytkov alebo ako zbrane proti zvieratám. Prvé nástroje boli zhotovené z kameňa, dreva, či kostí, časom pribudla keramika, neskôr kovy. Potreba týchto nástrojov bola úzko spojená so spôsobom života človeka; zmena spôsobu života mala vplyv aj na používanie nových materiálov, z ktorých boli tieto nástroje zhotovené a technológií ich spracovania.

Najstarším a súčasne najdlhším historickým obdobím je *pravek*, ktorý sa končí vznikom prvých staroorientálnych štátov, ktoré už dokázali zachytiť svoju existenciu písmom. Vtedy sa začalo ďalšie historické obdobie, a to *starovek*. Za prechod od staroveku k *stredoveku* sa obvykle považuje pád Západorímskej ríše (476). V skutočnosti však viaceré národy a kmene strednej, severnej a východnej Európy žili v rodovom zriadení ešte niekoľko storočí po rozpade rímskeho impéria. Stredovek u nich nastáva až vtedy, keď sa trvalo usadili, začali si budovať prvé štáty a prijali kresťanstvo (9. až 11. storočie). Za začiatok *novoveku* sa považuje Lutherova reformácia, objavenie Ameriky, príp. významné ekonomické zmeny, ktoré nastali v 16. storočí. *Najnovšie dejiny* začínajú 1. a 2. svetovou vojnou, ktoré sú historickým medzníkom nielen svetových dejín, ale aj dejín jednotlivých štátov a národov, ktoré sa týchto vojen zúčastnili (obr. 1).



Obr. 1 Chronologická periodizácia dejín

Dejiny praveku je možné rozdeliť na nasledujúce obdobia:

1. **doba kamenná** (2,5 mil. – 2 000 rokov pred n. l.)
 - a) *staršia doba kamenná* – paleolit (2,5 mil. – 10 000 rokov pred n. l.)
 - b) *stredná doba kamenná* – mezolit (10 000 – 6 000 rokov pred n. l.)
 - c) *mladšia doba kamenná* – neolit (6 000 – 3 500 rokov pred n. l.)
 - d) *neskoršia doba kamenná* – eneolit (3 500 – 2 000 rokov pred n. l.)
2. **doba bronzová** (2 000 – 750 rokov pred n. l.)
3. **doba železná** (750 rokov pred n. l. – 0)
4. **doba rímska** (0 – 375 rokov n. l.)

Doba kamenná

Základným problémom pravekého človeka bolo zabezpečiť dostatok potravy. V období *paleolitu* sa ľudia živili tým, čo v prírode našli – zbierali bobule, ovocie, korenky, lovíli malé aj veľké divé zvieratá. Človek pomerne skoro objavil oheň a naučil sa ho používať na prípravu stravy, ako zdroj tepla, či ochranu pred divými zvieratami. Najprv používal oheň, ktorý vznikol samovoľne v prírode, napr. od blesku, neskôr si dokázal sám zapáliť vhodné drevo. Spočiatku býval v jaskyniach alebo pod skalnými prevismi, neskôr si začal stavať primitívne prístrešky z kostí, dreva a kože. Kostru tvorili drevené prúty alebo dlhé kosti ulovených zvierat, na ne položili vetvy, neskôr kožušiny a kože. Pravekí ľudia žili v neorganizovaných alebo len čiastočne organizovaných tlupách. Dorozumievali sa pokrikmi, z ktorých sa vyvinula reč. Práce sa zúčastňovali všetci členovia rodu, nebol prebytok ani majetková nerovnosť (rovnosť z nedostatku). Muži väčšinou lovíli zver, ženy sa starali o deti a obydlia, pripravovali pokrmy a zbierali plodiny; uplatňovala sa prirodzená deľba práce.

V *najstaršom paleolite* (2,5 mil. – 1 mil. rokov pred n. l.) ľudia používali prvé kamenné nástroje, ktoré si zhotovovali štiepaním alebo otlkaním. V *starom paleolite* (1 mil. – 300 tisíc rokov pred n. l.) už používali zložitejšie štiepané kamenné nástroje a pästný klin. V *strednom paleolite* (300 – 40 tisíc rokov pred n. l.) ľudia používali špecializované kamenné nástroje ako nože alebo škrabádlá, ktorými spracovávali kožu, kosti a drevo. Od *mladého paleolitu* (40 – 10 tis. rokov pred n. l.) tu už žil homo sapiens sapiens (človek dnešného typu), ktorý popri špecializovaných kamenných nástrojoch používal kostené čepeľové techniky, lovil kone, bizóny aj mamuty. Do súvislosti s rituálmi či náboženstvom sa dávajú jaskynné maľby, rytiny na zvieracích kostiach či tvorba venuší a sošiek z kostí a hlíny.

V období *mezolitu* z Európy ustupujú ľadovce, dochádza k zmene klímy, miznú veľké zvieratá (vymretie mamutov), obživu zabezpečuje lov drobnej zveri pomocou oštepov, lukov a šíпов. Človek v tejto dobe už používal drobné kombinované náradie. Pomocou harpún a udíc vyrobených z kostí a parohov lovil tiež ryby (ešte stále prisvojovacie hospodárstvo). Pri zošívaní kožušín používal ihlu.

V *neolite* prisvojovacie hospodárstvo prechádza k produktívnemu (výrobnému) hospodárstvu. V poľnohospodárstve dochádza k prvej spoločenskej deľbe práce (k prirodzenej deľbe práce medzi mužom a ženou, mladými a starými). Základom obživy sa stáva poľnohospodárstvo, ľudia premieňajú lesy na polia, čím zvyšujú úrodnosť pôdy. Postupne zvládajú pestovanie obilnín (jačmeňa a pšenice), strukovín, olejnatých a ďalších rastlín. Poľnohospodári kypria pôdu nástrojmi vyrobenými z kameňa a dreva prispôbenými poľnohospodárskej činnosti. Podobný proces prebehol v domestikácii (zdomácnovaní) zvierat. Ľudia chovali ovce a kozy, ktoré poskytovali mäso, mlieko a ďalšie produkty. Z kože zabitých zvierat si vyrábali odevy alebo iné potrebné veci (vrecia, laná), spracúvali aj kosti a rohy zvierat. Popritom však lovíli divé zvieratá, chytali ryby. Pestovanie obilnín a chov zvierat spôsobili výrazné zmeny v živote ľudí. Predchádzajúci kočovný spôsob života sa zmenil na usadlý. Ľudia sa sťahovali na miesta s úrodnejšou pôdou a dostatkom vody na zavlažovanie polí, stavali si vlastné obydlia – prvé domy, ktoré zoskupovali do väčších celkov – dedín. Rozhodujúce postavenie v rodine mala žena, ktorá zabezpečovala pokračovanie rodu (matriarchát). Dôkazom sú archeologické nálezy sošiek zobrazujúcich ženu, tzv. venuše. Dostatok potravy sa priaznivo odrazil na počte obyvateľov, ktorí postupne obsadzovali rozsiahle územia. Vznikali nové dediny a keď bola dedina preľudnená, časť ľudí odišla a založila novú dedinu. V tejto dobe sa objavujú dôkazy uctievania nejakého božstva alebo boha. Vtedajší ľudia bohom pripisovali javy, ktoré si nevedeli vysvetliť (prevažne prírodného charakteru). Príprava potravín na ohni vyžadovala nádoby na varenie a uskladnenie. S tým súvisí vznik keramiky – hlinené, v ohni vypálené misky a hrnce. Človek začína s remeselnou výrobou v hrnčiarstve (výroba nádob z dlhých valčekov hlinenej hmoty), v tkáčstve (látky, odevy), začína s výrobou dokonalejších nástrojov (brúsené, vrtané, kombinované). V neolite bolo vlastníctvo pôdy či stáda spoločné pre celý rod.

V *eneolite* dochádza k vývoju osobného vlastníctva prostredníctvom osobných a luxusných predmetov, pôda zostáva vlastníctvom celej spoločnosti. Nastáva proces postupnej spoločenskej stratifikácie (rozvrstvenia) obyvateľstva. Pôvodné rody sú zoskupované do väčších celkov, kmeňov. V *eneolite* sa naďalej rozvíja poľnohospodárstvo, používa sa drevené oradlo ťahané dobytkom, pokračuje vývoj brúsenej a vrtanej industrie. Rozvíja sa textil, hrnčiarstvo a baníctvo a začína kovovýroba. Dochádza k rozvoju obchodu (výmenný charakter), a to predovšetkým diaľkového obchodu (obchod s jantárom, medou, soľou, kožušinami, obilím a dobytkom). Zmeny prežíva takisto spoločnosť, a to rastom významu muža, zavedením

patriarchátu a vznikom samostatných rodín. Rozširujú sa aj rozbroje medzi jednotlivými kmeňmi. Začínajú sa používať poháre a hrnce, keramika, objavujú sa prvé medené predmety. Na prednom východe sa toto obdobie nazýva *chalkolit* (doba medená), čo súvisí s objavom kovov a následne metalurgie.

Pôsobivými pozostatkami neolitu a eneolitu sú početné megalitické stavby. Služiť mohli ako astronomické observatória či na náboženské účely. Z najznámejších možno spomenúť aspoň slávny Stonehenge nachádzajúci sa severne od Salisbury v Anglicku, ktorý tvorí 100 kameňov.

Doba bronzová

V tejto dobe dochádza k zlomu vo vývoji praveku, keďže kameňa sa vo veľkej miere objavuje bronz (zliatina medi a cínu). Dochádza tiež k druhej spoločenskej del'be práce – oddeľuje sa remeslo ako samostatná činnosť, špecializujú sa jednotlivé remeslá, napr. hutníctvo. So začiatkom spracovania medi a neskôr bronzu sa stretávame v Ázii. Znalosť spracovania kovov sa postupne šíri cez Balkán ďalej do Európy.

V staršej dobe bronzovej mali ľudia rozvinuté poľnohospodárstvo, používali kombinované zbrane a nástroje z bronzu, kameňa a kostí, zdobili sa jemne prepracovanými šperkami a používali perfektne vypracovanú keramiku. Zo strednej doby bronzovej pochádzajú nové druhy zbraní – dlhé bronzové meče či dýky. Väčšia hustota ľudí viedla pravdepodobne tiež k vzniku väčších opevnených osád a vojen medzi nimi (nachádzame tiež rozsiahle pohrebiská). Ľudia používali aj ďalšie bronzové zbrane a nástroje (bronzové meče, bronzové štíty, prilby, ale aj bronzové nádoby či šperky, poľnohospodárske nástroje ako kosáky atď.).

V dobe bronzovej dochádza k diferenciacii spoločnosti (dôkazom môžu byť nálezy bohato vybavených hrobov náčelníkov; naproti tomu chudobne vybavených hrobov obyčajných ľudí).

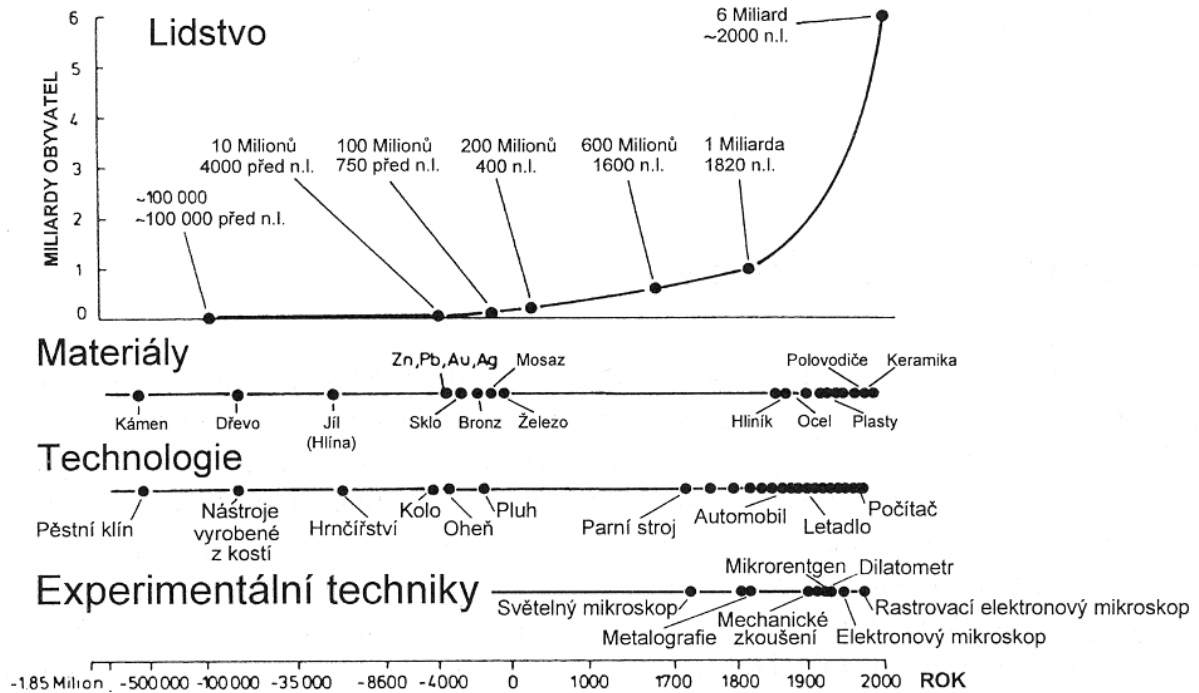
V priebehu doby bronzovej dochádza k rozpadu doteraz jednotného praindoeurópskeho jazyka. Proces sociálnej a majetkovej stratifikácie obyvateľstva, zahájený v eneolite, sa ďalej zintenzívňuje v priebehu doby bronzovej. Naďalej sa rozvíja kmeňová štruktúra spoločnosti a organizovanosť obyvateľstva.

Doba železná

V dobe železnej bola objavená železná ruda, začalo sa spracovávať železo, čím došlo k základnej zmene vo vývoji spoločnosti a predovšetkým k jeho urýchleniu, čo viedlo k rozkladu rodovej spoločnosti. Časté náleziská železnej rudy umožňovali vyrábať zo železa viac výrobkov (hlavne dokonalejšie a odolnejšie nástroje). Tak dochádza k vzniku prebytku, a zároveň s tým k majetkovým rozdielom a k rozdeleniu spoločnosti na majetných a nemajetných, vplyvných a nevplyvných.

Doba železná sa člení na staršie *halštatské* (750 – 400 rokov pred n. l.) a mladšie *laténske* (400 rokov pred n. l. – prelom letopočtu) obdobie. Na začiatku staršej doby železnej ľudia stále používali hlavne bronz; železo sa však postupne rozširovalo. Nachádzame pozostatky po štvorkolesových vozoch ťahaných pravdepodobne hovädzím dobytkom, kone sa využívali menej často. V mladšej dobe železnej sa rozširujú oblasti pod vplyvom Keltov. Strednú a západnú Európu osídľovali Kelti, ktorí útočili na oblasti rímskeho impéria. Keltskí bojovníci poznali mnohé remeslá, poznali už hrnčiarsky kruh aj sklo, keramiku polievali emailom, zo železa vyrábali radlice, kosy, mlynčeky na obilie, používali dokonca aj peniaze a budovali opevnené hradiská (oppida), kde žilo niekoľko tisíc obyvateľov.

Nasledujúce obdobia (starovek, stredovek a novovek) priniesli ďalší rozvoj materiálov a technológií, ktoré viedli aj k ďalšiemu rozvoju ľudskej spoločnosti. Ten zase úzko súvisí s nárastom svetovej populácie. História vývoja materiálov a technológií versus počet obyvateľov našej planéty je možné vyjadriť pomocou obr. 2.



Obr. 2 Vývoj materiálů a technologií

1.2 Rozdelenie konštrukčných materiálov

Konštrukčné materiály je možné podľa ich vnútornej stavby a charakteristických vlastností rozdeliť do troch základných skupín, a to *kovové materiály*, *keramické materiály* a *plasty*. Fyzikálnym spojením najmenej dvoch materiálov odlišných vlastností (z rovnakej základnej skupiny, napr. kov-kov, alebo z rôznych základných skupín, napr. plast-keramika) vznikajú združené materiály, čiže *kompozity*. Každá zo základných skupín konštrukčných materiálov má charakteristické vlastnosti; jednotlivé materiály z jednej skupiny majú podobné vlastnosti, podobné spôsoby spracovania a v zásade aj podobné oblasti použitia. Kompozity sú charakteristické niektorými vlastnosťami materiálov, ktorých kombináciou vznikli. V tab. 1 je uvedené rámcové porovnanie vlastností jednotlivých materiálových skupín.

Kovové materiály je možné z hľadiska ich vlastností charakterizovať ako dobré elektrické vodiče a ako materiály, ktoré odrážajú svetlo, sú aj pri nízkych teplotách plasticky tvárniteľné a chemicky sú väčšinou málo odolné. Z hľadiska aplikácie sú to materiály s výhodnou kombináciou mechanických vlastností, preto sa v širokej miere najmä v posledných desaťročiach používajú v konštrukčnej praxi. K dispozícii je veľké množstvo informácií o ich vlastnostiach a postupoch pri ich voľbe.

Keramické materiály majú zlú elektrickú vodivosť, často sú priehľadné, nie sú plasticky tvárniteľné, chemicky sú veľmi stále, tavia sa pri vysokých teplotách. Ich základným nedostatkom je krehkosť. Použitie klasických keramických materiálov malo po stáročia empirický charakter a dodnes preukazuje vysokú koróznou odolnosť keramiky (keramické nádoby nestratili ani po tisícročiach farbu a lesk). Súčasná moderná konštrukčná keramika má vysokú pevnosť a tvrdosť a jej aplikovateľnosť rozširuje cieľavedomé znižovanie krehkosti. Pri projektovaní súčiastok a konštrukcií z kovových materiálov (t.j. z materiálov so značnou ťažnosťou) sa používajú koeficienty bezpečnosti. Pri statickom zaťažení blízkom pevnosti v ťahu je možné použiť kovový materiál bez obáv pred náhlym predčasným porušením. V prípade keramiky sa takto postupovať nemôže. V dôsledku absencie tvárnosti je citlivá na koncentrátoory napätí (napr. otvory, trhliny) a kontaktné napätie, ale predovšetkým má veľký rozptyl pevnosti, ktorý závisí od doby pôsobenia zaťaženia a objemu zaťažovaného materiálu.

Plasty sú zlé elektrické vodiče, pri nízkych teplotách sú krehké, ale pri zvýšených teplotách plasticky tváriteľné, pri teplote okolia a na vzduchu sú chemicky stáble, majú nízku hustotu a tavia sa (alebo rozkladajú) pri relatívne nízkych teplotách. V počiatočoch používania plastov sa aplikovali v podstate ako náhrada kovových materiálov, čo bol nesprávny postup, ktorý viedol k častému porušovaniu súčiastok (viď negatíva v tab. 27). Pri voľbe plastov tam, kde vyhovujú svojimi mechanickými vlastnosťami sa výrazne prejavujú ich prednosti, najmä výborná tvarovateľnosť, odolnosť proti korózii, možnosť farbenia, nízky koeficient trenia.

Kompozity majú niektoré vlastnosti materiálov, ktorých fyzikálnym spojením vznikli, a to takú kombináciu, ktorú nie je možné dosiahnuť použitím jednoduchého materiálu (napr. veľmi vysokú pevnosť a súčasne vysokú húževnatosť). Ohraničujúcim faktorom použitia kompozitov je ich vysoká cena, a to materiálu samotného, ako aj nákladov na ich spracovanie (formovanie, spájanie). Konštruktér použije kompozity len vtedy, ak bude nárast ceny vykompenzovaný prírastkom úžitkových vlastností.

Tab. 1 Vlastnosti materiálov dôležité pri projektovaní

Materiál. skupina	Pozitíva	Negatíva
<i>kovové materiály</i> ↑ E, K _{IC} ↓ R _e	– tuhé (E ≅ 100 GPa) – plastické (A ≅ 20 %) – húževnaté (K _{IC} > 50 MPa.m ^{1/2}) – vysoká teplota topenia (T _t ≅ 1000 °C) – odolné na tepelné rázy	– nízka medza klzu pri čistých kovoch ⇒ 1) – nízka tvrdosť pri čistých kovoch ⇒ 1) – nízka únavová odolnosť – nízka odolnosť proti korózii ⇒ 2) <i>nutnosť používať 1) zliatiny, 2) povrchové úpravy</i>
<i>keramické materiály</i> ↑ E, R _e ↓ K _{IC}	– tuhé (E ≅ 200 GPa) – veľmi vysoká medza klzu (R _e > 3 GPa) – veľmi vysoká tvrdosť – vysoká teplota topenia (T _t ≅ 2000 °C) – odolné proti korózii – nižšia hustota	– krehké (K _{IC} ≅ 2 MPa.m ^{1/2}) – malá odolnosť proti tepelným rázom – obtiažné tvarovanie ⇒ používanie metód práškovej metalurgie
<i>plasty</i> dostatočné R _e , K _{IC} ↓ E	– plastické a ľahko tvarovateľné – odolné proti korózii – nízka hustota	– malá tuhosť – nízka medza klzu – nízka teplota zosklenia (T _g ≅ 100 °C) – často malá viskozita (1 MPa.m ^{1/2})
<i>kompozity</i> ↑ E, R _e , K _{IC} , ale ↑↑↑ cena	– tuhé (E > 50 GPa) – vysoká medza klzu (R _e ≅ 200 MPa) – húževnaté (K _{IC} > 20 MPa.m ^{1/2}) – vysoká únavová odolnosť – odolné proti korózii – nízka hustota	– obtiažné tvarovanie – vysoká cena – malá odolnosť proti tečeniu (pri plastovej matici)

Význam jednotlivých skupín je možné posudzovať podľa rôznych kritérií. Základnú orientáciu poskytuje porovnanie objemu ročnej svetovej spotreby. Najvyššiu spotrebu majú kovové materiály (910 mil. ton), výrazne narastá spotreba plastov (150 mil. ton) a vzhľadom k ich nízkej hustote je z objemového hľadiska spotreba plastov len o málo menšia ako spotreba kovov. Ostatné materiály predstavujú z hľadiska spotreby pomerne malé podiely, predovšetkým pre vyššie ceny.

1.3 Hľadiská pre voľbu materiálu

Pri voľbe materiálov je potrebné zvažovať celý rad hľadísk, ich vzájomné ovplyvňovanie a vzťahy. K posúdeniu materiálu z hľadiska požadovaných mechanických, fyzikálnych a chemických vlastností slúžia jeho *materiálové charakteristiky*. Požiadavky v podstate spĺňa vo väčšine prípadov pomerne veľký počet materiálových riešení. Voľba materiálu pre konkrétny výrobok však nemôže prebiehať bez zváženia *technológie výroby*, ktorá na jednej strane ovplyvňuje štruktúru a vlastnosti materiálu, na druhej strane kladie ďalšie požiadavky na výber materiálu (jeho zvrátenosť, plasticosť a pod.). Do celej sústavy interakcií medzi zložením, štruktúrou, technológiou výroby a vlastnosťami materiálu vstupujú pri voľbe materiálu ako ďalšie hľadisko *materiálové a výrobné náklady* a samozrejme dopad všetkých vzájomne pôsobiacich prvkov na životné prostredie vo výrobnom aj užívateľskom cykle, teda *ekologickosť použitia zvoleného materiálu*, vrátane napr. možnosti recyklácie materiálu.

Materiálové charakteristiky

Primárnou požiadavkou pre danú aplikáciu sú takmer vždy (s výnimkou dekoratívnych prvkov) pevnostné charakteristiky materiálu. Pre splnenie tejto požiadavky je k dispozícii široká paleta materiálov. Napr. hodnota medze klzu pri kovoch sa pohybuje v rozmedzí od 5 MPa (cín a jeho zliatiny) až po 2000 MPa (superpevné ocele); pri plastoch je pevnosť v ťahu v rozmedzí od 8 do 200 MPa. U veľkej väčšiny mechanických systémov však nie sú ich úžitkové vlastnosti limitované jedinou mechanickou vlastnosťou (napr. pevnosťou), ale kombináciou viacerých vlastností, ako je húževnatosť, únavové vlastnosti, odolnosť proti korózii atď. Pri zvažovaní týchto charakteristík je nutné posúdiť podmienky exploatácie daného výrobku (zaťažovanie statické, dynamické, cyklické, pôsobenie nízkej alebo zvýšenej teploty, korózne prostredie a pod.). Dobrým podkladom pre ich zvažovanie môžu byť rôzne *materiálové databázy*, je však potrebné si uvedomiť, že hodnoty R_m , $R_{p0,2}$, A , uvádzané v databázach, boli zistené prostým ťahom, príp. tlakom. V konkrétnom výrobku sa však často stretávame s dvoj- alebo trojosovým stavom napätosti.

Základným zdrojom pre materiálové databázy sú *materiálové normy*, ktoré obsahujú výrobcami zaručované hodnoty mechanických vlastností. Požiadavky platných noriem je potrebné rešpektovať pri voľbe materiálu v celom rozsahu.

Technológia výroby

Okrem samozrejmej podmienky realizovateľnosti technológie pre daný výrobok, by mali byť pri voľbe materiálu uplatňované najmä poznatky o vplyve technológie na štruktúru a mechanické vlastnosti. Prednosť by mali dostávať (ak to ostatné kritériá dovoľia) bezodpadové technológie (prášková metalurgia, presné liatie a pod.), umožňujúce maximálne využiť materiál a potlačiť na minimum obrábanie, teda technológiu spojenú s najvyššími nákladmi.

Materiálové a výrobné náklady

Cena výrobku je (v zjednodušenom poňatí) určovaná tromi hlavnými vstupmi – materiálom, energiou a informáciami (teoretické a praktické poznatky, nevyhnutné k zhotoveniu výrobku). Ekonomickosť voľby materiálu je preto komplexný problém, na ktorého riešenie neexistuje univerzálny návod. Príklady:

1) Cena vysokolegovaného materiálu (napr. ocele maraging) môže byť veľmi významná pri výrobe veľkého výrobku, zatiaľ čo pri malom výrobku môže byť zanedbateľná a navyše sa prejavujú pozitívne aspekty voľby (vyššia životnosť súčiastky, ľahšie dosiahnutie komplikovaných tvarov a pod.); 2) Náhrada ocele zliatinou hliníka alebo plastom sa zdá byť cenovo nevýhodná, ale ak zahrnieme do výpočtu ekonomickosti aj nižšie náklady na dopravu, povrchovú úpravu a obrábanie, je v rade prípadov výhodným riešením.

Z uvedených príkladov vyplýva, že optimalizácia voľby materiálu z hľadiska výrobných nákladov nie je jednoduchou záležitosťou.

Pri posudzovaní ekonomickosti voľby materiálu je možné využiť relatívne ľahko dostupné cenové údaje o uvažovaných materiáloch. V literatúre sú k dispozícii rôzne výpočtové metódy, umožňujúce modelové výpočty.

Ekologickosť použitia zvoleného materiálu

Medzi hlavné faktory z ekologického pohľadu patria:

- surovinová náročnosť, ťažba a spracovanie surovín,
- energetická náročnosť,
- bezpečnosť a dlhodobá spoľahlivosť konštrukcie,
- možnosť recyklácie,
- toxicita.

Pokiaľ ide o priamy negatívny dopad nevhodnej voľby materiálu na človeka a jeho životné prostredie (najmä toxicita), musí byť samozrejme vylúčený. Toxické vlastnosti má rad prvkov i anorganických a organických zlúčenín. K preukázateľne škodlivým prvkom patrí As, Cd, Hg, Se a Th. Toxicita Co, Ni, Pb, V, Zn závisí od veľkosti a početnosti dávok; diskutuje sa vplyv hliníka na senilnú demenciu. Možnosti zneškodnenia kovových odpadov sa obmedzujú na extrakciu kovov alebo ich väzbu do formy s minimálnou rozpustnosťou. Pokiaľ ide o plasty, je z celého radu škodlivých monomérov (vinylchlorid, akrylonitril, metakrylát) najdôležitejší karcinogénny vinylchlorid, ktorého obsah v PVC sa preto obmedzuje na 1 mg/kg. Toxikologickú závažnosť jednotlivých plastov charakterizuje stupeň migrácie do prostredia, najmä do potravín z obalových materiálov. Pri likvidácii plastov môžu pri nevhodnom spaľovaní vznikáť jedovaté plyny ako napr. chlorované dioxíny či dibenzofurany.

Recyklácia je pozitívnym opatrením z ekologického hľadiska. Z jednotlivých skupín materiálov sú prakticky úplne recyklovateľné ocele; zliatiny neželezných kovov sú recyklovateľné asi z 90 %. Recyklácia kovových materiálov vyžaduje triedenie a čistenie odpadu trieskového obrábania alebo triedenie vratného odpadu, čo v konečnom dôsledku predstavuje zvýšené náklady. Plasty sú recyklovateľné len čiastočne (len reaktoplasty, zatiaľ čo termoplasty recyklovať nemožno). V súčasnosti sa cca 60% plastových odpadov recykluje, 30 % spaľuje a 10 % sa umiestňuje na skládkach. Elastoméry (napr. guma) sa recyklovať nedajú, ale hľadajú sa možnosti uplatnenia odpadu (napr. použitie drvenej gumy pri stavbe ciest). Keramické materiály sú recyklovateľné bez problémov.