

MATERIÁLY, ENERGIE A ROZVOJ SPOLEČNOSTI

Ing. Richard A. BAREŠ, DrSc., ÚTAM-ČSAV

Racionální využití materiálových zdrojů a materiálů je úzce spjato s problémem energií v nejobecnějším smyslu na jedné straně a s ekologickými problémy na straně druhé a vše se promítá společně do rozvoje společnosti. Z toho vychází i usnesení XVI. sjezdu KSČ, když stanoví: "výrazným zvýšením úspor ve spotřebě surovin a materiálů, paliv a energie a jejich vyšším zhodnocením dosáhnout maximálního snížení materiálové a energetické náročnosti společenské výroby".

Nezbytnost efektivního využití materiálů z domácích zdrojů a vyváženého rozvoje kapacit nových materiálů se promítá jako základní imperativ do úkolů všech průmyslových odvětví. Významnou roli hraje i neoddelitelnost vlastních, národních problémů od celkové materiálové situace na zemi a od světového vývoje.

1. VÝZNAM MATERIÁLŮ PRO LIDSTVO

Co nosíme na sobě, na čem a v čem se pohybujeme, žijeme, sedíme, ležíme, užíváme pro nářadí jednoduché i složité, potřeby pro moderní prostředí, rekreaci, vzdělání, léčení, všechno obsahuje materiály. Materiály jsou potravou, ze které žije moderní technologická ekonomika a společnost.

Civilisace prošla přes několik "věků", každý definovaný jedním materiálem, který převládal a převážně určoval úroveň výrobní technologie: kamenný, bronzový a železný věk. Dnešní lidstvo je v "mnohomateriálovém" věku a směřuje do věku "kompozitního".

Růst spotřeby různých materiálů, vázaný na sociální a politické poměry světa na jedné straně a na technologický pokrok posledních několika generací ve všech odvětvích lidské činnosti na straně druhé, probíhal v posledním století, a zejména pak po druhé světové válce až s exponenciálním zrychlením. To přirozeně vede ke zvýšenému zájmu o dostupnost materiálů a surovin, o perspektivy vývoje lidstva s ohledem na omezené surovinové zdroje země a ke vzniku řady studií o politice spotřeby a využívání materiálů, v nichž lze pozorovat jistou polarisaci expertů od přílišných optimistů k tvrdým pesimistům. Hovoří se o tzv. statické nebo dynamické životnosti světa, nechybí ani pesimistické předpovědi rázu "konec světa s koncem zdrojů".

Faktem je, že éra exponenciálního růstu spotřeby materiálů je za námi. Zdrojů je na zemi dost, ale nesmí být využívány tak jako dosud. Rychlost přírůstků spotřeby materiálů se v celosvětovém měřítku bude snižovat a odhad podle /2/ je pro minulé a probíhající období tento:

Materiál	1951/75	1976/2000
ocel	5,4	2,5
hliník	8,6	4,5
zinek	4,6	2,9
měď	4,4	2,8
plasty	13,0	4,5

Tak jak dosud byly páteří průmyslového vývoje neobnovující se zdroje pro výrobu materiálů a energií, budou nabývat stále větší důležitosti zdroje obnovující se /dřevo a biomasa rychle rostoucí např. pro výrobu alkoholu/. Zásadou dalšího přístupu je

+/ Statická životnost /počet let/ je podíl známých rezerv surovin a současného stupně spotřeby. Při stanovení dynamické životnosti se bere do úvahy rostoucí spotřeba, zlepšená technologie, nové nástroje atd. Je-li např. při statickém výpočtu zásoba na 10 000 let, je při 5% nárůstu dnešní spotřeby jen 126 let!

že materiály by měly být využívány systematicky jako část úplného materiálového cyklu; od jejich vytěžení ze země, přes úpravu, dopravu, výrobu, užití, znovuvyužití nebo umístění znovu do země a dále, že materiálovou pouze část základní trojice materiál - energie - prostředí, která by měla být pojednávána jako celek s ohledem na vztahy lidí k přírodním zdrojům a efektivní materiálové politice. Větší pozornost je třeba věnovat rozvoji materiálů z prvků a složek hojných v zemské kůře /Si, Mg/.

Jednoznačný a imperativní trend ve výrobě je použití méně materiálů na jednotku výstupu, na daný výrobek, podle základního hesla "udělej víc z méně materiálu". Pokrok, množství informací a inteligence ve využití daného materiálu tento trend mohou zajistit.

Dalšími nezbytnými trendy v budoucnu bude recyklisace a znovupoužití materiálů, ochrana korodujících materiálů nebo jejich náhrada inertními materiály, miniaturizace a užívání inovovaných systémů spotřebovávajících méně materiálů.

Důvodem pro tyto trendy není pouze globální úspora materiálu, ale i skutečnost, že materiály budou dražší, bude nedostatek energií a budou dražší, a dojde k významnému přesunu spotřeby materiálů do rozvojových zemí.

Lze očekávat, že průmyslově vyvinuté země přejdou do tzv. poprůmyslových společností, tj. organizovaných kolem informací na rozdíl od průmyslových zemí, organizovaných především kolem energie a využití energie k produkci výrobků. Jinými slovy bude kladen větší důraz na služby než na materiálově a energeticky náročnou výrobu zboží. Stále větší procento pracovních sil bude zaměstnáno shromažďováním, zpracováním, analysou, tříděním, sdělováním a distribucí informací. Informace odvozené ze specifických znalostí stávají se tak vlastně důležitým surovinovým zdrojem, na němž jsou závislé všechny ostatní zdroje /rychlé inovace vedoucí k menší spotřebě materiálů a energií na jednotku výrobku/.

Industrialisace se neobejde bez vědecké a technologické základny. Hlavní rozdíl mezi rozvinutou a rozvojovou zemí je ve schopnosti vést a užívat výzkum /více než v úrovni výroby, na niž mohou být různá měřítká/. Věda vytváří technologii, která naopak umožňuje rozvoj nové vědy, která vytváří novou technologii atd. Je to nikdy nekončící spirála, která v rozvojových zemích neexistuje a která v rozvinutých zemích nesmí být bez vážných následků přerušena.

Současně stupeň industrialisace musí být v souladu s dostupnými surovinovými zdroji, existující sociální strukturou a ekologickými požadavky určité země

+/ Tento trend dobře dokumentuje např. letadlo, které přepraví při hmotnosti 200 za rok stejný počet lidí, jako zámořská superloď Queen Elisabeth II s hmotností 85 000 t. Jiným takovým příkladem je komunikační družice o hmotnosti 1/4 t, která nahradí 150 000 t transoceanického kabelu.

++/ Zaslouží poznamenat, že brzy by mělo dojít k pozitivní změně v ČSSR, kde dosud neexistuje specialisovaný ústav základního výzkumu ČSAV pro materiály, neexistuje vysoká škola pro výuku materiálového inženýrství, ani jednotná politika státního a resortního výzkumu v tomto oboru. Dokonce stav na školách je takový, že materiálově se věnuje zcela okrajová, minoritní pozornost.

+++/ Dobrý příklad v tomto směru poskytuje Brazílie, která se zaměřuje zejména na obnovované surovinové zdroje; biomasu užívá ne pouze jako palivo, ale jako surovinu pro chemický a plastikářský průmysl.

++++/ Pokud jde o prostředí, jež závisí spíše na pocitech než na skutečnosti a znalostech, neměly by se požadavky na "čistotu" přehánět vzhledem k velkým finančním nárokům odrážejících se ve zvyšování cen /nebo snižování standardu/. Příroda sama znečišťuje ovzduší ve značném rozsahu: 50% prachu, víc než 60% SO<sub>2</sub>, přes 75% všech uhlovodíků, víc než 93% CO, více než 98% kyslíčnicků dusíku. Daleko vážnější pro lidstvo než "znečištění" se jeví např. kácení lesů bez znovuosázení /ve světě 12 miliard ha v roce 1980/, jež vede nezbytně k degradaci půdy a nevratným změnám.

Přicházející přeměna materiálového průmyslu uvnitř současné koncepční revoluce průmyslového světa je hlavní prveksoučasného období ječ... bo dvou dekád; materiálovému průmyslu zůstane přitom rozhodující role bez ohledu na to, jaké proběhnou současně sociální změny. Dnes a pro budoucnost se musíme vyrovnat s takovými vzájemně propojenými problémy, jako: nedostatek materiálů, nedostatek energie, snížení odpadových zplodin, recyklisace a ukládání pevných odpadů, trvanlivost výrobků, vyšší spolehlivost. Hlavním společným jmenovatelem veškerého úsilí při řešení těchto problémů jsou materiály.

## DEFINICE MATERIÁLŮ

Materiály jsou definovány různým způsobem, obvykle podle účelu k níž definice byla zapotřebí. Ekonomové pokládají za materiály vše, co vstupuje do výroby, tj. "energetické materiály" /ropa, uhlí, plyn, nukleární palivo/ a "průmyslové materiály" /kovy, cement, další konstrukční materiály, sklo, dřevo, papír, textil, chemikálie včetně plastů/. Encyklopedie obvykle definují materiály již poněkud úžeji jako fyzikální látku, která je užívána člověkem, bez určitého chemického popisu. Pro legislativní účely se setkáváme s definicí, podle níž materiály znamenají přírodní zdroje, zamýšlené pro využití průmyslem k výrobě zboží s výjimkou potravin a energetických paliv užívaných jako takové.

V těchto definicích je výrazu materiál vesměs používáno jak pro rudy, nerosty, tak kovy, plasty, dřevo, cement. Pro technické vyjadřování je rozumnější prvou skupinu označovat jako suroviny, vstupující do materiálového průmyslu, a jako materiály /nebo základní materiály/ označovat druhou skupinu, vystupující z materiálového průmyslu /ať již z prvotních nebo druhotných surovin/. Zaměřme se zde zejména na užší skupinu inženýrských materiálů, které jsou důležité v současné civilizaci při vytváření infrastruktur, umožňující bydlení, výrobu vozidel, strojů, elektrických a elektronických zařízení atd.

## MATERIÁLOVÝ CYKLUS

Suroviny pro materiálový průmysl lze rozdělit do tří skupin:

- minerály a rudy
- fosilní paliva /uhlí, ropa, přírodní plyn/
- biomasa /dřevo, bavlna, cukrová třtina, kukuřice atd./.

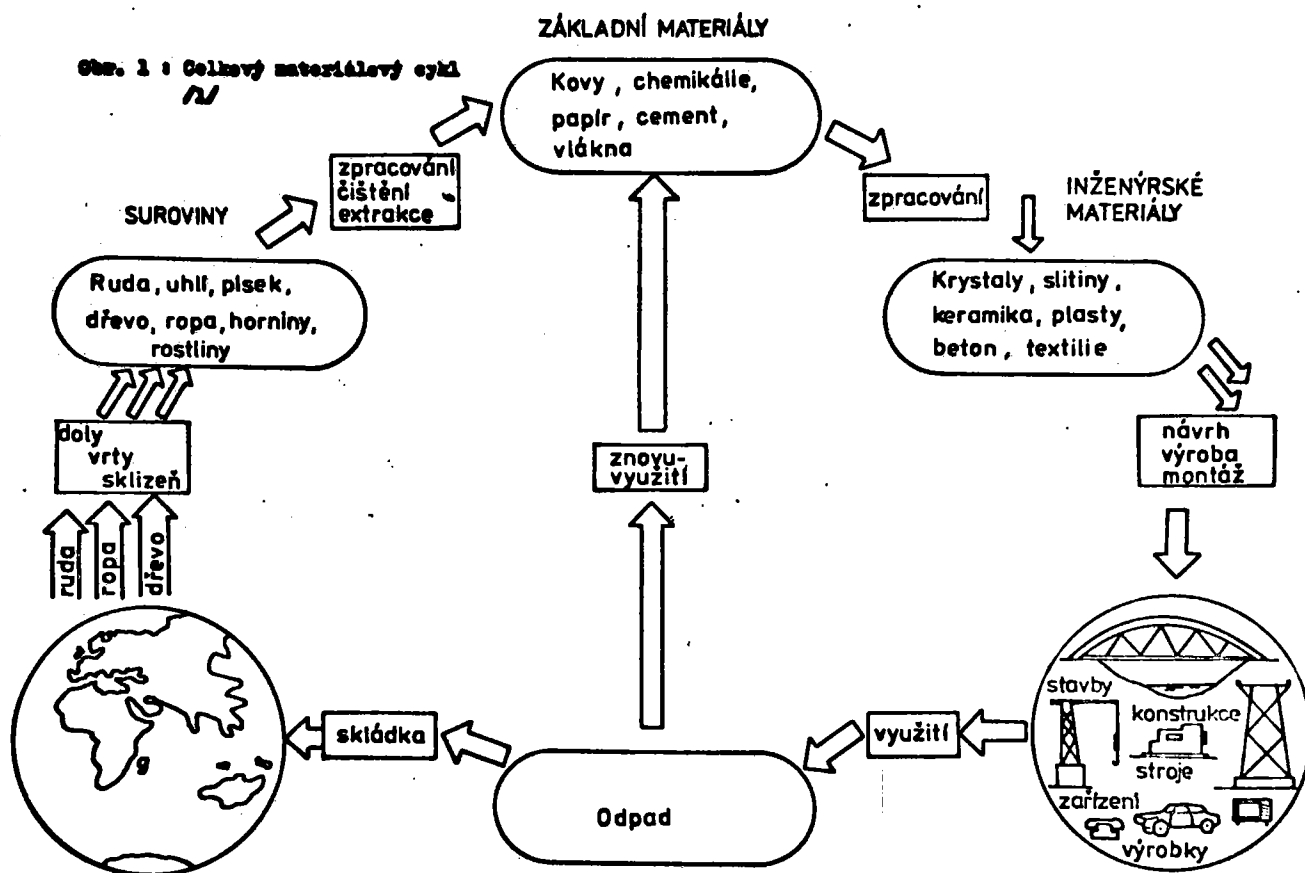
Suroviny jsou na světě rozděleny nerovnoměrně /největší množství materiálů je na severní polokouli/ a neexistuje žádná vazba mezi stupněm spotřeby materiálů v jisté zemi a jejími zdroji nebo zásobami<sup>+</sup>. Proto vysoká industrialisace jde ruku v ruce se závislostí na dovozu surovin a základních materiálů. Zásobu surovin na zemi lze dělit na reservy, tj. odkryté lokality, které se těží nebo mohou těžit stejnými technikami jako dnes, a zdroje, což jsou subekonomická naleziště, která se stanou rezervami, až cena vzroste na úroveň, při které těžení bude ekonomické, dále známá naleziště, která je nevhodné otvírat v daném období z různých důvodů /ekologických, sociálních/ a konečně neznámá naleziště. Reservy a zdroje lze považovat za natolik dostatečné, že s přihlédnutím k výsledkům posledních studií o nahraditelnosti jednotlivých materiálů<sup>++</sup> a možnostech využití nových minerálů a kovů není třeba mít obavy z jejich vyčerpání ani v příštím století, ani ve století následujících<sup>++</sup>. Nicméně je zřejmé, že pouze mnohodisciplinární přístup k celkovému mate-

+/ Dnes téměř 90% vyrobených materiálů je užíváno v průmyslových zemích. Suroviny jsou většinou soustředěny v těch zemích, které nejsou střediskem spotřeby a vedle celkových světových rezerv nabývá na důležitosti dostupnost těchto surovin. Z celkových rezerv se nachází v průmyslových západních zemích cca 40% /z toho víc než 80% v USA, Kanadě, Australii a Jižní Africe/, cca 30% v zemích států RVHP /z toho více než 80% v SSSR/ a 30% v rozvojových zemích /ale jen některých, např. v Číně; většina, tj. cca 70%, má zdroje surovin omezené/.

++/ Např. většina běžných kovů může být nahrazena až do 50% jinými kovy nebo nemetallickými materiály, např. nerezová ocel /až s 10% chromu, který není a nebude/ jinými slitinami a titanem nebo hliníkem atd.

riálovému cyklu, jak je naznačen na obr. 1, může vyřešit všechny technické a ekonomické problémy materiálového průmyslu, přičemž nezanedbatelné vstupy vhodného řešení jsou i politické a sociální tlaky. V celém cyklu existují interakce s těmito klíčovými prvky:

- energetická náročnost procesů a výrobků
- okolní prostředí
- místní pracovní a sociální struktura
- inovační a technologické vedení
- síly volného trhu kontra národní materiálová politika a plánované záměry.



Problematiku materiálového průmyslu dobře ilustruje tzv. problémový trojúhelník /obr.2/: materiálový průmysl je vystaven tlakům T, ale také vytváří možnosti a podmínky M; celý trojúhelník pak "plave" na sociálně politických okolnostech.

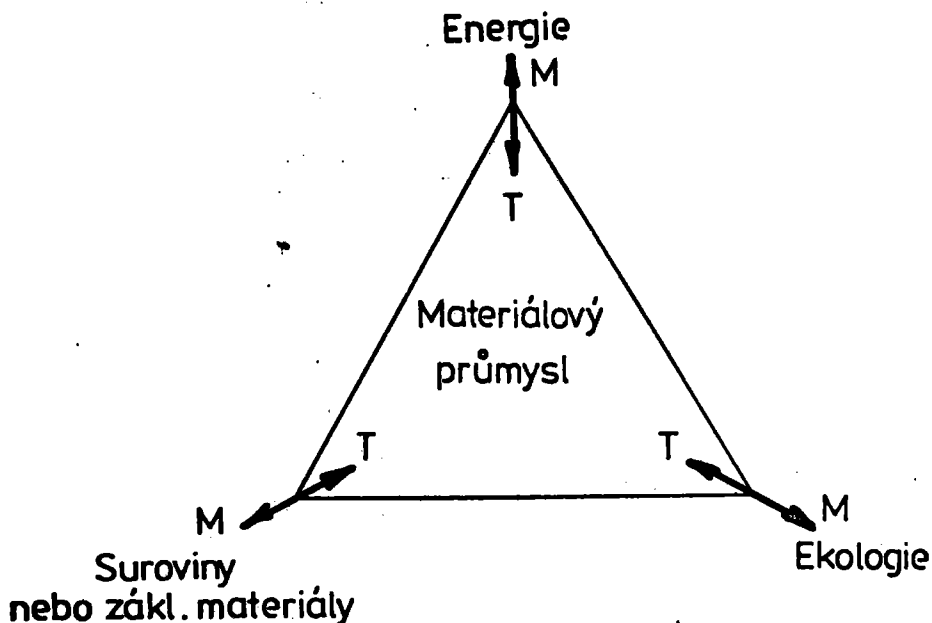
+++/ Kromě toho objevování nových rezerv jde rychleji než spotřeba, jak ukazuje například tabulka pro pět základních kovů /v mil. tun/:

Kov	Reservy ve světě k 1.6.1976	Spotřeba v letech 1966-1975	Objevené rezervy v letech 1966-1975
železo	90 000	5 900	100 000
hliník /bauxit/	17 272	605	11 913
měď	456	63	324
zinek	185	54	164
olovo	175	33	115

++++/ Spočívající kromě jiného v miniaturizaci, lepším /úspornějším/ návrhu, recyklaci, delší životnosti /ochranou/ výrobků

## SPOTŘEBA MATERIÁLŮ A EKONOMICKÝ RŮST

Vše co bylo dosud řečeno, ukazuje na potřebu důkladného plánování základních materiálových průmyslů. Hlavním cílem v současném přechodném období musí být rekonstrukce a definice možností a problémů a pak nalezení vhodného řešení z hlediska různých průmyslů s uvážením celkového světového materiálového cyklu. Důležitou otázkou přitom je, jaká spotřeba materiálů by měla být. Opět je nezbytné řešit problém z komplexního hlediska; jedno je však nesporné: spotřeba materiálů by neměla růst rychleji, než celkový národní důchod<sup>+/</sup>.



Obr. 2: Problémový trojúhelník materiálového průmyslu /2/. T - tlak, M - možnosti

U většiny průmyslových zemí po počátečních prudkých nárůstech spotřeby materiálů na obyvatele /na počátku a během industrialisace/ roční přírůstky počínají klesat /obr.3/<sup>++/</sup>, spotřeba obvyklých materiálů a kovů /s výjimkou hliníku, plastů, kompozitů a platiny/ roste pomaleji, než celkový národní důchod. Z mnoha náznaků vyplývá, že změna sklonu křivky relativní spotřeby nastává z důvodů vnitřní dynamiky nikoli vnějšími tlaky. Obtížné, ale důležité je předvídat proč a kdy to nastane. Rozvojové země jsou v současném období na počátku industrialisace a lze tedy u nich předvídat prudký nárůst spotřeby materiálů.

I ve vyspělých zemích i celkově ve světě spotřeba materiálů v absolutních hodnotách ovšem poroste, jednak v důsledku růstu populace, jednak vyšších nároků obyvatel. Otázkou je, zda růst celkového důchodu /který je obecně žádoucí/ poroste rychleji než růst objemu materiálů<sup>+++/</sup>.

K objektivnímu hodnocení této problematiky se obvykle používá tzv. součinitel "intensity využití", tj. poměr skutečné tonáže spotřebovaného materiálu k celkovému důchodu<sup>++++/</sup>. Vyjádření pomocí součinitele intensity využití ukazuje obr. 4 na příkladu oceli v 16 západních průmyslových zemích. Vzhledem k důvodům dříve uvedeným

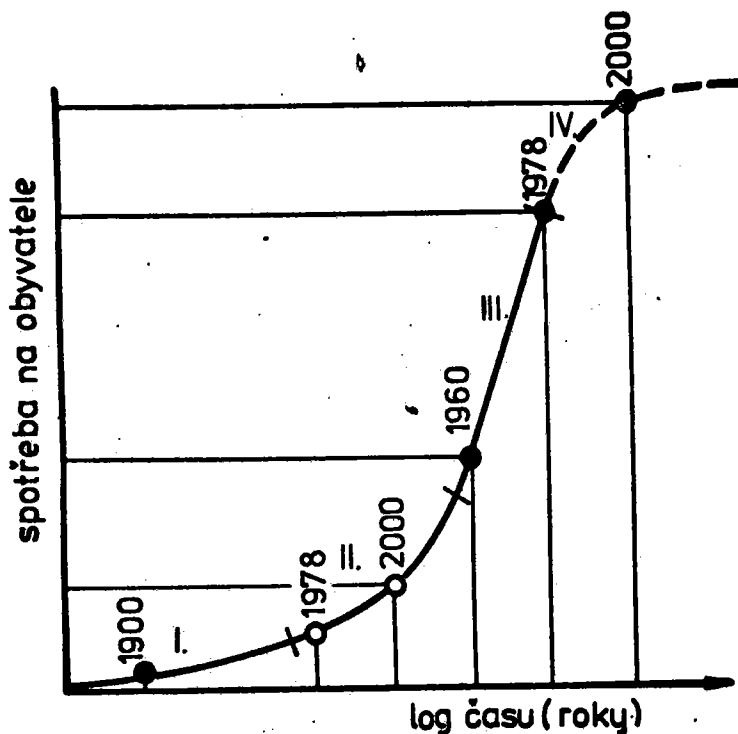
+/ Přesto je tomu ve světě naopak, zejména pak v rozvojových zemích. Např. v Africe růst spotřeby hliníku je přibližně konstantní 12% víc než 20 let, ale celkový důchod se zvyšoval cca o 3% za rok /"pružnost"/ tj. poměr přírůstku spotřeby materiálů k přírůstku celkového důchodu, kolem 4/.

++/ V roce 1952 činila roční spotřeba materiálů /včetně potravy a energie/ 18t/obyvatele, za dalších 20 let se zvýšila o 10%.

+++/ V roce 2000 se očekává celkový důchod na obyvatele země téměř 1500 \$, v průmyslových zemích přes 4000 \$.

++++/ Druhý používaný součinitel, "pružnost" selhává, je-li celkový důchod sestupný nebo jeho přírůstek velmi malý.

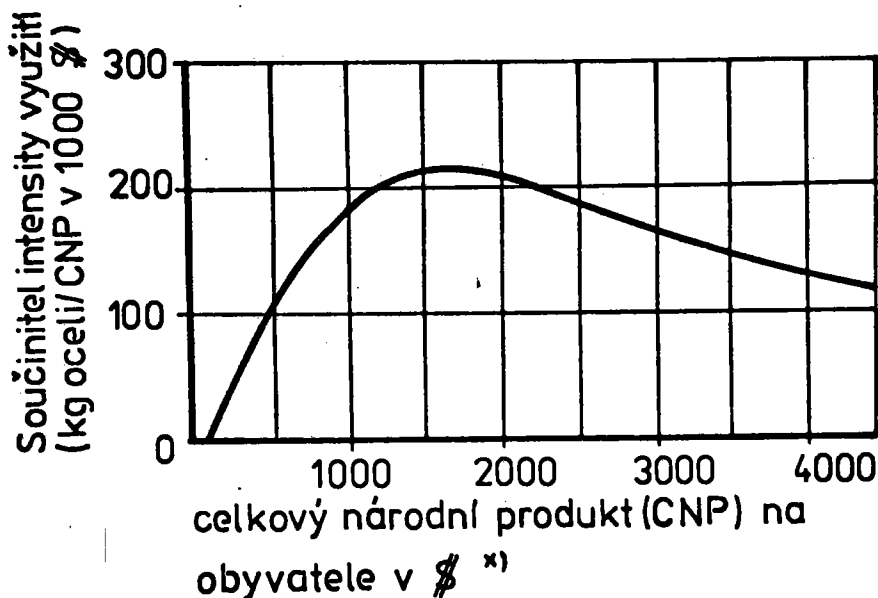
však celková spotřeba materiálů se nesnižuje, naopak např. světová spotřeba oceli se předpokládá dvojnásobná v roce 2000.



Obr. 3 : Vývoj spotřeby surovin na obyvatele /schematicky/ /2/

- I. Základní fáze
- II. Rostoucí rychlost růstu
- III. Konstantní rychlost růstu
- IV. Klesající rychlost růstu

- - Průmyslově vyspělé země
- - Rozvojové země



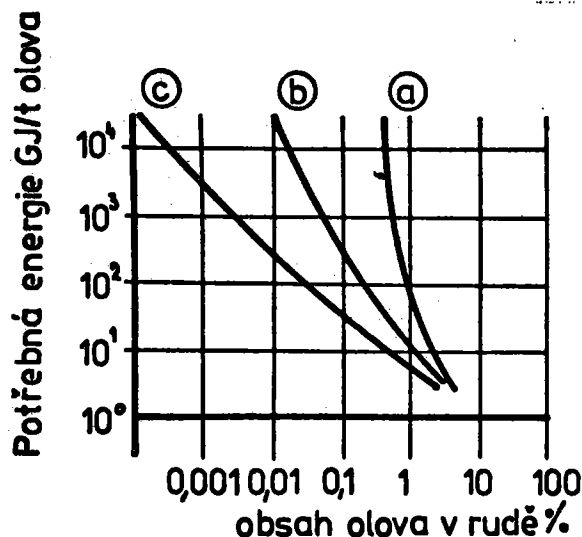
Obr. 4 : Součinitel intenzity využití pro ocel v 16 západních průmyslových zemích /7/ /v hodnotě dolaru r. 1967/

#### ENERGIE JAKO ZÁKLADNÍ SUROVINA

Energie je hlavní omezující faktor pro rozvoj materiálů, neboť všechny základní materiály jsou náročné na energii. Zatímco v blízké budoucnosti budou vyčerpány jen fosilní paliva, téměř všechny materiály budou k dispozici v dostatečném množství po dlouhou dobu, bude-li dostatek energie. Ve vyspělých zemích víc než 20% celkové spotřeby energie připadá na výrobu materiálů /přičemž největší spotřebu vyžaduje koncentrace rud před tavením a dalším zpracováním/. Protože rudy jsou méně bohaté, je nižší vydatnost nalezišť a stoupají ekologické nároky, spotřeba energie na výrobu

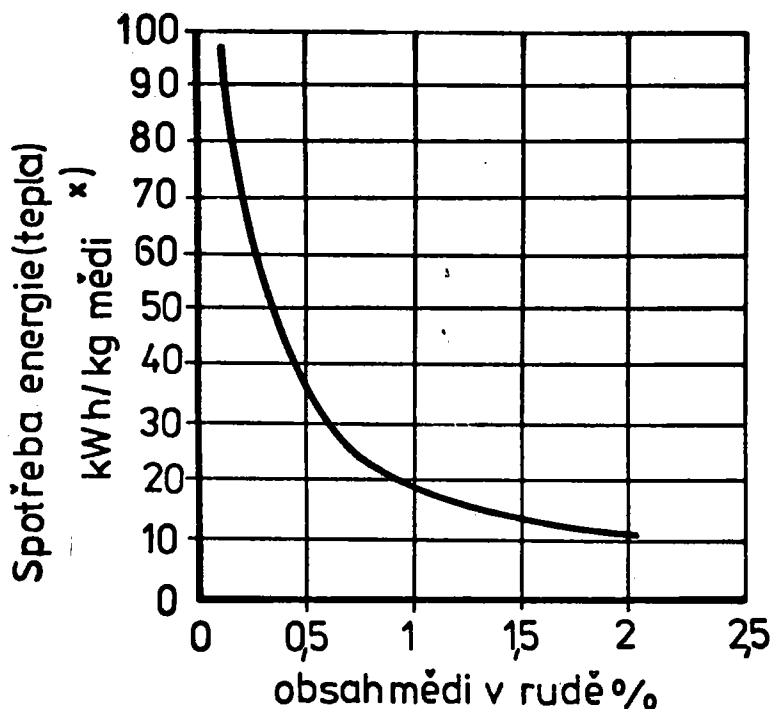
+/ S výjimkou několika stopových prvků a chromu /který se ale vesměs dá nahradit titanem/. Cena některých materiálů ale značně poroste nejen s ohledem na nedostatek, ale v důsledku cenové politiky produkujících zemí. Např. cín je dne již 10x dražší než mě

materiálů konstantně a rychle stoupá<sup>+/</sup>. Např. při nepatrně klesajícím obsahu olova v rudě stoupá spotřeba energie /při dnešním způsobu výroby/ až o několik řádů /obr.5/. Z hlediska ceny by bylo maximálně přijatelné 100 násobné zvýšení dnešní ceny, tedy nejmenší obsah olova v rudě 0,1%. Při menším obsahu může být až 5000 násobná proti dnešní. Obr. 6 ukazuje podobně energetickou potřebu pro těžení mědi podle jejího obsahu v rudě. Výhodnější situace je u nemetalických materiálů, pro něž /nehledě k tomu je koncentrace potřebných minerálů vždy vyšší/ spotřeba energie je téměř o řád nižší než pro metalické. Na druhé straně jsou velmi citlivé na dopravu. Např. doprava písku a štěrku /do betonu/ na vzdálenost 35 km spotřebuje v USA víc energie, než celý průmysl magnesia.



Obr. 5 : Spotřeba energie potřebná k získání olova /kovu/ podle obsahu v rudě

- a - dnešní technologie
- b - reálně očekávané zlepšení technologi
- c - optimistická budoucí technologie



Obr. 6 : Spotřeba energie potřebné k výrobě mědi /kovu/ podle obsahu v rudě /9/

1 GJ = 278 kWh

Jedna z oblastí s vysokým energetickým nárokem je bydlení /obytné budovy/. V příštích 10 letech má být vystavěno na zemi 370 milionů bytů; kdyby se pro to použily tradiční metody, vedlo by to patrně k ekologické katastrofě. Proto se UNIDO, jedna ze součástí OSN, intenzivně zabývá vývojem obytných systémů s nízkou energetickou spotřebou.

<sup>+/</sup> V USA stoupla jen v posledních 25 letech o 600% při zvýšení produkce za posledních padesát let pouze o 50%.

Uvážíme-li vklad energií do moderního vysokoprodukčního zemědělství prostřednictvím umělých hnojiv, strojů, energie, dopravy atd. můžeme konstatovat, že zemědělství neprodukuje ani takové množství kalorií, které by bylo vloženo do země a má proto negativní energetickou bilanci, přestože v největší míře využívá nezapočítávané solární energie /fotosyntézou/.

Základní cestou v úsporách energie proto imperativně musí být inovace technologických procesů, což není cesta neschůdná, jak lze soudit i z dosavadního vývoje např. základní metalurgie, a lepší využití jednotkových /specifických/ vlastností materiálů, jinými slovy kvalitativní inovace materiálů.

Pro budoucnost nelze jen extrapolovat podle statistik z minulého rozvoje /třeba s velkými počítači/, což by nutně vedlo velmi brzo k nezvládnutelnému energetickému kolapsu, ale je třeba dospět k harmonické rovnováze mezi průmyslem a společností, vycházející z vazeb mezi materiálovou výrobou, užitím, energiemi a informacemi. Lze očekávat pokračování rozvoje nových materiálů, započatého po 2. světové válce, zejména v těchto skupinách /přibližných a často se překrývajících/:

- kovy a slitiny
- energie se týkající materiály
- informací se týkající materiály
- plasty
- keramika a ostatní anorganické materiály
- kompozitní materiály
- biomateriály

+/ Pro výrobu 1 kg hliníku v roce 1890 bylo zapotřebí 180 MJ, v roce 1970 již jen cca 54 MJ a očekává se, že nové způsoby výroby /kolem roku 1990/ budou vyžadovat pohých 18 MJ. Pro výrobu 1 t surového železa v roce 1800 bylo zapotřebí 8 t uhlí, v roce 1975 již jen cca 0,8 t. Nicméně, protože vlastnosti materiálů často omezují trvanlivost /využitelnost/ zařízení a systémů, bude záviset rozvoj nových zařízení a systémů zejména na pokroku v oblasti materiálů.

++/ Kdybychom extrapolovali, došli bychom k tomu, že např. po vyčerpání  $CH_4$  bude zapotřebí dalších cca 2kW/osobu pro nevratné zdroje a sladkou vodu /pro zemědělství a dalších cca 2 kW/osobu pro další účely. Tím by se zvýšila spotřeba energie z nyníšších 11 kW na 15 kW/osobu v USA a z 1,5 kW na 5,5 kW/osobu ve světě. Jestliže by se počet obyvatel zvýšil na  $10 \cdot 10^9$  a celý svět dosáhl poloviční spotřeby energie na osobu jako USA, byla by celková spotřeba energie  $75 \cdot 10^9$  kW, což je 12x více než současnost /ale stále pouze 0,1% sluneční energie absorbované a zpětně vyzářené zem. Budou-li atomové reaktory dodávat po  $5 \cdot 10^6$  kW /tepla/, svět by potřeboval 15 . 10 reaktorů. Jestliže každý reaktor dožije za 30 let, bylo by třeba stavět 500 reaktorů ročně, tj. 10 reaktorů každý týden. Za 30 let spotřebuje 1000 MW elektrárna cca 500 uranu /lehkovodní reaktor/, příp. 1500 t pro lehkovodní množivý reaktor /u něhož je ale zapotřebí dodat všechno palivo najednou/. Otázka je, máme-li na zemi na to místní podmínky prostředí, transport atd.

+++/ Přejdem na vysocepevné, nízkoslitinové oceli /oxidační procesy a elektrické pece/ ušetří se na hmotnosti konstrukčních dílců 10 - 30 % při stejné funkci. Nové způsoby výroby, např. s injektáží uhlovodíků, sníží spotřebu koksu cca na polovinu potřebného při dnešních způsobech výroby. Chlazení např. prostřednictvím dusíku místo vody umožní maximální využití tepla pro další výrobu nebo jinou spotřebu. Očekává se rozvoj výroby magnesia /neomezené zdroje/ a titanu /devátý nejrozšířenější prvek/. Růst výroby hliníku dále poroste; výroba hliníku sice spotřebuje velké množství energie, ale použití hliníku energii šetří /malá hmotnost/ a kromě toho velká část energie vložené do výroby je v hliníku trvale uložena, takže z hliníkového šrotu jej lze znovu vyrobit se zlomkem /cca 5%/ energie.

++++/ Rozvoj elektronických materiálů, který umožnil současný rozvoj elektroniky, je typickým příkladem významu materiálového inženýrství.

x/ Nové použití a aplikace plastů podmíněné novými výrobními technologiemi, je nalézáno téměř každý den a plasty se tak stávají částí nové generace materiálů, nahrazují kovy /obvykle termoplasty/, dřevo, cement, cihly atd. /obvykle termosety/. Mnohé alternativní materiály vyžadují stejné nebo větší množství energie /často ropu/, než je potřeba pro plasty. I když mnohdy nejsou nejlevnějšími materiály, přinášejí ceno-



Ve všech zemích s materiálovým průmyslem nicméně bude stále rozhodovat dostupnost energie. To ale zase žádá dostatečně přesné údaje o energetických požadavcích na materiálový průmysl, je třeba uvažovat i konservaci energie v materiálech /např. hliník/, životnost výrobků atd.

Energetická analýza, jež tyto problémy řeší, je nová vědní disciplína; vzniklá kolem roku 1972-73. Je obtížná, protože musí z velké části pracovat kromě faktů s předvídanými údaji o budoucnosti, avšak pro pokrok lidstva nezbytná.

#### ENERGETICKÉ HODNOCENÍ MATERIÁLU

Pro každého jsou běžné takové pojmy jako čas, vzdálenost, hmotnost, ale ne každý je schopen pracovat s energetickými jednotkami. Dokonce většina lidí si nedovede ani představit energetické veličiny a množství, neboť obvykle nejsou součástí intelektuálního a intuitivního vzdělávání.

Jeden litr ropy obsahuje přibližně 40 MJ. Člověk může vyrobit 2 MJ denně. Energetická hodnota jednoho litru ropy je tak přibližně rovna práci, vykonané jedním člověkem během celého měsíce. Vyrobení 1 dm<sup>3</sup> oceli vyžaduje cca 10 litrů ropy; tento kousek kovu je téměř ekvivalentní práci člověka po celý rok. Cihla nebo skleněné vlákno odpovídá více než jednomu týdnu lidské práce.

-----  
pokračování pozn. x/ ze str. 8

vé výhody v konečné aplikaci. V poslední době lze pozorovat zřejmý přesun do inženýrské oblasti /v níž je nyní využíváno již 1/3 vyrobených plastů proti 20% před deseti lety/.

Často se setkáváme s otázkami laiků, zda nedostatek ropy nebude znamenat odklon od výroby plastů. Odpověď je jednoznačná: nikoliv, právě naopak. Shodně s "DELPHI" /1 prognosou rozvoj plastikářského průmyslu trvale poroste, protože představuje nejekonomičtější využití ropy /s účinností cca 90%/ . Kromě toho spotřeba ropy na výrobu plastů činí ve vyspělých zemích pouze kolem 4% celkové spotřeby ropy; očekává se zvýšení tohoto podílu až na 9-10% /1990/. Z alternativních zdrojů pro C-plasty se očekává vedle využití uhlí rozvoj rostlinné surovinové base /především furanová chemie/. Předpokládá se rychlý rozvoj dalších syntetických makromolekulárních hmot /Si, F, PN, SN atd./ na anorganické basi.

xx/ /ze str. 8/

Cement a beton se stávají nejmasověji používanými materiály na světě. Srovnání celkové spotřeby energie /včetně výroby surovin a dopravy/ pro stejné nosné konstrukce z různých materiálů /oceli, zdiva, betonu/ ukazuje výrazně nejnižší spotřebu u betonu /pro vertikální části 7x méně než ocel, 5x méně než zdivo, pro horizontální prvky 3-4x méně než ocel/.

xxx/ /ze str. 8/

Teprve rozvoj kompozitních /synergických/ materiálů, nejen díky vlastnostem jednotlivých zúčastněných složek, ale zejména jejich řízenou spoluprací, může přinést dosažení požadovaných vlastností při minimálním energetickém vkladu /maximalisace "specifických" vlastností/. Např. isolační deska z integrální polyuretanové pěny izoluje 25x lépe než cihelná zeď s hmotností 750x menší; tím se dramaticky snižuje množství surovin a neobnovitelné energie spojené s jejich dopravou a zpracováním. Si-SiC komposit poskytuje vysoce pevný materiál až do teploty 1370°C /plynové turbíny/. Plněné termoplasty /srůstem 27%/rok/ poskytují vyšší pevnost, lepší tvarovou stabilitu, snazší výrobu, nižší cenu. Polymerní nebo kovové komposity vyztužené vysoce pevnými vlákny /C, B/ poskytují několikanásobně vyšší specifické tuhosti a pevnosti než nejlepší slitiny /letadla, kosmická tělesa/.

xxxx/ /ze str. 8/

Je nezbytné komplexní zpracování biomasy, zejména dřeva; cestou je budování integrovaných chemických výroby, např. převedení polysacharidů ve dřevu na etylen: úplnou hydrolysou na cukry, fermentací na etanol, dehydratací na etylen, zbývající lignin na fenol a jiné aromáty hydrogenací; etylen a aromatické uhlovodíky jsou surovinou pro výrobu konvenčních polymerů.

Obyčejně člověk nebere na vědomí, že každá surovina vyžaduje vložení jisté energie pro její vytěžení, rozdělení, vyčištění, uložení, dopravu, skladování a marketing<sup>+</sup>. Každý výrobek je udělán ze surovin a každá operace výroby, reklamy, prodeje, dopravy a i zničení výrobku /po užití/ představuje opět spotřebu energie. Součet energií potřebných pro každou operaci je souhrnný vklad, jehož vydělením životností produktu se získá specifický souhrnný energetický vklad. Z toho je evidentní, že úspory energie je možno dosáhnout dvěma cestami: buď snížením energetického vkladu, nebo zvětšením životnosti<sup>++</sup>.

Protože energie je v podstatě limitní /nebo limitující/ surovina, je přirozený rostoucí zájem o objektivní hodnocení množství vydané energie na každý druh lidské činnosti, na každý výrobek. Např. pro jízdu autem na 1 osobu/kilometr se spotřebuje přibližně 4 MJ. Při cestě vlakem se stejnou spotřebou energie se člověk může dostat 5x daleko, na kole 30x dál. Stejnou hodnotu 4 MJ spotřebuje např. uvaření jídla, upečení koláče nebo udržení vhodné teploty v pokoji po dobu 1 hodiny. Sčítání různých čísel včetně vyvozování závěrů může být /a často je/ jistá hra, hra zatím bez stanovených pravidel. Výsledek velmi značně závisí na použité metodice a v podstatě lze dojít k jakémukoli výsledku. Např. srovnání jízdy autem a vlakem je založeno na předpokladu určitého počtu cestujících ve vlaku, jisté síle auta a jisté rychlosti. Kromě toho může nebo nemusí zahrnout energie pro stavbu železnice a železničních budov, obsluhu, údržbu, spoje, zabezpečení, výrobu vlaku a auta atd. Při diskusi výsledků lze udělit výhodu oběma způsobům dopravy podle přání<sup>+++</sup>. Protože tedy není zatím výpočet příliš jasný, lze jej použít jen s omezením pro získání jisté představy a neměl by sloužit k poskytnutí "střeliva" na podporu předem zamýšleného záměru. Teprve až nová vědní disciplína, energetická /procesová/ analýza, bude dostatečně rozpracována, lze výsledky použít k rozhodování o volbě a realizaci záměrů. V této analýze je třeba nejdříve definovat proces a jeho meze a teprve pak stanovit energetické nároky /uvnitř daných mezí/.

-----  
+ / Např. aby bylo možno definovat skutečnou energetickou účinnost benzínu /a jeho poměru k ropě/, mělo by se od jeho energetické hodnoty odečíst čerpání, čištění, krakování, transport, distribuce, příp. marketing a reklama, a uvážit hodnotu vedlejších produktů i zpracování /uložení/ odpadů.

++ / Bylo vypočteno, že souhrnný energetický vklad pro běžné auto je ekvivalentní asi 5-6 násobku množství benzínu, které auto spotřebuje během celé doby jeho využívání, aniž by se uvažovaly speciální významy nebo infrastruktura dopravy.

+++ / Jiný příklad je hliník, který je často předmětem energetických her. Jeho výroba je 5x energeticky náročnější než ocel, ale je lehčí. Tím se ušetří spousta energie za provozu po celou dobu životnosti. Ke zpracování hliníkového šrotu je zapotřebí zlo-  
mek energie než na zpracování hliníku z bauxitu i zpracování ocelového šrotu. Lze nalézt závěry, že množství energie pro získání 1 kg hliníku je od 45 do 300 MJ podle toho, jde-li jen o elektrolyzu nebo je-li zahrnutý bauxitový důl, továrna na hliník, ztráty na poli ropy, dopravy, anodová výroba, leptadlová výroba, huť zahrnující možná i uhelný důl a tepelnou elektrárnu /spalující uhlí s nízkou účinností/, materiály užití pro stavbu výroby atd., uvažuje-li se s životností výrobku a jak je zvolena /technicky, morálně/, s požadavky na energii při užívání výrobku, energii potřebnou pro deponování, znovuvyužití nebo recyklizaci.

Nekomplexní energetická analýza vede skoro vždy k celkovým národohospodářským ztrátám. Např. výrobce pryžových podpatků se rozhodne použít pro výrobu pryže, vyžadující menší teploty, tlaky a časy vulkanisace. Tím sice vykáže vysoké jednotkové úspory, avšak sníží podstatně životnost výrobku; k zajištění stejné použitelnosti boty je třeba vyrobit a připevnit podpatek mnohokrát, čímž celkové energetické požadavky výrazně stoupnou /nehledě k přetěžování výrobních i opravárenských kapacit a nespokojenosti zákazníka/. Výrobce by proto měl vždy prokazovat výhodu nového postupu /výrobku/ celkovou energetickou analýzou s ohledem na finální použití.

Přítom existují tři hlavní problémy:

- jak stanovit hranice ve shodě se smyslem /záměrem/ studie
- jak sčítat různé druhy energie<sup>+</sup>/
- jak pojednat /zahrnout/ větve /pobočky/ ve výrobním řetězci.

Jiný způsob studia je založen na tzv. teorii vstup-výstup, za kterou obdržel Nobelovu cenu Vasil Leontěv. Zde je hospodářství rozděleno do sektorů a vliv jednoho sektoru na druhý je vypočten ze vstupů a výstupů každého sektoru. Vyžaduje to ovšem velmi obsažnou databanku a velký počítač, jinak platí stejná pravidla jako při procesové analýze.

- Souhrnně řečeno v energetických výpočtech musí být dodržena tato tři pravidla:
- vypočítat celkový vstup primární energie od dolu až ke konečnému výrobku s příslušnými hranicemi a konverzními faktory<sup>++</sup>/
  - vzít do úvahy energii ušetřenou znovuvyužitím; může-li být materiál recyklován, může značná část energie potřebná k primární výrobě do procesu vrácena<sup>+++</sup>/
  - užít energetické výpočty pro srovnání reálných alternativ /výrobků a služeb/ a zahrnout úspory energie v celém období životnosti výrobku<sup>+++</sup>/.

Obtížný je energetický popis u plastů, neboť výrobu nelze popsat jako jednoduchý proces; je třeba vidět a zahrnout i mezilehlé spoje s různými větvemi a vedlejšími produkty /to platí zvláště při výrobě plastů z ropy, víc než z plynu/. Zdá se, že nejvhodnější způsob je vzít energetickou hodnotu produktu zvýšenou o jistou konstantní veličinu, např. 20% a přímou energii potřebnou k polymeraci. Pro polyetylen to dává 85 MJ/kg, pro PVC o něco méně, pro PP o něco více, pro polyester výrazně více.

+/ Např. u hydroelektrárny je 1 MJ elektřiny roven 1 MJ primární energie, zatímco u tepelné elektrárny je 1 MJ roven 3 MJ primární energie.

++/ Jen zcela pomocným kriteriem může být spotřeba energie na jednotku /kg, dm<sup>3</sup>/ samotného, nezpracovaného materiálu. Je-li již nezbytné porovnávat materiály, mělo by hodnocení být vztaženo na jednotku vlastnosti /nebo ještě lépe na jednotku specifické vlastnosti, tj. poměru vlastnosti a hmotnosti/.

Je přitom třeba započítat i ztráty výrobce energií; např. ropný průmysl spotřebuje cca 17% své vlastní energie na výrobu včetně distribuce čistých výrobků. Cca 3% plynu se spotřebuje pro jeho dopravu, další ztráty činí cca 4%, takže je dodáváno cca 93% získaného množství. Elektřina je z hlediska energetické náročnosti nejdražší energie: cca 2/3 vložené energie paliva je ztraceno buď přenosem k uživateli nebo chlazením vod.

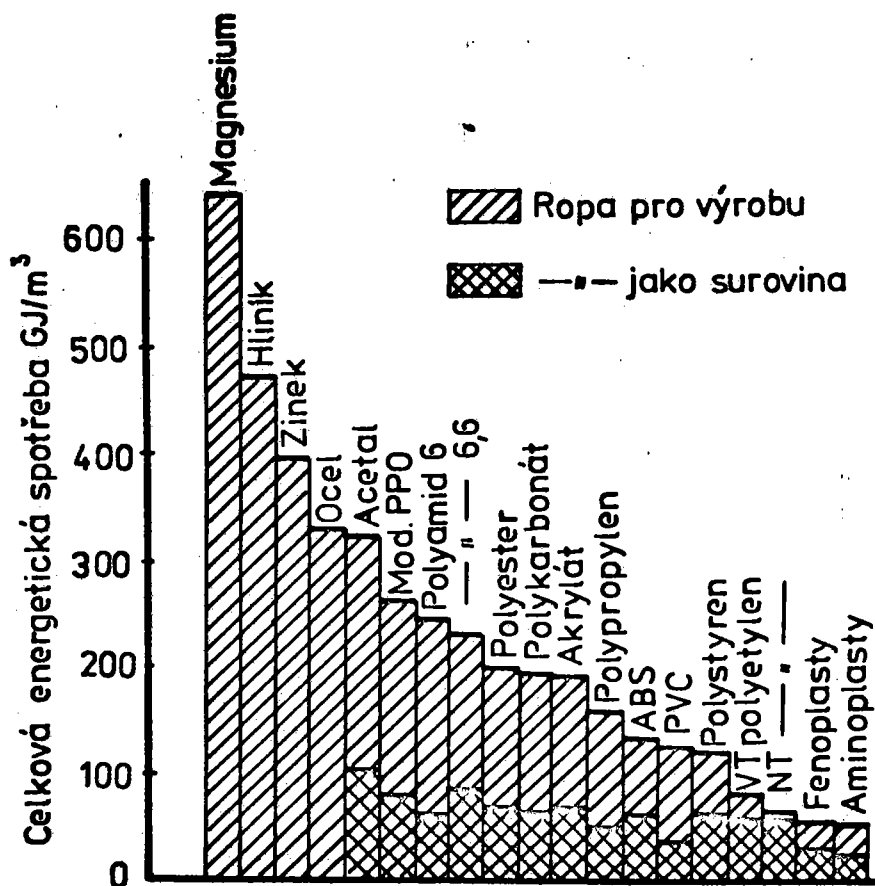
+++/ Např. pro moderní výrobu primárního hliníku je 54 MJ/kg, pro výrobu sekundárního hliníku /ze šrotu/ 3 MJ/kg.

++++/ Např. při srovnání ocel-hliník vyplývá, že vstup primární energie na 1 tunu pásového profilu je 31 GJ - 179,5 GJ a úspory např. při návrhu auta vzniknou snížením hmotnosti podle tabulky:

Množství užitého hliníku	Úspora benzínu na autě za životnost /10-12 let/
50 kg /dnešní stav v USA/	850 litrů
100 kg /budoucnost/	1 700 litrů
200 kg	2 600 litrů

U nákladních aut použití hliníku snižuje podíl vlastní hmotnosti a zvyšuje únosnost /užitečné zatížení/. Železniční vagon na pevné hmoty /např. fosfáty/ ušetří 5x tolik energie, než bylo zapotřebí pro hliník užitý při jeho konstrukci navíc proti oceli, při životnosti 20 let.

Přestože plasty spotřebují energii jednak jako surovina, jednak pro výrobu, mají celkové energetické požadavky obdobné nebo menší než jiné materiály, jinými slovy spotřebuje se na ně stejné nebo menší množství ropy /obr. 7/. K tomu přistupují navíc zpracovatelské a užitkové vlastnosti /menší spotřeba energie na zpracování, transport, montáž, lepší tepelně izolační vlastnosti atd./. Např. pro výrobu odpadního potrubí Ø 400 mm je zapotřebí pro železobeton 0,9 GJ/m, pro keramiku 0,7 GJ/m a pro PVC 1,0 GJ/m, přičemž není do této sestavy zahrnut energetický ekvivalent za surovinu v případě betonu /cement, šterkopísek, ocel/ a keramiky. Nebo uvážili-li se okapové potrubí Ø 100 mm, potom ropný ekvivalent pro potrubí z plastů vychází 360, pro litinové potrubí 1970!



Obr. 7 : Srovnání celkové energetické spotřeby pro výrobu některých kovů a plastů /13/

## ZÁVĚR

Co k uvedenému rozboru dodat? Jednoznačné je, že v současné době žijeme v materiálové revoluci. Všechny ostatní průmysly přímo nebo nepřímo, dříve nebo později, je nebo bude závislý na pokroku ve výzkumu moderních materiálů. Prozíravý rozbor situace a nástin dlouhodobé strategie, vyjádřený v usnesení XVI. sjezdu KSČ dává plně předpoklady, aby ČSSR stála v přední linii těch, kteří si tento vývoj uvědomují a tak si vytvořila postupně solidní základ pro budoucí ekonomii. Každá revoluce je ovšem drahá záležitost, ale ten, kdo zaspí, kdo se opozdí, bude na dlouhou dobu odsouzen do role "outsidera", neboť nebude v silách žádné, sebesilnější ekonomiky přebudovat průmysl přes noc a pokrýt obrovské investiční nároky spojené s materiálovou revolucí naráz. Podmínky socialistické společnosti, ve které určujícím strategickým nástrojem je dlouhodobé plánování, nezávislé na subjektivních vlivech a tlacích, a vycházející z vyváženého využívání materiálových, energetických a finančních zdrojů celého socialistického tábora ku prospěchu společnosti, skýtají jedinečné možnosti takového vývoje. Je na nás, abychom nabízené možnosti maximálně využili; k tomu je třeba tento vývoj sledovat nejen na poli ekonomiky, ale i na poli školství, výchovy, výzkumu a vůbec vzdělávání k novému materiálovému myšlení na všech úrovních.

LITERATURA

- /1/ Materials and Man's Needs: Materials Science and Engineering, National Academy of Sciences, Committee on the Survey of Materials Science and Engineering /COSM/ Washington, D.C., 1977
- /2/ D. Altenpohl, Materials in World Perspective, Springer-Verlag, Berlin, 1980
- /3/ Minerals Resources and the Environment, National Academy of Sciences, Committee on Mineral Resources and the Environment, Washington, D.C., 1975
- /4/ H. Kahn a kol., The Next 2000 Years, William Morrow and Co., Inc., New York, 1976
- /5/ Mining and Mineral Policy, Annual Report of the Secretary of the Interior, Washington, D.C., 1977
- /6/ Materials and National Issues Conference, Proceedings, US Department of Commerce, Washington, D.C., 1977
- /7/ Organisation of European Aluminium Smelters /OEA/, 1976-1977, Brusel, 1977
- /8/ Rational Use of Potentially Scarce Metals, NATO Scientific Affairs Division, Brusel, 1976
- /9/ The Energy Accounting of Materials, Products, Processes and Services, Proceedings 9th International TNO Conference, Rotterdam 1976
- /10/ Metallstatistik, Metalgesellschaft AG, Frankfurt/M., 1981
- /11/ H. Ruehman, W. Milcke, A. Friedeg, G. Burghoff, Prognosen fuer die Kunststoffindustrie Ergebnissen der IKV-DELPHI-Umfrage, Aachen, 1979
- /12/ A. Schwabe, Future of Plastics in Building, ICP/RILEM/IBK International Symposium Plastics In Material and Structural Engineering, Praha, 1981
- /13/ H. Schaefer, Plastics and the Saving of Energy, dtto jako /12/
- /14/ G. Heages, H. Ruehman, The Plastics Processing Industry - Some Aspects of Its Future Development, Modern Plastics International, březen 1981, s.29

Materiály, energie a rozvoj společnosti

Ing. Richard A. BAREŠ, DrSc., IAM- ČSAV

/doplňk<sup>h</sup> písemného referátu - ústní projev/

Dovolte mi zopakovat nejdříve hlavní myšlenky, obsažené v mém písemném referátu.

Materiály jsou klíčovým kamenem civilisace. S energií a informacemi tvoří trojici, která vytváří moderní průmyslovou společnost. Jakmile jedna z těchto sil zeslábne nebo chybí, je struktura společnosti ohrožena nebo se rozpadá.

Materiály a energie jsou naše přírodní zdroje. Jsou složky všeho co produkujeme a jejich důležitost v našem osobním životě a hospodářství státu nemohou být dost zdůrazněny. Mezivztahy a interakce materiálů a energie jsou velmi složité a složitost těchto vztahů se zvyšuje. Jejich porozumění a vedení může zabezpečit jen zvětšený rozsah informací.

Je zřejmé, že nejučinnější, nejekonomičtější a sociálně usměrňující řešení k zachování nedostatečných přírodních zdrojů a k úsporám energie je informované a pokrokové hospodaření s materiály v celém životě, tj. komplexní řešení celého materiálového cyklu. Možnosti a příležitosti pro zachování energie prostřednictvím materiálového hospodaření jsou nesporně obrovské. Tedy: žádná energetická politika nemůže být dlouhodobě účinná, pokud nemá integrovanou a kompatibilní materiálovou politiku.

S ohledem na větší zájem o životní prostředí je třeba sledovat účinnější hospodaření s materiály s ohledem na komplexní mezivztahy v trojúhelníku materiály - energie - prostředí. Je třeba si uvědomit, že soustavný ekonomický růst žádá zvyšování produkce materiálů a že zabezpečení dostatečných zdrojů materiálů znamená vznik různých

ekonomických, politických, sociálních, technologických a ekologických problémů a rozporů. Do rozhodování a vedení je třeba zavést objektivní kritéria hodnocení všech výrobků a činností pomocí důsledné energetické /procesové/ analýsy.

Lze konstatovat, že vývoj všech nových technologií závisí kritickým způsobem na vývoji nových materiálů, nových materiálových koncepcí a hlubším porozumění fyzikálním jevům. Materiálový problém tak prostupuje všechny programy. Jde přitom nejen o vývoj nových zdrojů energie a materiálů, ale i o úsporu jejich celkových a omezených zásob maximální účelností jejich využití.

K zabezpečení tohoto vývoje je zcela nezbytné podstatně rozšířit pozornost materiálovému výzkumu a vzdělání a odstranit dlouhodobé podceňování /finanční, nedostatku osob a studentů, morální představiteli akademického života/ materiálové vědy a inženýrství.

Na poli výzkumu je třeba věnovat pozornost především:

- možnostem využití základních fyzikálních a chemických vlastností k vytvoření nových materiálů nebo zajištění nových vlastností starých materiálů /nové účinnější technologie, menší energie, snížení znečišťování prostředí, automatizace výrobních procesů/
- větší orientaci na možné omezení materiálových zdrojů a zásob
- změnám v přístupech a činnostech tak, aby byl zabezpečen přínos základního výzkumu nejen ke specifickým, ale i globálním otázkám
- podložení činnosti v materiálovém výzkumu adekvátním vědeckým porozuměním souvisejících fyzikálních jevů a rozvojem interdisciplinárních aspektů
- generalisaci spíše než výzkumu jednotlivých materiálů, neboť mezi mnoha třídami materiálů existují značné podobnosti /kovy, keramika, polymery/ vzhledem ke struktuře, chování, vlastnostem, výrobě
- zaměření na relaci mezi strukturou a vlastnostmi materiálů jako základu pro jejich návrh, přípravu, využití.

Na poli řídicím je dále třeba se zaměřit na:

- potenciální možnosti obnovovatelných zdrojů
- využití bohatých minerálů a kovů v zemské kůře.

V oblasti materiálů a technologií je možno vytipovat těchto 8 klíčových konkrétních kategorií /společně pro vědeckou, řídicí i výrobní oblast/:

- pokrok v porozumění tvorby minerálů a technologie jejich využití
- zvládnutí tovární biochemie
- tvorba nových materiálů a procesů /nové polymery, nové důlní technologie, nové hutní technologie, zpracování magnesia, křemíku, titanu, organických odpadů jako ligninu/ k zabezpečení extrémně důležitých funkcí, pro které dosavadní materiály jsou neúspěšné /letectví/ nebo bez dalších surovinových zdrojů /chrom/
- zlepšení fyzikální účinnosti při využití surovin /zvětšená energetická účinnost výroby hliníku, oceli, rozšíření dřevěných výrobků a plastů využití drahých a omezených materiálů jen tam, kde jsou nezbytně potřeba/
- lepší spojení výběru materiálů s návrhem částí k redukci ztát materiálů a energií během výroby
- tvorba materiálů, které umožňují jejich redukci při zachování stejné funkce části /miniaturisace, zvýšená spolehlivost, místně proměnné materiállové systémy, hybridy, komposity s kombinací vlastností nedosažitelných žádným homogenním materiálem/
- zlepšená trvanlivost materiálů a jejich ochrana /snížení rychlosti korose, opotřebení, nové kovové a keramické materiály s vyšší teplotní schopností k dosažení větší Carnotovy účinnosti spalování a větší odolnosti chemickému působení pro horší paliva/
- zlepšení návrhu, znovuvyužití materiálů během výrobního procesu a po skončení životnosti výrobků.



Na poli školství a výchovy je třeba:

- zcela změnit výchovu a nahlížení na všechny činnosti /materiálový a energetický pohled/
- zajistit, aby ze škol vycházeli optimálně vyškolení inženýři a vědci /neboť žádná instituce zabývající se materiálovými dodávkami nemůže řádně fungovat bez osob vyškolených v materiálové vědě včetně surovinových možností, atd./
- zřídit vysokou školu materiálového inženýrství a zajistit tak výchovu materiálových specialistů v oblasti interdisciplinární povahy, současně přehodnotit interakci materiálové vědy a inženýrství s jinými oblastmi vědy a technologie.

Závěrem bych chtěl konstatovat, že by bylo jistě pošetilé nevidět, že nové poznatky o surovinových a energetických nedostatcích a zvýšený zájem o prostředí se odrazí v našem tradičním životním stylu. Naše budoucnost bude rozdílná, ale není třeba se domnívat, že bude špatná.