

Přednáška

VÝUKA V OBORU ANORGANICKÝCH MATERIÁLŮ NA UNIVERZITÁCH V USA

JOSEF MATOUŠEK

*Vysoká škola chemicko-technologická, katedra technologie silikátů, 166 28 Praha 6
Suchbátarova 5*

Došlo 26. 10. 1977

Článek shrnuje poznatky autora ze studijního pobytu v USA o vysokoškolské výuce v oboru anorganických materiálů. Stručný popis organizace studia je doplněn charakteristikou studijních programů a zkušenostmi z přednášek a seminářů na některých amerických univerzitách.

Výchova vysokoškolsky vzdělaných odborníků v oboru materiálů je soustředěna na katedrách, které zpravidla sdružují metalurgický, keramický a sklářský směr, tj. výuku anorganických materiálů. Cílem výuky je naučit absolventy optimálně využívat základnu pro výrobu materiálů o požadovaných vlastnostech při respektování minimálního vlivu výroby a materiálových odpadů na životní prostředí. Základní myšlenkou výuky je vést posluchače k porozumění souvislostem mezi vlastnostmi materiálů a jejich strukturou v atomárním měřítku i v makroskopických dimenzích. Znalost těchto souvislostí umožňuje optimální vedení výroby a využívání stávajících materiálů a současně je nezbytným předpokladem pro vývoj a výrobu materiálů nových, jež odpovídají náročným požadavkům moderních technických aplikací. Výukový systém dále vychází z vědomí významu poznatků chemie a fyziky pevné fáze pro další rozvoj materiálové základny. Teoretická příprava posluchačů je proto vedena tak, aby poznatkům z těchto vědních disciplín porozuměli a byli schopni i v budoucnu další vývoj těchto disciplín sledovat.

Vysokoškolská výuka v materiálovém oboru je podobně jako v jiných oborech dvoustupňová. Prvý stupeň zahrnuje výchovu vysokoškolských odborníků, kteří nacházejí uplatnění především v průmyslu, a je ukončen dosažením hodnosti B. S. (Bachelor of Science). Druhý stupeň představuje vyšší, náročnější typ studia, navazující na stupeň první a je ukončen dosažením hodnosti M.S. (Master of Science), popř. v některých případech M.E. (Master of Engineering). Výuka v tomto druhém stupni na mnoha univerzitách se prolíná s vědeckou přípravou (Ph.D.) a její obsahová náplň je souborně označována jako „graduate program“. Organizace a obsahová náplň především druhého stupně studia není na amerických univerzitách jednotná, a je tedy obtížné ji souhrnně popsat. Dále budou proto uvedeny pouze hlavní společné rysy učebních plánů studia anorganických nekovových materiálů, které vyplývají z poznatků získaných při návštěvách některých universit (Case Western Reserve University — Cleveland, University of California — Berkeley, University of California — Los Angeles, University of Missouri — Rolla, Rensselaer Polytechnic Institute — Troy, New York, a Pennsylvania State University).

Náplň učebních plánů studia v prvním stupni, které je zpravidla tří až čtyřleté, lze rozdělit do čtyř předmětových bloků:

1. Obecný teoretický základ
2. Humanitní a společenské vědy
3. Teoretický základ materiálového oboru
4. Předměty zvoleného užšího oboru (metalurgie, sklo a keramika)

Obecným teoretickým základem soustředěným do prvních 3—4 semestrů, je matematika, fyzika, obecná chemie a fyzikální chemie. Matematika je přednášena v prvních dvou ročnících studia a zahrnuje vedle základů vyšší matematiky některé aplikace pro řešení úloh teoretické fyziky a chemického inženýrství. Výuka matematiky je tedy chápána účelově a jejím cílem je připravit studenta pro řešení praktických úloh, jež se vyskytnou v dalším studiu a v praxi. Chemie je přednášena po dva semestry pouze ve velmi obecné poloze (základní chemické zákony, struktura atomů a molekul, typy vazeb, základy termochemie, elektrochemie a na některých universitách základy biochemie). Vedle obecné chemie jsou do studijního programu někdy zařazeny i přednášky a cvičení z chemie experimentální. Náplň tohoto předmětu tvoří výklad metodiky chemického experimentu a základů preparativní a analytické chemie. Náplň přednášek z fyziky se podstatně neliší od přednášek na našich chemicko-technologických školách. Fyzikální chemie završuje obecný teoretický základ absolventa a je přednášena ve speciálním kursu, který je určen pouze pro inženýrskou fakultu. Jde o výklad základů fyzikální chemie s důrazem na fyzikálně-chemické jevy, významné v chemicko-inženýrských procesech.

Humanitní a společenské vědy jsou zařazeny v programu přednášek každého semestru prvního stupně studia. Vedle základního kursu mají studenti možnost si volit i doplňkové přednášky z těchto disciplín. Náplň těchto přednášek je velmi různorodá. Zahrnuje např. problematiku vztahu věda—technologie—společnost, sociální aspekty vývoje amerického společenského systému, postavení inteligence v tomto systému a problematiku politického vývoje současného světa.

Teoretický základ materiálového oboru tvoří v podstatě předměty „Úvod do nauky o materiálech“, „Transportní jevy“ a „Základy výroby materiálů“. V osnově prvního předmětu je zahrnuto opakování a rozšíření základních představ o typech chemické vazby a základních poznatků z fyzikální chemie, které jsou významné pro materiálový obor. Na tento výklad navazují kapitoly o struktuře pevných látek, poruchách krystalických mřížek a o transportu elektronů v pevných látkách. Dále jsou charakterizovány základní typy materiálů (kovy, polymery, keramické materiály, skla, materiály kompozitní) a vlastnosti těchto materiálů, spolu s jejich chováním za zvýšených teplot a v korozivním prostředí. Je kladen důraz na pochopení souvislostí mezi strukturou a vlastnostmi materiálů a na možnost predikce těchto vlastností ze znalosti jejich struktur.

Pro pochopení podstaty technologických procesů probíhajících při výrobě a aplikaci materiálů v praxi má základní význam předmět „Transportní jevy“. Náplň tohoto předmětu tvoří výklad zákonitostí transportu hmoty, energie a hybnosti, doplněný o některé inženýrské aplikace. Tento předmět je obdobou předmětu „Chemické inženýrství“, jež je přednášen na vysokých školách chemicko-technologických v ČSSR. Na rozdíl od našeho pojetí je větší důraz

kladen na pochopení podstaty transportních jevů v pevných látkách v atomárním měřítku.

Dalším předmětem, který lze zařadit do teoretického základu nauky o materiálech, je předmět „Základy výroby materiálů“. Obsahem předmětu je výklad teoretických základů výrobních procesů materiálů kovových i nekovových. Součástí předmětu jsou na některých univerzitách odborné exkurze v průmyslových podnicích.

Poslední předmětový blok, který má za úkol prohloubit znalosti studentů v užší specializaci (metalurgie, keramika a sklo), je zastoupen v učebních programech volitelnými předměty. Jejich náplň tvoří hlubší charakteristika struktury a vlastností konkrétních inženýrských materiálů a procesů, které se uplatňují při jejich výrobě a při jejich používání v praxi.

Studium je ukončeno laboratorní prací v menším rozsahu, při níž má student prokázat schopnost experimentálně řešit úzký a nenáročný problém z oboru metallurgie nebo skla a keramiky. Hodnost B.S. se uděluje na podkladě dosažení předepsaného počtu jednic — studenti zpravidla neskládají závěrečnou souhrnnou zkoušku.

Na tomto místě je účelné upozornit na některé odlišnosti v organizaci studia a v hodnocení studentů amerických universit. Americký vysokoškolský systém je na rozdíl od našeho poměrně komplikovaný především pro možnost volby individuálního studijního plánu a dále ve způsobu hodnocení prospěchu studentů. Po úspěšném absolvování předmětu získává student určitý počet bodů, nebo jednic (credits), v závislosti na významu předmětu. Na některých univerzitách se počet jednic shoduje s týdenním počtem hodin přednášek z uvažovaného předmětu, na jiných je v bodovacím systému zahrnuto i hodnocení posluchače. Pro postup do dalšího semestru je požadován určitý počet jednic a úspěšné absolvování těch předmětů, které jsou určeny jako nutné pro návštěvu dalších přednášek. Posluchač je ve všech předmětech hodnocen průběžně, na podkladě dílčích zkoušek a testů a nevykonává ani z jednotlivých předmětů souhrnnou zkoušku. Zkouškové období v našem pojetí není zavedeno a časová rezerva mezi zimním a letním semestrem je minimální (3—5 dnů).

Základním znakem vyšší formy studia (M.S., M.E.) je individuálnost studijního plánu. Katedry vypisují seznam přednášek, z nichž si studenti vybírají po dohodě s profesory svůj vlastní individuální plán studia. Přednáší se pro menší počet posluchačů, souslednost přednášek není předepsána a na rozdíl od studia v prvním stupni není zaveden systém průběžných zkoušek. Studium každého posluchače je sledováno profesorem, který vede jejich experimentální práci, určuje termín závěrečných zkoušek (comprehensive examen) a odpovídá za odbornou úroveň posluchačů doporučených k obhajobě diplomové práce (thesis). Pro ilustraci studijního programu jsou dále uvedeny přednáškové kurzy pro obor keramických a sklářských materiálů.

Sklenný stav — anorganická a organická skla, transformace skel a související jevy, krystalizace skel, optické a mechanické vlastnosti skel.

Relaxační procesy v pevných látkách — chování pevných látek při aplikaci mechanického napětí, v magnetickém a elektrickém poli, účinek elektromagnetického záření.

Elektrické a magnetické vlastnosti materiálů — vodiče, izolátory, polovodiče, feroelektrika a feromagnetika.

Fyzikální vlastnosti keramických materiálů — souvislost vlastností materiálů

- s jejich strukturou. Zvláštní důraz je kladen na výklad mechanismu lomu keramických materiálů.
- Matematika pro materiálový obor — výpočty mřížkové energie, rozložení mechanického napětí, struktury krystalů, diferenciální rovnice pro transport tepla a hmoty, aplikace variačního počtu pro výpočet fázových transformací, Fourierových metod pro rentgenovou analýzu, vektorový počet a jeho aplikace v nauce o materiálech.
- Termodynamika pevných látek — klasická a statistická termodynamika pevných roztoků, fázové rovnováhy a transformace, povrchové a mezi-fázové jevy, poruchy struktur pevných látek.
- Dislokační teorie mechanických vlastností — elasticita, makroskopické pozorování vlastností souvisejících s dislokacemi, tepelné zpracování a jeho vliv na mechanické vlastnosti.
- Radiační záření a pevné látky — teorie defektů pevných látek vyvolaných radiací, materiály pro nukleární reaktory.
- Elektronová mikroskopie — preparační techniky, rozptyl elektronů a tvorba obrazu, studium defektů v krystalech a v multifázových materiálech.
- Pohyb atomů v pevných látkách — difúzní zákony, povrchová difúze a difúze po hranicích zrn, nelineární difúze, aplikace irreverzibilní termodynamiky pro řešení multikomponentní difúze, difúze v teplotním a tlakovém gradientu, slinování, iontová výměna a homogenizace pevných látek.
- Technologie skla — fyzikálně chemická podstata procesů sklářské výroby, aplikace chemického inženýrství pro popis těchto procesů.
- Keramické materiály — výroba a vlastnosti, fyzikálně chemické principy.
- Vedle těchto přednášek může student navštěvovat přednášky na jiných katedrách a fakultách. Většina universit předpisuje podíl přednášek mimo hlavní obor posluchače a snaží se tak o univerzálnější znalosti absolventů a o jejich celkový, nikoliv jen úzce odborný růst. Diferencovanost a individualnost studijních programů někdy vede k nedostatkům v odborných znalostech absolventů, neboť je na újmu systematickosti vzdělávání. Je úkolem profesora, který vede experimentální práci studenta („advisor“), aby dbal o vyváženost studijního programu s ohledem na teoretický základ a faktografické znalosti v materiálovém oboru.

Teoretická příprava předepsaná pro hodnost Ph.D. je organizována v podstatě stejným způsobem, jako v případě M.S. Rozdíl je v tom, že počet předmětů je vyšší a je odlišné jejich rozdělení mezi předměty širšího a užšího oboru a předměty mimooborovými. Jestliže studium pro M.S. je plánováno na dva roky, vědeckou hodnost Ph.D. lze dosáhnout po dalších třech letech studia. V některých případech lze získat hodnost Ph.D. přímo, aniž by bylo nutné nejdříve dosáhnout hodnosti M.S. V každém případě jsou na uchazeče o hodnost Ph.D. podstatně větší nároky nejen při závěrečných zkouškách (písemných i ústních), ale i na rozsah a kvalitu experimentální práce, jež je v písemné formě (thesis) předkládána k obhajobě před komisí.

Při výchově „graduate students“ je kladen velký důraz na schopnost přesvědčivé prezentace výsledků vlastní práce a na schopnost diskuse o vědeckých problémech a to nejen v úzké vědní oblasti, ale i v širším oboru. Tyto vlastnosti jsou záměrně pěstovány při neformálních schůzkách studentů, na nichž se hovoří o problémech experimentální práce a o teoretických problémech, které s touto prací souvisejí. Studenti jsou vedeni k diskusi i na pravidelných seminářích, konaných pravidelně alespoň jednou týdně, na nichž

přednáší pracovníci z jiných kateder nebo fakult university, ale často i odborníci z jiných universit a výzkumných ústavů. Výměna informací mezi studenty, katedrami, universitami a dalšími institucemi je velmi intenzivní a přispívá k odbornému růstu a k celkovému rozhledu absolventů universit. Graduovaní studenti plní současně i pedagogické povinnosti, nejčastěji při seminářích a v laboratořích. Získávají tedy současně i pedagogickou praxi a udržují si poznatky ze širšího oboru.

Studium na universitách v USA je zpravidla finančně velmi náročné. „Undergraduate students“ platí školné, jehož výše se pohybuje kolem 2500 \$ ročně, na státních universitách je nižší (cca 1000 \$), na některých soukromých universitách je naopak daleko vyšší (University of California Berkeley 7500 \$ ročně pro studenta, který je obyvatelem státu California). Školné doktorantů činí cca 50 % z výše jejich stipendia, tj. cca 300 \$ měsíčně. Sociální stipendia v našem pojetí nejsou zavedena. Pro omezený počet studentů jsou vypisována, většinou velkými průmyslovými společnostmi, stipendia ve výši 300—1000 \$ ročně. Finanční nároky studia jsou značnou překážkou pro dosažení vysokoškolského vzdělání; v amerických podmínkách však představují pro mnohé studenty významný motiv, který je nutí studovat úspěšně a neprodlužovat zbytečně délku studia.

V krátkém informativním přehledu nebylo možné postihnout všechny zvláštnosti amerického vysokoškolského systému. Z uvedeného vyplývá důraz na účelně zaměřenou obecnou teoretickou přípravu a na získání inženýrských a fyzikálně chemických znalostí ve vlastním oboru, tj. v oboru technologie a vlastností anorganických materiálů. Tento přístup, doplněný o vybrané faktografické znalosti z oboru, je podle názoru amerických profesorů, předpokladem trvalého vývoje absolventů v praxi a jejich uplatnění v celé šíři materiálového oboru.

ВУЗОВСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УНИВЕРСИТЕТАХ США

Йозеф Матоушек

Кафедра технологии силикатов Химико-технологического института, Прага

Основной идеей вузовского образования в области материалов является то, что оптимальное использование материалов зависит от понимания взаимосвязей между свойствами материалов и их атомной структурой. Учебные программы являются настолько общими и широкими, что студентам дают возможность пачать работу по профессии непосредственно после окончания университета с признанием степени B. S., или продолжать обучение по профилирующим дисциплинам (M.S., Ph.D). Система воспитания создаст предположения для неперменного роста выпускников в области исследования и для работы на практике в широкой области материалов.

J. Matoušek:

UNIVERSITY EDUCATION ON THE FIELD OF INORGANIC
MATERIALS IN USA

Josef Matoušek

Institute of Chemical Technology, Department of Silicate Technology, Prague

The basic philosophy of educational programs in Material Science is that the optimal use of material depends upon an understanding of the manner in which materials properties are related to their atomic structure. The programs have sufficient flexibility that students are able to begin their professional career immediately upon receipt of B.S. degree, or to continue their education in advanced degree programs (M.S., Ph.D.). The educational system creates presumption for continuous development of graduates in their research and professional activities in the broad range of materials science.
