

Vztah mezi základním a aplikovaným výzkumem a tvorbou moderních studijních plánů v informatice

Pavel Tvrdík, Fakulta informačních technologií, ČVUT v Praze

V následující stati se pokusím nastínit své pochopení základních tezí architektury studia dle boloňské deklarace 3 cyklů terciárního vzdělávání v oblasti informatiky na technické univerzitě, které jsem při tvorbě našich nových studijních plánů a koncipování architektury Fakulty informačních technologií, měl možnost pochopit, a jejich vazeb na výzkum v jeho různých podobách. Podle mých zkušeností jsou tyto teze podobně chápány a materializovány na řadě evropských inženýrských fakult a kateder, ale na druhou stranu, jednotný názor na tyto otázky neexistuje a hodně záleží, o kterém místě pro informatiku uvnitř trojúhelníka přírodní vědy, technické vědy a humanitní (společenské) vědy budeme hovořit. Univerzita s ekonomicko-manažerským zaměřením se na informatiku dívá pochopitelně jinak než technologická univerzita vychovávající převážně vývojáře a konstruktéry.

Ve své stati si povšimnu vztahu mezi obsahem a formou studijních plánů a požadavky výchovy k vědecké práci a inovacím v moderní technologicky vyspělé zemi, kam ČR podle mého názoru stále ještě patří.

Terciární technické vzdělání ve 3 cyklech má dle mého názoru naplňovat následující teze:

- (3leté) bakalářské studium by mělo
 - vštípit teoretické základy,
 - naučit pracovat v týmu,
 - umožnit zvládnout angličtinu a prezentační, komunikační a ostatní osobní měkké dovednosti,
 - zabudovat dobrou znalost "**řemesla**", čili praktické dovednosti v používání moderních ICT.
- (2leté) magisterské studium by mělo navazovat a
 - doplnit zkušenost s vedením menšího týmu,
 - umožnit zkušenost s manažerskými postupy,
 - doplnit náročnější kapitoly teoretické informatiky a poskytnout přehled o souvislostech jednotlivých částí informatiky a matematiky,
 - umožnit zkušenost s vytvořením vlastního **tvůrčího** inženýrského díla nebo jeho samostatné části,
 - umožnit získat zkušenost s prezentací výsledků své práce na alespoň národní úrovni,
 - získat alespoň jednosemestrální zkušenost studia na zahraniční fakultě s podobným programem.
- (4leté) doktorské studium by mělo navazovat a
 - umožnit hluboký vhled do vybrané užší oblasti na úrovni posledních výsledků veřejného výzkumu a přispět novými poznatky k jejímu pochopení či využít její výsledky v nových oblastech použití,
 - naučit studenty formulovat vědecké problémy a naučit je metodám systematické vědecké práce v mezinárodním kontextu,
 - umožnit získat zkušenost v mezinárodních týmech řešícím výzkumné projekty se zahraničními řešitelskými týmy.

Mezi takovýmto pojetím výukového a vzdělávacího procesu a různými formami

výzkumu je celkem přirozená vazba. Vezmeme-li to v stejném pořadí, pak

- bakalářskému studiu odpovídá průmyslový vývoj a aplikace,
- magisterskému studiu odpovídá aplikovaný výzkum a technologické inovace,
- doktorskému studiu odpovídá základní výzkum.

Pochopitelně, zelený je strom života a realita je vždy složitější, ale jako první přiblížení se domnívám je tento pohled použitelný.

Tato korespondence by se měla odrážet v jednotlivých prvcích výstavby moderních studijních programů v informatice, tedy ve způsobech,

- jak se stanovuje poměr mezi seminární a přednáškovou formou výuky a projektovou formou výuky,
- jak se studijní plány člení do specializací a oborů,
- jak nastavit správný poměr teoretického a technologického obsahu výuky,
- jak se při formulování cílů studia přihlíží k potřebám praxe a průmyslu,
- jak se do výuky zahrnují osvědčené a prověřené koncepty v porovnání s moderními ale možná prchavými koncepty.

Míra konzervatismu obsahu studijních plánů ve školství a tradičních vzdělávacích systémech klesá směrem k vyšším úrovním. V základním bakalářském studiu se typicky vyučuje podle osvědčených učebnic a na různých univerzitách v různých zemích se používají více méně podobné učebnice. V magisterském studiu se ve většině oblasti dají nalézt dobré učebnice, ale diverzita je řádově větší, takže různé univerzity představují různé "školy", profesori mají tendenci psát své vlastní texty, skripta, či učebnice, a dva obory se stejným názvem na dvou různých univerzitách mohou mít i velmi odlišný obsah. V doktorském studiu se už pracuje s články z konferencí a časopisů či výzkumnými monografiemi a každé školící pracoviště má svá unikátní specifika daná osobnostmi, které na něm působí.

Moderní metodou návrhu studijních plánů je postup směrem od koncových požadavků na požadovaný znalostně-vědomostní profil absolventa a explicitní výčet požadovaných kompetencí, které absolvent má na konci ovládat. To konvenuje s rostoucí evropskou potřebou standardizovat a systematicky vymezit profily, u kterých se předpokládá vysokoškolské vzdělání.

Motivací jsou jednak obecné trendy budování sjednocené Evropy se snadnou celoevropskou mobilitou i vysoce kvalifikovaných profesí, jednak stále složitější technologické znalosti, které musí absolvent technické vysoké školy zvládat pro to, aby obstál v praxi, potřeba v podstatě kontinuální rekvalifikace.

Je dobré si uvědomit, že právě ICT průmysl je v otázkách globalizace a mobility pracovní síly velmi progresivní. Např. v dobách největšího nedostatku vysoce kvalifikovaných inženýrských odborníků v ČR byl hlavní metodou stabilizace tohoto stavu právě příchod zahraničních odborníků do českých firem či českých poboček nadnárodních firem.

Úskalí provázání výuky a aplikovaného výzkumu v podmínkách ČR

Přestože je inženýrský sektor v ČR svým obratem i počtem pracovníků na stejné úrovni jako automobilový průmysl, ČR nemá dost firem typu finská Nokia

či švédský Ericsson, které skutečně ve svém nejvlastnějším zájmu podporují nejmodernější formy výuky ve své zemi a jsou zdrojem vynikajících témat pro výzkumné a vývojové projekty univerzit. Na druhou stranu, v ČR vzniklo v posledních 20 letech řada menších inovativních firem (původně českých, dnes už možná vlastněných zahraniční firmou), které vyvíjejí vlastní řešení a jsou v menším měřítku příznivě nakloněni spolupráci s technickými univerzitami.

V následujících 3 odstavcích nastíním vazbu mezi formou a obsahem jednotlivých cyklů terciárního vzdělávání a výzkumem. Jsou to témata kontextově citlivá. Na různých univerzitách či různých státech mohou mít různé interpretace. Ale i v rámci jedné univerzity mohou existovat různá oborová kritéria. Omezím se samozřejmě opět na téma technologicky a teoreticky zaměřené informatiky.

Bakalářské studium a průmyslové aplikace

Absolvent bakalářského studia v informatice na technické univerzitě by měl rozumět základním principům fungování ICT systémů na všech úrovních a to nejen na úrovni systémové a architektonické, ale i na úrovni teoretických principů. Architektura ICT systémů se stále nejsnázeji dá popsat jako hierarchie od elektronických a optických prvků přes procesory a další jednotky počítačů, operační systémy, počítačové sítě a distribuované systémy, databázové a informační systémy, počítačovou bezpečnost, až po mnohačetné aplikační vrstvy. Souběžně s těmito znalostmi si student musí osvojit dovednosti, jako je programování a algoritmizace, analyzování složitosti, návrh a testování systémů a programů. A toto vše je třeba propojit teoretickými základy a diskrétní matematikou, jako je teorie složitosti a vyčíslitelnosti, teorie grafů, kombinatorika, logika, algebra, pravděpodobnost a statistika, teorie automatů a formálních jazyků.

Vzhledem k složitostem dnešních ICT a 3letému časovému vymezení nelze v žádném z těchto okruhů jít do hloubky, ale bakalant by měl mít rozumný vhled do každé z těchto oblastí. Jazyková průprava z angličtiny, základní měkké dovednosti a úvod do ekonomické problematiky pak doplní netechnické prvky profilu absolventa. Během 3 let pak zbývá kreditový prostor pro několik prohlubujících předmětů, které se dají se poměrně čitelně sestavit do oborů, jejichž podoba je více méně sjednocena díky dlouholetým iniciativám IEEE Computer Society a ACM. Kreditní kapacita na volitelné předměty je pak s výhodou využitelná na začlenění předmětů, ve kterých se student může naučit konkrétní aktuální technologie, ICT nástroje či systémy.

V rámci těchto oborových a volitelných odborných předmětů už student může pracovat na projektech, ve kterých si vyzkouší využití postupů a technologií, které se během studia učil, pro konkrétní aplikaci. Vytvoření SW nebo HW modulu, který u existujícího systému rozšíří jeho funkcionalitu, nebo ověření funkčnosti algoritmu či protokolu jeho implementací na zadané platformě jsou typická zadání pro bakalářské práce. Na této úrovni lze ideální inspiraci nalézt v tématech, která nabízejí firmy, které potřebují takové menší projekty řešit, což jim dává možnosti studenta poznat a zjistit, zda je vhodný jako budoucí zaměstnanec.

Situace v oblasti ICT se za posledních několik let posunula tak, že v řadě

případů studenti informatiky již v rámci bakalářské práce řeší úlohu pokročile výzkumného charakteru, plně srovnatelné s diplomovými pracemi před pár lety. Rozvoj ICT způsobuje, že řada témat se přesouvá do projektů na střední technické školy. Bakalářské studium bude stále více mířit do oblasti systémů, systémových řešení, integrace technologií. V mnoha případech se jedná o vývojové práce na řešení většího díla, kdy bakalant je součástí týmu, ať už profesionálního ve firmě nebo akademického na univerzitě. Tyto trendy se budou v nadcházejících letech výrazně promítat do studijních plánů na univerzitách.

Magisterské studium a aplikovaný výzkum

Evropský trend s 2 letým magistrem (ve světě existují i jiné formáty studia, např. 4+1) směřuje jednoznačně k výzkumnému zaměření magisterského studia. Méně hodin u tabule, více samostatné domácí práce na několika izolovaných projektech nebo na jednom průchozím projektu, Ze 4 semestrů magisterského studia je třeba poslední počítat téměř celý pro magisterskou diplomovou práci (vyjma doplňkových humanitních či manažerských předmětů, případně volitelného předmětu). V souladu s výše popsány obsahovými tezemi o magisterském studiu se do 3 semestrů musí vtěsnat několik předmětů z teoretické informatiky a matematiky a několik předmětů oborových. Obory se dají předdefinovat staticky výčtem, některé z nich jako výběr z povinně-volitelné nadmnožiny. Vždy musí být pamatováno na rozumný stupeň volitelnosti a předdiplomové projektové předměty. Tyto poměrně silně omezující okrajové podmínky nedovolují větší různost formy magisterských studijních plánů.

Magisterský student má během studia vyzkoušet všechny etapy inženýrské práce, Od analýzy, rešerše, vytčení cílů a postupu prací, přes návrh, implementaci, testování, nasazení, dokumentování a případné optimalizace. Může se to týkat jak nového tvůrčího řešení tak přepracování neefektivního nebo nefunkčního řešení (refaktoring kódu). Magisterská diplomová práce má být vyvrcholením předchozích projektů, sahajících třeba až k bakalářské práci.

Podstatné je, že součástí diplomové práce má být srozumitelný a znatelný prvek vlastního přínosu, nápadu, inovativnosti. Nestačí dobré zvládnutí řemesla, ale je požadovaná invence. Zde existuje řada variant, uvedu některé z nich.

- Typická návrhově-implemenční
- Diplomant má vyřešit problém, jehož řešení je teoreticky známé, ale není vyzkoušené a ověřené. To je základní podoba aplikovaného výzkumu. Jsou známy desítky a stovky publikací, jejichž teoretické vývody nebyly později implementačně ověřeny. Není jasné, za jakých podmínek a v jakých prostředích se dají nebo nedají použít. Existují algoritmy s malou asymptotickou složitostí, ale díky vysokým skrytým konstantám jsou v praxi nepoužitelné. Patří sem i výzkum podmínek, za kterých lze efektivně či vůbec dané teoretické řešení použít.
- Diplomant má řešit problém, který má variantní možnosti řešení a má vybrat nejlepší z nich. Nebo k známým variantám má navrhnout a ověřit řešení na jiném principu a ukázat zda či kdy je nové řešení lepší.
- Diplomant má integrovat do jednoho celku komponenty, samostatně navržené a nekompatibilní. Systémová integrace je i v praxi častý

- problém, který informatici musejí řešit.
- Nejcennější pro rozvoj tvůrčích schopností jsou výzkumné diplomové práce. Např. to může být návrh nové metody či algoritmu, důkaz nových vlastností ICT systému, návrh nové architektury či výpočetního modelu, vytvoření formálního modelu, který dává nový vhled do chování či vlastností ICT systému, apod.

V každém případě, témata pro tento typ aplikovaného výzkumu na úrovni magisterského studia ve všech těchto subkategoriích mohou přicházet z firem, které chtějí zavádět nové metody, inovovat postupy či vyvíjet nová řešení. Ale mohou být, a to je pro akademické pracoviště ideální symbióza, inspirována požadavky řešení dizertačních témat. Tato ideální symbióza tedy v praxi umožňuje, že doktorand pod vedením akademického školitele provádí základní teoretický výzkum a tým magisterských studentů umožňuje odsimulovat navržené postupy, implementačně ověřovat použitelnost výsledků, praktickou složitost, spolehlivost.

Doktorské studium a základní výzkum

Doktorské studium není spojitý přechod z magisterského, alespoň ne dle našich zákonů. Doktorand dostává stipendium, studium je z definice individuální a cílem není se něco naučit, ale naučit se metodám vědecké práce a něco nového vymyslet nebo objevit (angl. Research). Vytvořit novou nebo zobecnit známou teorii, dokázat či vyvrátit nějaká tvrzení ve formálních systémech, vytvořit formální a nový pohled a porozumění umožňující model, vymyslet nový algoritmus, protokol, ICT architekturu, a tak podobně. Student musí prokázat schopnost abstraktního a systémového myšlení a posunout stupeň vědeckého poznání. Výsledek není nezbytně současně vyzkoušet, implementovat, či prakticky ověřit, ale je to výhoda, pokud se i toto podaří.

Zde je ale třeba poznamenat, že stejně jako není jednoznačně definovatelná hranice mezi bakalářskou a magisterskou diplomovou prací (kde to ale příliš nevádí), není tato hranice jednoznačně určitelná a nastavitelná ani mezi magisterskou a dizertační prací. Zde ale špatné ohraničení těchto oblastí může mít nepříjemné důsledky. Jedná se dle mého názoru o velmi závažný problém, který je střídavě banalizován a zdůrazňován, ale řešení se nám časově spíše neustále vzdalují.

Je známo, že magisterské diplomové práce na některých univerzitách mají vyšší kvalitu než dizertační práce na jiných. Úroveň práce se ověřuje lokálně (posudek vedoucího a oponenta) a globálně (referát o výsledcích na konferenci, výjimečně i v časopise). Víme všichni, jak pestré a nepřehledné jsou recenzní procesy na informatických konferencích. Masivní nástup asijských konferenčních a časopiseckých aktivit neumožňuje dost dobře zajistit koherenci. Konferenční příspěvky referující o návrzích nových systémů jsou vzájemně nesrovnatelné. Je v podstatě nemožné zaručit, že se jedná o nový výsledek. Na konferenci ISCA byla před lety zaveden track o reinkarnovaných myšlenkách a nápadech v oblasti návrhu počítačových architektur.

Toto je téma, které by se mělo v rámci tohoto projektu podrobit širší diskuzi. Konsensuální názor je však málo pravděpodobný. I v rámci jedné univerzity či fakulty se stává, že to, co "projde" jako úspěšná dizertace na jednom oboru, na

jiném by nebylo obhajitelné.

O doktorském studiu a jeho úloze vzhledem k výzkumu akademických pracovišť se dá samozřejmě říci mnoho. Informatika se dostává do stavu, kdy je stále obtížnější o nějakém publikovaném výsledku prohlásit, že je nový, garantovat, že tato myšlenka byla vyslovena poprvé.

Podstatné je, aby mladí lidé byli motivováni věnovat se základnímu výzkumu i v situaci, kdy to je objektivně stále náročnější. Na hledání těchto motivačních nástrojů by se měl tento projekt zaměřovat.

Závěr

Tato studie je formulována jako podklad pro diskuzi, nečiní si vzhledem k svému rozsahu ambici na úplnost nebo nadčasovou platnost. Výzkum v informatice je oblast velmi dynamická a různě interpretovatelná. Stejně tak, metody provázání výuky a výzkumu na univerzitách jsou různé a není jediné univerzální a nejlepší řešení. Několik pevných záchytných bodů v této nepřehlednosti bychom však měli mít a na některé z nich jsem se snažil poukázat.