

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Karel Rektorys

Metody aplikované matematiky v inženýrských problémech

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 29 (1984), No. 5, 283--286

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137989>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1984

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

diskuse

Karel Rektorys, Praha

METODY APLIKOVANÉ MATEMATIKY V INŽENÝRSKÝCH PROBLÉMECH

Vážení přátelé,

dovolte, abych nejprve řekl několik slov o tom, co je to aplikovaná matematika, zaměřená na řešení inženýrských problémů. Buďte bez obav, nebudu hledat definici. Ukáži na příkladě, co mám na mysli.

Po absolvování studia jsem nastoupil do výzkumu Škodových závodů v Plzni. Práce byla velmi zajímavá. Je dobře známo, že matematik a inženýr mluví každý trochu jiným jazykem, a je třeba dobré vůle z obou stran, aby si ti dva porozuměli. Matematik se musí aspoň do té míry seznámit s příslušnou technickou problematikou, aby dovedl inženýrovi pomoci s matematickou formulací jeho problému, a inženýr musí zase natolik umět matematiku, aby dovedl matematikovi říci, co od něho vlastně chce. A tahle spolupráce mě velmi těšila.

Ale s takovým opravdu velkým výzkumným problémem jsem se setkal až na technice, když jsem nastoupil na katedru profesora Vyčichla. Tehdy se totiž připravovala výstavba orlické přehrady. Měla to být naše nejvyšší přehrada v republice. Není tedy divu, že stavbě předcházela rozsáhlý výzkum, jehož teoretickou část vedl inženýr Mejzlík. Měl k dispozici velmi dobré teoretiky, ale některé problémy byly tak obtížné, že se obrátil o pomoc na pro-

fesora Vyčichla, našeho významného matematika na technice. Profesor Vyčichlo ovšem nebyl ani fyzik, ani inženýr; a tak si zavolał na pomoc dr. Babušku, který byl stavební inženýr, a mne, neboť jsem měl alespoň nějaké mlhavé představy o fyzice. Vyřešili jsme spolu – a ještě s dalšími spolupracovníky – řadu hezkých problémů, ale nejzajímavější byl tak zvaný problém hydratačního tepla. Řeknu aspoň ve stručnosti, o co šlo.*) Přehrada se staví z betonových bloků. Protože beton obsahuje cement, probíhá v bloku během tuhnutí chemická reakce, kterou se blok zahřívá na vysokou teplotu, až kolem padesáti stupňů. Na tento blok se v poměrně krátkém čase položí další blok, studený, ale rychle se ohřívající. Tím vzniknou v okolí hranice obou bloků značné teplotní gradienty, jejichž důsledkem jsou vysoká termální napětí, která mohou být i vyšší než napětí vznikající vlastní tíhou přehrady a tlakem vody. Přitom se ukazuje, že tato napětí jsou tím větší, čím větší je výška bloků. Dosud bylo zvykem pokládat bloky o výšce kolem dvou metrů. V té době se však u nás vyvinul velmi kvalitní cement, produkující poměrně malé hydratační teplo. Vznikla přirozená otázka, zda by nebylo možno pokládat vyšší bloky, řekněme třímetrové nebo čtyřmetrové, čímž by se podstatně zrychlila výstavba. A my jsme se měli k tomu vyjádřit.

Bylo tedy třeba řešit dva problémy. Nejprve určit průběh teploty v přehradě a na základě těchto výsledků vypočítat termální napětí. Rozdělili jsme si to jednoduše: dr. Babuška si vzal jako inženýr na starost napětí, já jsem měl určit průběh teploty.

Předneseno prof. Rektorysem jako koordinátorem hlavního výzkumného úkolu I-5-10 „Metody aplikované matematiky v inženýrských problémech“ na konferenci českých matematiků v Pisku v únoru 1984.

*) Vyprávím zde o tom trochu zjednodušeně, aby vynikla hlavní myšlenka.

Neměl jsem to lehké. Dostal jsem k dispozici materiálové konstanty betonu (vodivost, měrnou hmotnost, měrné teplo, koeficient přestupu tepla na styku beton – vzduch), intenzitu hydratačního tepla (to byla klesající funkce času), teplotu podloží, teplotu ovzduší, danou zhruba na základě statistických dat, a harmonogram výstavby pro případ dvou-, tří- a čtyřmetrových bloků. A měl jsem určit průběh teploty. Tedy, kdyby se mě někdo byl zeptal, jaká teplota bude v tom a v tom místě přehrady třeba dvacátého března, měl jsem říci číslo.

Přiznám se, že jsem dlouho nevěděl, co mám počítat, jaký matematický problém mám vlastně řešit. Teprve za delší dobu se začal v mých představách krystalizovat jakýsi matematický model. Ale nebyl jsem s ním příliš spokojen, protože jsem stále nějak intuitivně předpokládal, že výška přehrady poroste spojitě s časem, a přitom jsem si byl dobře vědom toho, že tím ztrácím to nejpodstatnější, tj. ty vysoké teplotní gradienty v okolí styčných ploch jednotlivých bloků. Nakonec jsem se rozhodl pro tuto abstrakci: Přepraha se bude stavět po vrstvách odpovídajících výšce bloků, přičemž jednotlivé vrstvy naskočí vždy okamžitě, takže výška přehrady se bude měnit nespojitě s časem. Tento předpoklad se později ukázal jako velmi výstižný*), velmi mi však zkomplikoval život po matematické stránce. Můj model byl už tak dost složitý. Šlo o soustavu parciálních diferenciálních rovnic s nespojitými okrajovými podmínkami, a to různých typů na různé části hranice, a nyní ještě na oboru, který se měnil nespojitě s časem. O takových problémech

*) Při výstavbě byly do přehradního tělesa zamontovány teploměry, které ukázaly velmi dobrou shodu s provedeným výpočtem.

se v tehdejší matematické literatuře nevědělo vůbec nic. Navíc inženýr Mejzlík nebyl zpočátku zmíněným předpokladem příliš nadšen. Ale pak řekl: „Asi máte pravdu, zkuste to.“ Já jsem měl již zatím připravenou numerickou metodu pro přibližný výpočet – v podstatě metodu sítí – a tak jsme začali s počítáním. K dispozici jsem měl dvě technické síly z Matematického ústavu a dva studenty, které jsem si našel. Ale již za několik dní se ukázalo, že má metoda dává zcela nesmyslné výsledky. Byl jsem tehdy mladý a nezkušený. Ovšem hlavní příčinou bylo, že v té době se ještě skoro nic nevědělo o stabilitě numerických procesů. A i kdyby se bylo vědělo, nebylo by mi to mnoho platné, neboť se to nedalo aplikovat na problém plný singularit, jako byl náš. To ovšem byla pohroma. Můj plán byl takový, že napřed provedu výpočet (neboť jsme byli tísněni termínem) a pak teprve jej doplním důkazem konvergence. Jenže se ukázalo, že to tak nejde, že je o té metodě třeba něco vědět předem. A tak jsem čtrnáct dní nespal a vymýšlel důkaz konvergence. Nebyl snadný – když jsem to později sepsal, měl důkaz hlavní konvergenční věty třicet stránek. Ale ukázal přesně, co metoda potřebuje. A pak již to bylo snadné. Vypočítal jsem průběh teploty pro všechny tři zmíněné alternativy a dr. Babuška odtud určil příslušná napětí. A vynesl rozsudek: Třímetrové bloky si ještě můžeme dovolit, čtyřmetrové nikoli. „Staví se Vířská přepraha,“ řekl, „postavte tam pokusné čtyřmetrové bloky, praskne to v tomto místě a v tomto směru.“ Skutečně, postavily se pokusné bloky, a prasklo to v tomto místě a v tomto směru. Ne na milimetr, ale s obdivuhodnou přesností. Musím říci, že tohle bylo jedno z největších překvapení mého života. A možná, že Babušková života také.

Mluvil jsem o tomto problému proto, že je na něm velmi dobře vidět typické rysy aplikované matematiky. Tento problém byl pro mne poučný po celý život. Ale byl i bezprostředně užitečný. Napsal jsem na toto téma kandidátskou práci a úspěšně jsem ji obhájil. Představte si, že při obhajobě se mě nikdo nezeptal na matematickou formulaci problému, tedy jak jsem z toho inženýrského zadání „vykouzlil“ ten matematický model. A to mě nesmírně mrzelo, neboť na to jsem byl z celé práce nejvíc pyšný. A to je také jeden z důvodů, proč se velmi snažím o to, aby byla zřízena komise pro obhajoby kandidátských prací z aplikované matematiky, která by byla sestavena z renomovaných matematiků, ale takových, kteří již ve svém životě něco zažili s formulováním technických problémů a kteří tohle dovedou ocenit. Protože jinak ten, kdo obhajuje práci tohoto rážení před matematickou komisí, jejíž členové nemají v tomto směru zkušenosti, obhajuje vlastně jen polovinu své práce. A tím naše matematika ztrácí. My si totiž dobře neuvědomujeme, jakou máme konkurenci. Působím dlouhá léta na technice a vím, že když některý inženýr vyřeší svůj problém matematickými metodami, vzhlíží k němu jeho kolegové s velkou úctou. A když nyní mladý matematik na technice napíše nějakou takovou práci, o jaké jsem tady mluvil (a matematikové na technice by měli psát práce z aplikované matematiky), tak i když v této práci je dobrá matematika — a jen takové práce mám na mysli — řekne si: „Proč bych si komplikoval život a obhajoval ji před některou matematickou komisí*), kde inženýrská

část mé práce nebude nikoho zajímat, když ji mohu obhájit před příslušnou inženýrskou komisí, a ještě budu slavný.“ A rozhodne se pro tuto druhou alternativu, i za cenu toho, že musí složit aspirantské minimum z příslušného inženýrského oboru (což nebývá těžké, neboť je s touto problematikou již dobře obeznámen). A tím přicházíme o pracovníky, kteří by dělali naši matematice velmi dobrou reklamu jak po stránce matematické, tak i aplikací.

A nyní k hlavnímu výzkumnému úkolu I-5-10 — Metody aplikované matematiky v inženýrských problémech. Před pěti lety si zavolali akademikové B. Kvasil a J. Němec, tehdy ještě jako nejvyšší funkcionáři ČVUT, prof. Poláška, známého svým vztahem k aplikované matematice, doc. Šulistu, tehdejšího předsedu poradního sboru pro matematiku, a mne a sdělili nám, že náš průmysl velmi potřebuje pomoc matematiků při řešení obtížných teoretických problémů; že vědí, že řada matematiků s naším průmyslem spolupracuje, ale že takové spolupráce je zatím málo, že je roztržštěná a že by bylo třeba vytvořit velký výzkumný úkol z aplikované matematiky, zaměřený na pomoc velkým průmyslovým podnikům, jehož řešiteli by byli v první řadě (i když ne výhradně) matematikové z ČVUT. A já jsem dostal za domácí cvičení takový úkol zorganizovat, s perspektivou, že jej budu koordinovat.

Musím říci, že jsem z toho neměl příliš velkou radost. Byl jsem si dobře vědom toho, co času zaberou při řízení takového úkolu organizační a administrativní záležitosti, i toho, že tento úkol je teprve třeba vytvořit a dát mu koncepci. Největší obavy jsem však měl z toho, že budu mezi dvěma mlýnskými kameny, neboť matematikové a inženýři mají často diametrál-

*) Často ani nebývá jasné před kterou, protože při řešení složitějšího technického problému potřebujeme většinou aplikovat, resp. vyvinout aparát z několika matematických oborů.

ně různé požadavky. Bylo tedy třeba zaměřit úkol tak, aby byl užitečný po inženýrské stránce, a přitom aby to byla matematika, nejen servis.

Ale během poměrně krátké doby se skutečně podařilo dát dohromady velmi dobrý kolektiv, zejména díky nynějším odpovědným řešitelům dílčích úkolů. Rád bych vás seznámil s jejich jmény. Z ČVUT jsou to – mimo mne – prof. Polášek, doc. Horák, prof. Matušů, doc. Nagy, doc. Gregor, dr. Wiesner a doc. Jankovský; z Prahy ještě doc. Nečas z MFF UK a doc. Kubiček z VŠCHT; z Brna prof. Zlámal a doc. Ženišek, z Bratislavy doc. Kodnár a z Plzně doc. Klátil.

Přes veškeré původní obavy se práce na úkolu rozběhla velmi dobře. V současné době máme smluvní spolupráci se čtrnácti našimi největšími průmyslovými podniky, resp. výzkumnými ústavy, tj. Škoda Plzeň, ČKD Praha, SVÚSS Běchovice, Tesla Strašnice, jaderný výzkum v Řeži, Vodní dílo Králová, VÚES Brno, Plynoprojekt Praha, některé chemické závody atd., atd. Odběratelé si velmi váží spolupráce s matematiky. Jako koordinátor jsem již dostal řadu děkovních dopisů, v nichž vysoce oceňují pomoc matematiků a přejí si její rozšíření. Po této stránce dosažené výsledky zřejmě daleko překonaly původní představy.

I když v tomto směru můžeme být

spokojeni, bylo by krátkozraké, kdybychom nemysleli na budoucnost a netvořili a nerozvíjeli obecnější metody, aplikovatelné nejen k řešení jednotlivých speciálních problémů, i když sebevýznamnějších. I tady se můžeme pochlubit řadou špičkových výsledků.

Vidíte, přátelé, že jsem vám svůj hlavní výzkumný úkol vylíčil v dostatečně různých barvách. Je ovšem třeba říci, že tohle všechno není moje zásluha. Má zásluha spočívá jen v tom, že jsem měl to štěstí, že se mi podařilo dát dohromady tak výborný kolektiv. Získané výsledky, to je předně zásluha odpovědných řešitelů jednotlivých dílčích úkolů, což jsou pracovníci, kteří jsou zaníceni do své práce a kteří velmi dobře vědí, k čemu jsou jejich výsledky dobré. A já bych jim rád z tohoto místa upřímně poděkoval.

A pokud jde o budoucnost? Aplikovaná matematika, to je teď světový trend. Na Východě i na Západě. Jistě víte o živé diskusi o aplikované matematice v sovětských časopisech. Mnozí z vás vědí, že západoněmečtí průmyslníci postavili a financují Matematický ústav v Oberwolfachu. Aplikovaná matematika je ve všeobecné vážnosti. A my budeme pokračovat dále ve své činnosti, a to tak, jak jsem vám ji vylíčil, neboť práce se nám daří a nemáme důvod, proč bychom měnili koncepci.

Veda nám pomáha predovšetkým tým, že do istej miery uľahčuje znášať náš úžas, ktorý je nám daný prírodou; potom však i tým, že v neprestajne sa stupňujúcom živote prebúdzá nové zručnosti na odvrátenie škodlivého a prípravu užitočného.

Musíme mať zvláštnu duchovnú šikovnosť, aby sme beztvarú skutočnosť uchopili v jej najvladnejšom druhu a rozlíšili ju od preludov, ktoré sa nám tiež vnucujú živo a s istou realnosťou.

J. W. Goethe