

# Software pro výuku kvantitativních metod<sup>1</sup>

*Josef Jablonský, Václava Pánková*

VŠE Praha, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3  
jablon@vse.cz, <http://nb.vse.cz/~jablon/>, pankova@vse.cz

## 1 Úvod

Katedra ekonometrie Fakulty informatiky a statistiky VŠE zajišťuje na VŠE výuku kvantitativně zaměřených předmětů jako je Operační výzkum a Ekonometrie. Výuka většiny předmětů je přitom koncipována tak, že jsou cvičení realizována v počítačových učebnách, kde se pracuje s programovými produkty, které jsou k dispozici. O těchto produktech se dále informativně zmíníme.

Používaný software je možné rozdělit podle jeho zaměření do několika kategorií: optimalizační software, software pro diskrétní simulaci a ekonometrický software. Do další skupiny lze zařadit specializovaný software využívaný v dalších předmětech jako je řízení projektů, vícekritériální rozhodování, stochastické modely atd. Při volbě konkrétních produktů jsme dnes bohužel limitováni tím, že na většině počítačových učeben se pracuje pod operačním systémem Windows 3.11. Nelze tak často používat novější verze programových produktů, které jsou k dispozici pouze v 32bitové verzi pro Windows 95/98/NT.

## 2 Software pro optimalizaci

Optimalizační produkty patří na katedře ekonometrie mezi nejčastěji používané programové produkty vůbec. Pracuje se s nimi především v předmětech jako je Operační výzkum, Optimalizační metody, Kvantitativní ekonomie, Programy pro matematické modelování, Počítačové systémy pro obchod, Nelineární programování a Diskrétní modely. Při výuce se pracuje především s následujícími systémy:

- STORM 3.0,
- optimalizační modul v tabulkovém kalkulátoru MS Excel,
- LINDO 6.01 a LINGO 3.0,
- profesionální optimalizační systém XA.

**STORM** je modulový systém, jehož jednotlivé části umožňují řešit úlohy lineárního programování, řízení projektů, teorie zásob, teorie hromadné obsluhy, provádět investiční analýzy atd. Nejedná se tedy pouze o prostředek pro optimalizaci,

---

<sup>1</sup> Práce je podporována Grantovou agenturou ČR - grant č.402/98/1488 "Systémy na podporu ekonomického modelování" a je v souladu s výzkumným záměrem Fakulty informatiky a statistiky VŠE č. CEZ:J18/98:311401001.

ale zahrnuje i další významné oblasti operačního výzkumu. Při výuce na katedře ekonometrie se však používají téměř výhradně optimalizační moduly STORMu, které umožňují řešit standardní úlohy lineárního a celočíselného programování, dopravní problém a přiřazovací problém. Lze přitom zpracovávat pouze úlohy velmi limitovaného rozsahu - u standardních úloh LP je maximum 100 proměnných a 50 omezujících podmínek. STORM je produkt pracující ještě pod systémem MS DOS - není tedy již nejnovější (verze 3.0 je z roku 1991). Je to však systém zaměřený na výuku a jeho předností je především jednoduchost ovládání a přehlednost prezentace získaných výsledků. Veškerá práce je organizována pomocí systému nabídek, ze kterých si uživatel vybírá příslušnou položku. Systém STORM je při výuce využíván hlavně v předmětech, které vypisuje katedra pro studenty ostatních fakult VŠE.

Optimalizační moduly v systémech **MS Excel verze 5.0** (pro Windows 3.1) a verze 7.0 (pro Windows 95) jsou v podstatě totožné. Jsou určeny pro řešení standardních úloh matematického programování. Je tedy možné řešit jak lineární tak i nelineární optimalizační úlohy. Standardní formulaci úlohy matematického programování rozšiřuje *MS Excel* o některé další možnosti. Nejvýraznější z nich je možnost řešení úloh s podmínkami celočíselnosti - některé nebo všechny proměnné modelu mohou být definovány jako celočíselné proměnné. Možnosti řešení úloh větších rozměrů jsou v MS Excelu 5.0 (7.0) výrazně omezené. Horní mez pro počet proměnných matematického modelu je 200, limit pro počet omezujících podmínek je 600. Z tohoto počtu je však 400 rezervováno pro dolní a horní meze proměnných. Ostatních omezujících podmínek (včetně podmínek celočíselnosti) může být tedy maximálně 200. Nevýhodou optimalizačního modulu v MS Excelu je poměrně komplikovaná příprava a zadávání vstupních údajů. Práce s tímto modulem vyžaduje dobré základní znalosti práce s MS Excelem, což se u některých studentů ukazuje být problémem. Výhodou je naopak skutečnost, že MS Excel mají studenti často k dispozici na svých počítačích a mohou tak zpracovávat vlastní projekty bez nároků na jiný specializovaný produkt. MS Excel se využívá při naší výuce spíše doplňkově v předmětech Optimalizační modely a Programy pro matematické modelování.

**LINDO 6.01** a **LINGO 3.0** jsou produkty firmy LINDO Inc., které jsou v uvedených verzích určeny pro Windows 3.1. Aktuálně jsou na trhu vyšší verze pro Windows 95/98/NT. Oba produkty existují v několika verzích, které se odlišují pouze omezením na počet proměnných, omezujících podmínek a počet celočíselných proměnných. "Největší" verze může dnes pracovat s neomezeným počtem spojitých proměnných a limit pro počet omezujících podmínek je 32000. Jedná se tedy v obou případech o profesionální optimalizační systémy. Pro studenty je na VŠE naopak k dispozici "nejmenší" verze, kde je limit 100 proměnných a 50 omezujících podmínek. I tato verze má však všechny ostatní vlastnosti profesionálních verzí. LINDO je jedním z nejpoužívanějších profesionálních optimalizačních systémů vůbec. Je určen především pro řešení úloh lineárního programování (případně s podmínkami celočíselnosti). Předností je jednoduchost zadávání vstupních údajů – u běžných "školních" úloh lze použít rovnicový způsob, u rozsáhlejších modelů je třeba připravit vstupy ve standardním formátu MPS. Výhodou je dále přehlednost výstupu výsledků, které se zobrazují vždy v samostatném okně.

LINGO představuje nástroj především pro řešení lineárních i nelineárních optimalizačních úloh a pro řešení soustavy lineárních i nelineárních simultánních rovnic. U proměnných daného modelu umožňuje navíc uvažovat i podmínky

celočíselnosti (obecně celočíselné i nula - jedničkové proměnné). Pro řešení různých skupin úloh využívá LINGO tři zabudované solvery, které se podle charakteru úlohy volí automaticky. Jedná se o solver pro řešení:

- lineárních optimalizačních úloh případně soustavy lineárních rovnic,
- nelineárních optimalizačních úloh a soustavy nelineárních rovnic,
- úloh s podmínkami celočíselnosti (používá metodu větvení a mezí).

Jednou z hlavních charakteristik systému LINGO je skutečnost, že obsahuje speciální jazyk pro matematické modelování. Ten je také hlavní odlišností tohoto systému od většiny jiných optimalizačních produktů jako jsou například LINDO, XA, What's Best apod. V těchto systémech musí uživatel připravit vstupní data navrženého modelu v požadovaném formátu. Poté lze spustit vlastní optimalizační výpočet. I systém LINGO lze používat podobným způsobem - tím by se však uživatel připravil o hlavní výhodu, kterou je používání zmíněného modelovacího jazyka. LINGO umožňuje uživateli zapsat navržený model pomocí tohoto speciálního jazyka - tento zápis není nepodobný běžnému matematickému zápisu daného modelu. Uživatel tak dostává naprosto obecnou podobu matematického modelu. Tento obecný model stačí potom "spojit" s připraveným datovým souborem. Může se přitom jednat o běžný textový soubor bez zvláštních požadavků na jeho formát nebo o soubor připravený ve spreadsheetu nebo v databázi. Konkrétní model pro zpracování tak vzniká spojením obecné části (matematický model) s datovým souborem. Obecnou část lze přitom samozřejmě používat opakovaně pro různé úlohy daného typu (stačí mít k dispozici příslušné datové soubory).

Systémy LINDO a LINGO jsou produkty stejné firmy a z hlediska uživatelského mají velmi podobné ovládání. Jejich nezanedbatelnou předností je cena – rozsáhlou publikaci [4] včetně CD Solver Suite, který obsahuje systémy LINDO, LINGO a What's Best (300 proměnných a 150 omezujících podmínek) lze získat za cca 25 USD. Dalším sympatickým rysem uvedených systémů je fakt, že si zájemci mohou stáhnout jejich studentské verze z www serveru firmy Lindo Inc. – adresa [www.lindo.com](http://www.lindo.com). Systémy LINDO a LINGO se ve výuce na katedře ekonometrie VŠE prosazují stále více a práce s nimi je studenty hodnocena velmi pozitivně.

Dalším optimalizačním systémem, který je studentům na VŠE k dispozici je profesionální optimalizační systém **XA**. Není primárně určen pro výuku, protože se jedná o systém, který je svým výkonem určen pro řešení rozsáhlejších praktických úloh. Tomu odpovídá i způsob práce s tímto systémem. XA pracuje pouze v prostředí MS DOS. Vstupní data je třeba připravit předepsaným způsobem (rovnicevý způsob nebo MPS formát je nejběžnější) a uložit je do externího souboru. Optimalizace se potom spouští dávkovým způsobem s možností specifikace velkého množství parametrů. Výsledky se rovněž ukládají do textového souboru – lze si je potom prohlížet běžnými textovými editory. Z uvedeného plyne, že je systém XA pro běžnou výuku méně vhodný. Naše katedra jej používá ve specializovaném předmětu Programy pro matematické modelování, který je určen především pro studenty oboru Statistika a ekonometrie.

Okrajově se při výuce optimalizačních metod využívají systémy QSB a MOR/LP. V obou případech se jedná o velmi jednoduché až primitivní produkty, které mají pouze ilustrační charakter.

### 3 Software pro výuku ekonometrie

Cvičení k předmětu ekonometrie probíhají formou praktických provádění žádaných postupů. Zpravidla obsahují fáze:

- ekonomická rozvaha vedoucí k formulaci hypotézy o vztazích příčinné závislosti mezi ekonomickými veličinami,
- předběžná analýza datových údajů,
- formulace ekonometrického modelu,
- ekonometrické odhady parametrů modelu,
- statistická verifikace kvality odhadu,
- ekonomická verifikace odhadu,
- testování prognostické kvality vybraného modelu.

Při výuce je používán softwarový produkt SORITEC firmy Soritec Group, Inc. V tomto systému lze provádět mimo jiné následující operace s daty:

- analýza rozptylů,
- statistická synopse,
- sezónní úprava,
- vytváření sezónních nula - jedničkových proměnných,
- výpočty klouzavých průměrů,
- výpočet standardních odchylek,
- filtrace časových řad,
- výpočet vážených průměrů,
- normalizace hodnot vzhledem ke zvolené proměnné,
- statistické srovnání dvou časových řad,
- výpočet kovariancí a kovariančních matic.

V SORITECu jsou k dispozici následující metody pro odhady parametrů:

- metoda nejmenších čtverců, event. i s omezeními na parametry,
- zobecněná metoda nejmenších čtverců,
- hřebenová regrese,
- Cochrane-Orcuttova metoda při autokorelaci prvního, resp. druhého řádu,
- Hildreth - Luova metoda při autokorelaci prvního, resp. druhého řádu,
- Almonové polynomy i s Cochrane-Orcuttovou nebo Hildreth-Luovou korekcí,
- dvoustupňová metoda nejmenších čtverců s Cochrane-Orcuttovými nebo Hildreth - Luovými iteracemi,
- třístupňová metoda nejmenších čtverců,
- metoda maximální věrohodnosti AR(1) s Cochrane-Orcuttovými nebo Hildreth - Luovými iteracemi,
- metoda maximální věrohodnosti s úplnou informací,
- zdánlivě nezávislé regrese.

Demonstrační verzi SORITECu je možné bezplatně šířit. Proto si studenti mohou relevantní vybavení (včetně informačního manuálu) přenést na domácí počítače a pracovat i mimo výukové hodiny. Učitelé specializující se na výuku ekonometrie mají k dispozici i licencované plné verze SORITECu, na kterých provádějí svoji výzkumnou práci. Přenos aktuálních výsledků do výuky je tak mnohem snazší, protože úprava pro demonstrační verzi nepředstavuje významné překážky. Je tedy tak umožněno

bezproblémové propojení mezi odbornou prací učitele, výukou a případnou odbornou (seminární, diplomovou) prací studentů. Uvedené aspekty představují významné výhody pro práci se systémem SORITEC.

#### 4 Systémy pro diskrétní simulaci

Kurzy diskrétní simulace absolvuje každý semestr na katedře ekonometrie VŠE více než 100 studentů. Cvičení z tohoto předmětu probíhají z pochopitelných důvodů pouze v počítačových učebnách. Na VŠE nejsou bohužel k dispozici síťové verze profesionálních simulačních systémů. Proto pracujeme se simulačními produkty, které byly navrženy pro výuku a mají ztěží profesionální využití. V současné době využíváme především systémy MOR/DS a EZSIM. Doplnkově se využívá rovněž práce s tabulkovým kalkulátorem MS Excel, na kterém se ilustrují algoritmy generování náhodných čísel a náhodných veličin a principy analýzy rizika.

**MOR/DS** je jednoduchý simulační jazyk pro diskrétní simulaci, který byl speciálně vytvořen na *Texas A&M University* pro výuku simulačních metod a zvládnutí principů algoritmizace diskrétních simulačních modelů. Jedná se o systém vytvořený ještě v prostředí MS DOS. Jeho výhodou je velmi jednoduché ovládání i přehledná prezentace výsledků. Méně příjemné je to, že zpracování pokročilejších aplikací vyžaduje alespoň základní znalosti programování. Ukazuje se však, že i většina studentů bez těchto znalostí je v průběhu semestru schopna pracovat s tímto systémem velmi dobře. MOR/DS bohužel neobsahuje žádné grafické rozhraní takže nelze studentům ukázat jinak atraktivní animaci modelovaného systému.

Simulační systém **EZSIM** je typickým případem takového simulačního programového vybavení, které je ve srovnání s klasickými simulačními jazyky uživatelsky mnohem přátelštější, neboť fáze vlastního programování při tvorbě simulačního modelu je podstatně eliminována. Principy výstavby simulačního modelu zde totiž spočívají v rozmístění modelujících bloků na obrazovku, specifikaci jejich propojení a určení hodnot jistých parametrů. Na rozdíl od profesionálních systémů je EZSIM primárně vytvořen pro základní výuku simulačních metod. Jeho autorem je B. Khoshnevis z University of Southern California a popis systému je v publikaci [2], k níž je přiložena disketa se softwarem, obsahující studentskou verzi systému pro operační systém DOS. V blízké době má být dokončena verze pro prostředí Windows 95/98.

V poslední době se ukazuje jako zajímavé využití pro cvičení simulačních modelů nadstavbové aplikace MS Excelu (doplňky) jako je např. @RISK nebo Crystal Ball. Základní princip těchto systémů lze popsat tím, že umožňují definovat jakoukoliv buňku tabulkového kalkulátoru jako náhodnou veličinu (se zvoleným rozdělením a danými parametry). Užitím Monte Carlo experimentů jsou opakovaně generovány hodnoty definovaných náhodných veličin. Současně jsou vypočteny hodnoty veličin, které jsou odvozeny z daných náhodných veličin (např. zisk, tržba, náklady apod.). Tyto veličiny jsou statisticky zpracovány a prezentovány uživateli ať už v podobě tabulek, mnoha typů grafů atd. tento typ produktů by mohl být pro studenty velmi atraktivní, ale jeho využití v běžné výuce je v našich podmínkách opět limitováno tím, že na většině učeben lze pracovat pouze v prostředí Windows 3.1. Do budoucna se však tato skutečnost jistě změní a potom by nemělo nic bránit nasazení těchto produktů ve výuce.

## 5 Závěr

Výše zmíněné programové produkty představují základní škálu programových systémů, se kterými se na katedře ekonometrie VŠE pracuje. V některých specializovaných kurzech (které se však učí semestrálně pro maximálně 20 až 40 studentů) se využívají i další systémy. V předmětu Řízení projektů se využívá systém MS Project. Ve výuce vícekriteriálního rozhodování se používá pro řešení úloh vyhodnocování variant MS Excel, systémy SYMCA (vyvinut na katedře ekonometrie VŠE), PROMCALC (pro metody PROMETHEE) a Expert Choice (pro metodu AHP). Pro úlohy vícekriteriálního programování se pracuje většinou s běžnými optimalizačními produkty – s výhodou využíváme systém LINGO, kde jsou vytvořeny typové modely pro cílové programování a výpočet kompromisních variant podle některých dalších principů.

Výslovně jsme se v tomto článku nezmiňovali o všech předmětech, které zajišťuje katedra ekonometrie. Většina z nich v určité míře využívá při praktických cvičeních počítače. Pro některá z nich však nejsou k dispozici specializované programové produkty (např. Stochastické modely, Strukturní analýza). V takovém případě se používají nejčastěji nástroje MS Excelu, které jsou pro řadu výpočtů dostatečné.

## Literatura

- [1] Jablonský,J.: Systems for Mathematical Modelling: a Comparative Study. In: Proceedings of the 16th Conference MME. Cheb 1998, s. 45-53.
- [2] Koshshnevis,B.: Discrete Systems Simulation. New York, McGraw-Hill 1994.
- [3] Lauber,J., Jablonský,J.: Programy pro matematické modelování I (II). VŠE, Praha 1997 (1998).
- [4] Schrage,L.: Optimization modelling with LINGO. Lindo Systems Inc., Chicago 1999.