

# KNIHOVNA MODELŮ EKOLOGICKÝCH SYSTÉMŮ: *EkoSynthesis*

Luboš Matějček

Ústav pro životní prostředí  
Univerzita Karlova v Praze  
Přírodovědecká fakulta

## Abstrakt

Modely ekologických systémů formulované v posledních desetiletích představují velice obsáhlou a různorodou oblast studia přírodních procesů. V současné době vzniká snaha o uspořádání modelů a přehodnocení získaných výsledků v rámci různých počítačových systémů (*ECOBAS*, *ECOTOX*-Ecological Modelling and Ecotoxicology a další). I když exaktní matematická formulace umožňuje jednoznačně popsat strukturu modelu a formulovat podmínky jeho řešení, samotné řešení včetně prezentace výsledků je ovlivněno použitými simulačními systémy. Jednu z možností jak uvedené problémy překonat nabízí digitální knihovna modelů *EkoSynthesis*, která byla vytvořena s využitím nadstavby *Simulink* programu *Matlab*. Knihovna se skládá z řady podskupin jako například modelů z oblasti populační ekologie, které dále obsahují modely populací, společenstev a ekosystémů, dále potom modelů z oblasti toxikologie, kontaminace základních složek životního prostředí a dalších. Toto hierarchické členění umožňuje přehlednější orientaci ve studované problematice. Každý model obsahuje popis problému, formulaci v podobě blokových schémat a příklad řešení. Vzhledem k možnostem nadstavby *Simulink* je dále možno jednotlivé modely upravovat podle konkrétních podmínek, které byly získány sledováním reálných objektů, nebo vytvářet složité modelové komplexy s využitím knihovnických modelových subsystémů. Navržený systém má tak umožňovat nejen analytické postupy získávání poznatků o chování ekologických systémů, ale také podporovat metody ekologické syntézy.

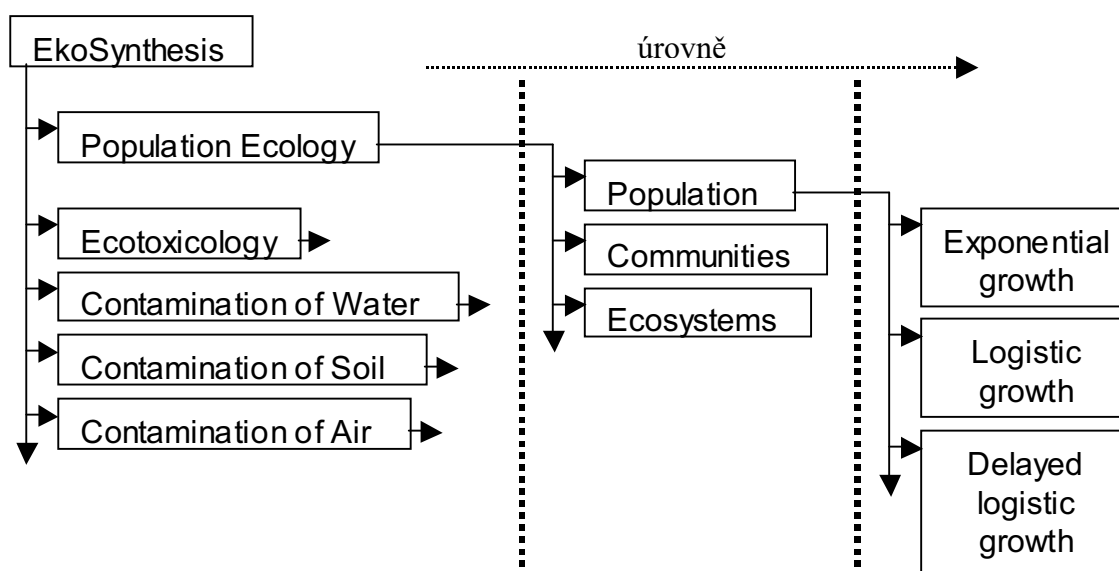
## Úvod

S rozvojem výpočetní techniky vznikají nejen stále dokonalejší postupy řešení matematických modelů, ale zároveň se také otevírají nové možnosti využití modelování v širším spektru vědeckých disciplín. Jednu z relativně nových oblastí, ve kterých efektivní řešení problému bez nutnosti použití exaktních postupů nebude možné, představují vědy o životním prostředí. Kromě studia interakcí živých a neživých složek v rámci ekologických systémů se stále více dostávají do popředí otázky spojené s kontaminací základních složek životního prostředí. V průběhu desetiletí vzniklo velké množství různých modelů, které se zabývají problematikou životního prostředí. Často je možno nalézt řešení podobných problémů různými postupy a také vzhledem k rozsahu problematiky řešení relativně odlišných jevů aplikací metodik doposud využívaných jinde. Snahu o zmapování této problematiky lze nalézt v řadě publikací a v poslední době i v elektronické podobě v rámci počítačových sítí. Kromě informačních materiálů různých firem zabývajících se distribucí programového vybavení je možné nalézt řadu publikací obsahujících odkazy na využitelné modelovací prostředky. Mezi ně lze například zařadit publikaci: *Handbook of Environmental and Ecological Modeling*, kterou zpracovali autoři *S.E.Jørgensen*, *B.H.Sørensen* a *S.N.Nielsen* (*Jørgensen et al.*, 1995). Publikace je členěna do několika kapitol podle zaměření modelů. Každý model je popsán na základě jednotně definované struktury což zvyšuje přehlednost. Do jisté míry pokračování těchto snah představuje vznik elektronické databáze *ECOTOX* (<http://www.elsevier-ecotox.com>), která obsahuje modely a údaje z oblasti ekologie a ekotoxikologie s odkazy na odborné publikace nashromážděné za téměř 25 let. Dalším příkladem je systém *ECOBAS* provozovaný na síti *Internet*. *ECOBAS* obsahuje v elektronické podobě zpracovanou dokumentaci o matematických modelech (<http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html>). Většina systémů se zaměřuje především na popis modelů. Samotné řešení problémů popsáných modely je možné až po vyžádání a stanovení licenčních podmínek

od příslušných autorů. Dalším zdrojem pro modelování představují různé agentury zabývající se na státní nebo mezistátní úrovni vypracováváním metodik pro hodnocení například kontaminace životního prostředí a dalšími otázkami spojenými se současnou civilizací. Zde je možno například jmenovat americký úřad pro životní prostředí *EPA-Environmental Protection Agency* (<http://www.epa.gov>).

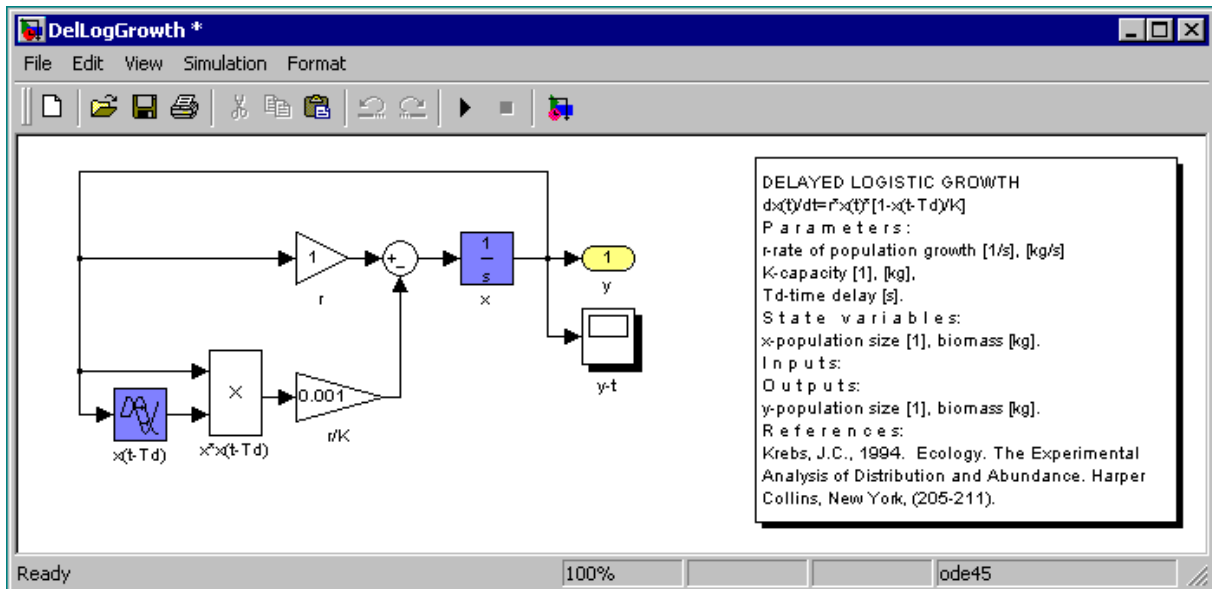
### Specifikace knihovny modelů

Zatímco většina dostupných elektronických knihoven se soustřeďuje na dokumentaci modelů, v tomto příspěvku je snaha nalézt vhodný způsob jak dokumentace tak i řešení modelů. Modely v oblasti životního prostředí popisují změny v čase a prostoru. Prostorové závislosti se často zjednodušují a převádí do podoby modelů se soustředěnými parametry. Vzhledem ke komplikovanosti řešení modelů se spojitě rozloženými parametry byla hlavní pozornost zaměřena právě na specifikaci knihovny modelů se soustředěnými parametry. Jako nástroj vhodný jak pro dokumentaci tak i řešení modelů byla vybrána nadstavba *Simulink* programu *Matlab*. Podle zaměření modelů se předpokládá rozdělení knihovny do několika hlavních skupin, které dále obsahují několik úrovní podskupin. Příkladem může být oblast populační ekologie. Zde je hlavní část označena jako populační ekologie (Population Ecology), která obsahuje dále modely popisující různé stupně integrace jedinců. Je zde knihovna týkající se populací (Populations), společenství (Communities) a ekosystémů (Ecosystems) **obr.1**.

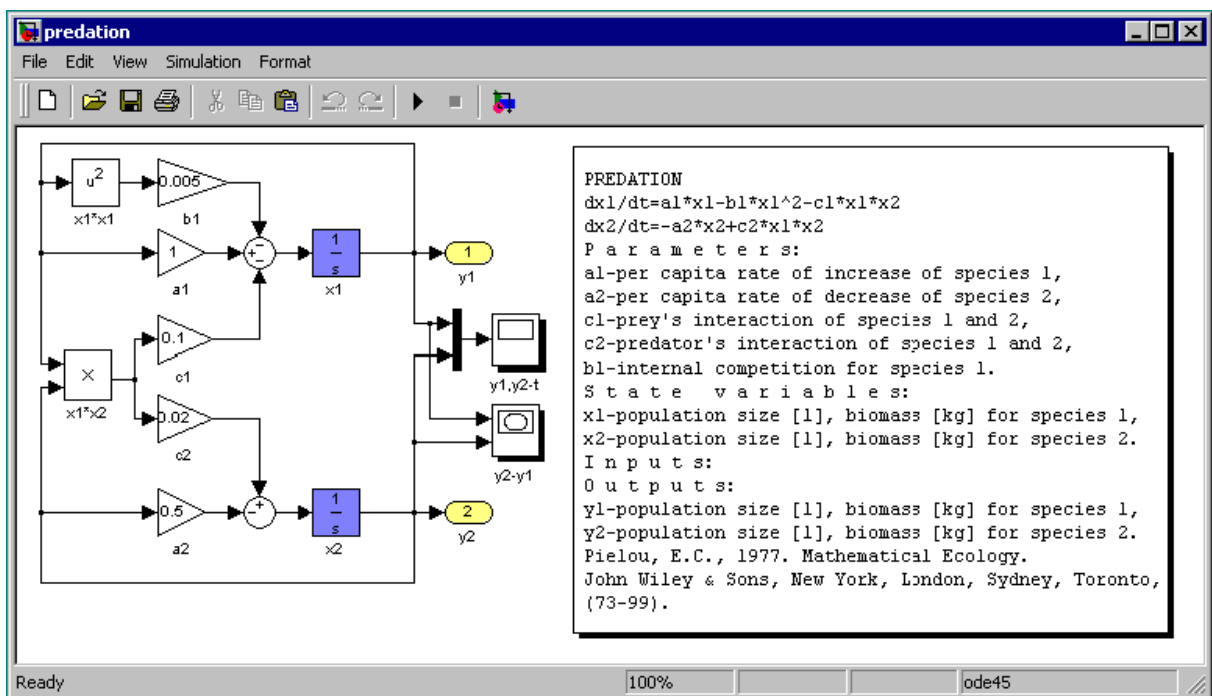


**Obr.1** Členění modelů podle zaměření s ukázkou z oblasti populační ekologie.

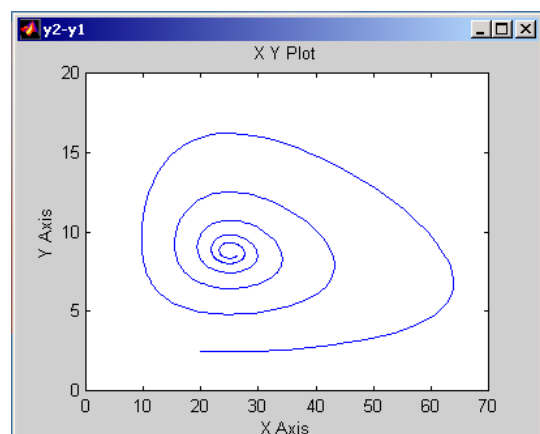
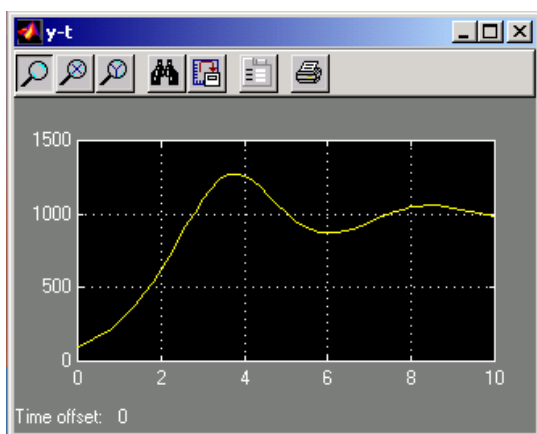
Kromě přehledného členění je dále třeba provést dokumentaci jednotlivých modelů. Vzhledem k tomu, že modely jsou sestaveny a řešeny v prostředí nadstavby *Simulink*, již samotné blokové schéma s popisy poskytuje dostatečnou orientaci pro řešitele. Pro přehlednost je vhodné doplnit u každého modelu do popisky název modelu používaný v odborné literatuře a případně identifikační číslo v rámci knihovny *EkoSynthesis*, seznam parametrů s vysvětlením, popis proměnných s vyjádřením fyzikálních jednotek (stavové, vstupní a výstupní proměnné), odkazy na podrobnější popis modelu v odborné literatuře. Většina literárních zdrojů uvádí modely popsané matematickými vztahy. Počítačový model v podobě blokových schémat je uváděn v souvislosti s řešením nebo při snaze ukázat schématicky vazby mezi proměnnými a parametry modelu. I když bloková schémata lze považovat za dostatečná pro popis modelu, je popis dále doplněn také matematickými vztahy **obr.2**, **obr.3**, **obr.5**. Pro přehlednost jsou dále barevně zvýrazněny bloky představující dynamické prvky (integrátory, zpoždění) a vstupy a výstupy modelu.



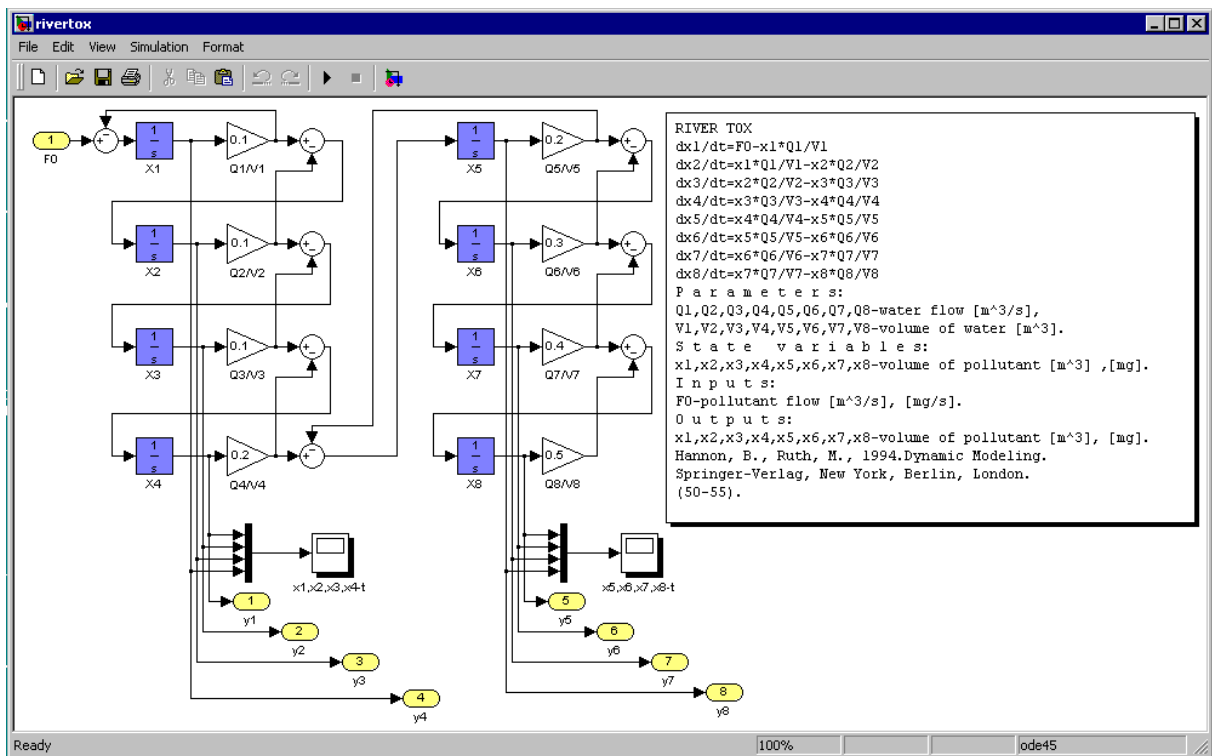
**Obr.2** Ukázka modelu z oblasti populační ekologie –zpožděný logistického růstu.



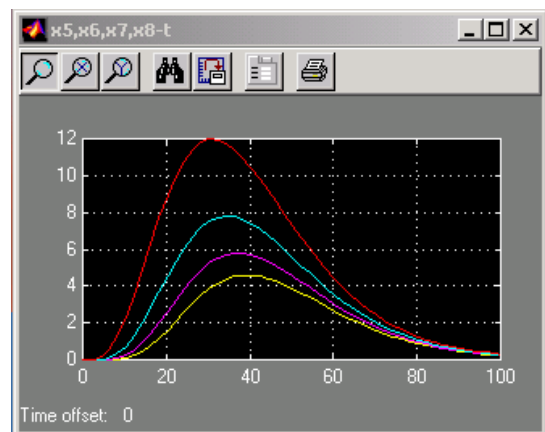
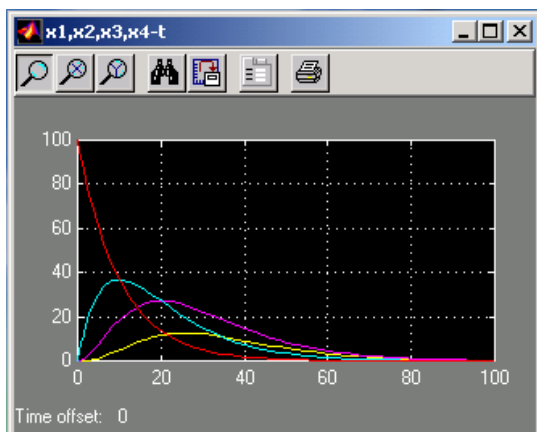
**Obr.3** Ukázka modelu z oblasti populační ekologie -predace.



**Obr.4** Příklady grafických výstupů modelů z oblasti populační ekologie –časový průběh proměnných modelu z **obr.2** (vlevo), stavová trajektorie modelu z **obr.3** (vpravo).



**Obr.5** Ukázka modelu z oblasti ekotoxikologie –kontaminace vodního zdroje.

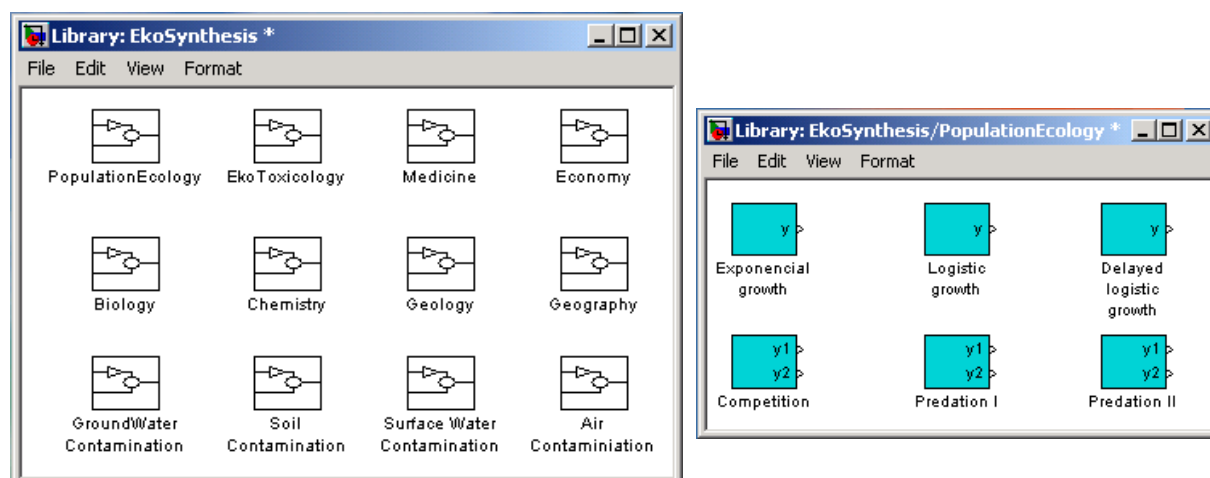


**Obr.6** Příklady grafických výstupů modelů z oblasti ekotoxikologie -časový průběh proměnných modelu z **obr.5**.

První dva příklady modelů jsou z oblasti populační ekologie. **Obr.2** představuje model růstu populace se zpožděním, které zahrnuje vývojový cyklus jedinců, přibližnou střední dobu života jedinců. Na **obr.3** je sestaven model typu dravec-kořist, jež je často používán v populační ekologii k demonstraci základních interakčních vztahů dvou populací. Vybrané grafické výstupy obou modelů znázorňuje **obr.4**. Příklad z oblasti ekotoxikologie na **obr.5** dokumentuje základní verzi modelu šíření cizorodých látek ve vodním toku, který je z hlediska modelu rozdělen na 8 částí. Ukázka časových průběhů množství látky při jejím šíření z prvního úseku postupně všemi úseky je na **obr.6**. Nastavení parametrů modelů je zřejmé z blokových schémat. Podrobnější rozbor jednotlivých příkladů z hlediska nastavení parametrů a interpretace výsledků je obsažena v popisu modelu v podobě odkazů na příslušnou literaturu (Krebs, 1994), (Pielou, 1977), (Hannon et al., 1994).

Cílem knihovny *EkoSynthesis* není pouze seskupit vybrané modely z jednotlivých oblastí životního prostředí, ale také poskytnout další zdroje pro eventuální modifikace stávajících modelů nebo konstrukci nových modelů. Na **obr.7** je ukázka základní verze 1.0 knihovny *EkoSynthesis*. Na primární úrovni jsou hlavní bloky obsahující jednotlivé skupiny

modelů. **Obr.7** například ukazuje kromě základní knihovny obsah skupiny modelů z oblasti populační ekologie. V průběhu dalšího vývoje knihovny se očekává kromě doplňování modelů do stávajících skupin i vytváření nových skupin nebo dalších podskupin pro jemnější rozdělení modelů.



**Obr.7** Základní verze 1.0 knihovny *EkoSynthesis* s ukázkou obsahu skupiny modelů z oblasti populační ekologie.

### Závěr

Návrh knihovny *EkoSynthesis* byl motivován snahou o poskytnutí přehledu doposud používaných dynamických modelů spolu s jejich řešením, které se nějakým způsobem dotýkají problematiky životního prostředí. I když v první verzi obsahuje knihovna relativně malý počet modelů v porovnání se soustředěním modelů ze všech doposud dostupných zdrojů, předpokládá se neustále doplňování a úprava struktury knihovny. Výhoda systému v přímé řešitelnosti modelů v sobě zároveň zahrnuje větší pracnost při vytváření a odladování jednotlivých modelů. I když prostředí nadstavby *Simulink* poskytuje mnoho prostředků pro efektivní vytváření a výpočet modelů, naplnění a aktualizace knihovny *EkoSynthesis* představuje dlouhodobou práci s využitím zkušeností odborníků z mnoha oblastí. Hlavní výhoda přímé řešitelnosti však předurčuje knihovnu pro aktivní studium jednotlivých modelů s možností přímo testovat chování modelů podle nastavení parametrů a nebo vytvářet podobné modely s využitím knihovnických subsystémů.

### Použitá literatura

- Hannon, B., Ruth, M., 1994. *Dynamic Modeling*. Springer-Verlag, New York.  
 Jørgensen, S.E., Sørensen, B.H, Nielsen S.N. (Editors), 1996. *Handbook of Environmental and Ecological Modeling*. Lewis Publishers, New York, London.  
 Krebs, C.J., 1994. *Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. HarperCollins College Publishers, New York, Berlin.  
 Pielou, E.C., 1977. *Mathematical Ecology*. John Wiley & Sons, New York, London.

### Použitá odkazy a firemní literatura

- ECOBAS*-(<http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html>).  
*ECOTOX*-Ecological Modelling and Ecotoxicology (<http://www.elsevier-ecotox.com>).  
*EPA*-Environmental Protection Agency (<http://www.epa.gov>).  
*Simulink*-Dynamic System Simulation for *MATLAB*: Using *Simulink*. The MathWorks, Inc.

**Kontaktní adresa:** Ing. Luboš Matějčík, Ph.D., Ústav pro životní prostředí, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Benátská 2, Praha 2, 128 01.  
 E-mail: [LMATEJIC@MBOX.CESNET.CZ](mailto:LMATEJIC@MBOX.CESNET.CZ)