

**Slezská univerzita v Opavě**  
**Fyzikální ústav**



## **ENVIRONMENTÁLNÍ INFORMATIKA**

**Miloš Zapletal**

**Opava 2021**

**Učební text byl podpořen projektem Zvýšení kvality vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě ve vazbě na potřeby Moravskoslezského kraje, CZ.02.2.69/0.0/0.0/18\_058/0010238.**



**EVROPSKÁ UNIE**  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

**MŠMT**  
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



---

## **OBSAH MODULU**

- 1. Využití environmentálních informací v monitorování životního prostředí**
- 2. Environmentální modely v ochraně ovzduší**
- 3. Environmentální modely v ochraně půdy a podzemní vody**
- 4. Environmentální modely v ochraně vody**
- 5. Environmentální informační systémy v ochraně přírody a krajiny**
- 6. Systémy prostorové lokalizace procesů a objektů v informačních systémech o stavu životního prostředí**
- 7. Dálkový průzkum Země a možnosti jeho využití v různých vědních disciplínách**
- 8. Využití kvantitativních a kvalitativních informací k hodnocení ekologických a environmentálních rizik**
- 9. Využití geografických informačních systémů v oblasti ochrany životního prostředí**
- 10. Využití geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší**

---

## ÚVOD MODULU ENVIRONMENTÁLNÍ INFORMATIKA

Modul Environmentální informatika seznamuje studenty se základními metodami zpracování a prezentace environmentálních dat. Studenti rovněž získají informace o možnostech využití geografických informačních systémů a dat získaných dálkovým průzkumem Země. Předmět může být vyučován formou seminárních prací.

V modulu je analyzováno využití environmentálních informací v monitorování životního prostředí.

V modulu jsou popsány environmentální modely v ochraně ovzduší.

V modulu jsou popsány environmentální modely v ochraně půdy a podzemní vody.

V modulu jsou popsány environmentální modely v ochraně vody.

V modulu jsou popsány environmentální informační systémy v ochraně přírody a krajiny.

V modulu jsou popsány systémy prostorové lokalizace procesů a objektů v informačních systémech o stavu životního prostředí.

V modulu je popsán dálkový průzkum Země a možnosti jeho využití v různých vědních disciplínách.

V modulu je popsáno využití kvantitativních a kvalitativních informací k hodnocení ekologických a environmentálních rizik.

V modulu je popsáno využití geografických informačních systémů v oblasti ochrany životního prostředí.

V modulu je popsáno využití geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší.



---

## CÍL MODULU

### Po úspěšném a aktivním absolvování tohoto MODULU

#### Získáte znalosti v oblasti:

- využití environmentálních informací v monitorování životního prostředí
- využití environmentálních modelů v ochraně ovzduší
- využití environmentálních modelů v ochraně půdy a podzemní vody
- využití environmentálních modelů v ochraně vody
- využití environmentálních informačních systémů v ochraně přírody a krajiny
- využití systémů prostorové lokalizace procesů a objektů v informačních systémech o stavu životního prostředí
- využití dálkového průzkumu Země v různých vědních disciplínách
- využití kvantitativních a kvalitativních informací k hodnocení ekologických a environmentálních rizik
- využití geografických informačních systémů v oblasti ochrany životního prostředí
- využití geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší

#### Budete schopni:

- analyzovat environmentální informace v monitorování životního prostředí
- popsat a použít environmentální modely v ochraně ovzduší
- popsat a použít environmentální modely v ochraně půdy a podzemní vody
- popsat a použít environmentální modely v ochraně vody
- popsat environmentální informační systémy v ochraně přírody a krajiny
- charakterizovat systémy prostorové lokalizace procesů a objektů v informačních systémech o stavu životního prostředí
- popsat dálkový průzkum Země a možnosti jeho využití v různých vědních disciplínách
- popsat kvantitativní a kvalitativní informace k hodnocení ekologických a environmentálních rizik
- popsat využití geografických informačních systémů v oblasti ochrany životního prostředí
- popsat využití geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší



---

## CÍL KAPITOLY

### 1. Využití environmentálních informací v monitorování životního prostředí

- charakterizovat úlohu informací na všech úrovních rozhodovacího procesu v oblasti životního prostředí
- charakterizovat environmentální informatiku
- seznámit se s příklady simulační a modelovací techniky v oblasti životního prostředí
- vysvětlit postup při definování a řešení environmentálních problémů
- vysvětlit úlohu monitoringu životního prostředí při řešení environmentálních problémů
- charakterizovat environmentální informace a jejich úlohu v ochraně životního prostředí

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- využití environmentálních informací v monitorování a ochraně životního prostředí

#### Budete schopni:

- charakterizovat úlohu informací na všech úrovních rozhodovacího procesu v oblasti životního prostředí
- charakterizovat environmentální informatiku
- seznámit se s příklady simulační a modelovací techniky v oblasti životního prostředí
- vysvětlit postup při definování a řešení environmentálních problémů
- vysvětlit úlohu monitoringu životního prostředí při řešení environmentálních problémů
- charakterizovat environmentální informace a jejich úlohu v ochraně životního prostředí

**Klíčová slova této kapitoly:** rozhodovací proces, environmentální informatika, simulační a modelovací techniky, environmentální problém, monitoring, životního prostředí, environmentální informace

## **Environmentální informatika**

Zásadní význam v trvale udržitelném rozvoji životního prostředí má pořízení, transformace, přenos a využití nejrůznějších informací na všech úrovních rozhodovacího procesu v oblasti životního prostředí. Tento rozhodovací proces se uskutečňuje v různých geografických měřítcích od obcí, přes regiony, státy až na úroveň mezinárodní. Rozhodovací procesy se týkají různých společenských sektorů, jako je průmysl, zemědělství a zdravotnictví, a různých subjektů s celospolečenským vlivem, především vlád, a to jak vlád centrálních nebo samospráv, místních vlád jednotlivých regionů nebo obcí. Informace jsou zdrojem při změně postojů a tvorbě politických rozhodnutí v oblasti životního prostředí. Zpracování informací získaných monitorováním životního prostředí pomocí dálkového průzkumu Země a integrace informací o životním prostředí, pokročilé techniky analýzy dat založené v modelech přesouvají zaměření z dat na dynamické systémy o životním prostředí. V tomto procesu hraje významnou roli environmentální informatika.

Počítačové systémy pro zpracování informací o životním prostředí byly vyvinuty v oblasti výzkumu a ochrany životního prostředí, včetně monitorování a kontroly, správy informací, analýzy dat, podpory plánování a rozhodování. Environmentální informatika kombinuje témata informatiky, jako jsou databázové systémy, geografické informační systémy, modelování a simulace, počítačová grafika, zpracování znalostí a neuronové sítě s ohledem na jejich aplikace na problémy životního prostředí.

Environmentální informatika může využívat velké komplexní datové soubory ke studiu environmentálních problémů, které mohou být diskrétní a spojitě v prostoru nebo čase. Tyto datové soubory lze spravovat pomocí dotazovatelných databází. Geoprostorové webové aplikace poskytují vzdálený přístup k množině informací o životním prostředí. Například rostoucí koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře, antarktická ozonová díra, změny v chování Golského proudu a změny v evapotranspiraci lesních ekosystémů byly objeveny analýzou rozsáhlých časových řad informací uložených v datových souborech. V těchto globálních environmentálních problémech jsou data velmi důležitá pro tvorbu hypotéz o příčinách vzniku těchto problémů.

Informatika zahrnuje více než počítačové systémy a jejich různé aplikace v informačních technologiích (IT). Kromě technických aspektů environmentální informatika pohlíží na počítačové systémy tak, jak jsou zabudovány do organizací a společnosti. Databázové systémy tvoří jednu ze základních částí informatiky s ohledem na environmentální aplikace. Geografické informační systémy (GIS) jsou databázové systémy specializované na prostorově strukturovaná data. Protože většina údajů o životním prostředí souvisí s prostorem a časem, GIS jsou široce používány jako základ pro informační systémy o životním prostředí. Nicméně požadavky informačních systémů o životním prostředí nejsou plně pokryty GIS ani systémy relačních databází. Nový vývoj, například objektově orientované databázové systémy a koncept metainformací, může přispět k překonání současných nedostatků.

Modelovací a simulační techniky jsou používány v oblasti životního prostředí více než tři desetiletí. První aplikace vyplynuly z řízení vodních zdrojů. Dnes se pro úlohy pokročilé analýzy dat používají různé typy simulačních modelů, pro podporu rozhodování, plánování nebo pro řízení procesů: modely disperze a kvality pro vzduch, vodu nebo půdu, modely ekosystémů a modely v ekologické ekonomii, modely procesů jako součást systémů řízení procesů, modely pro predikci emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy. Úkolem informatiky v environmentálním modelování je poskytnout nástroje, které odborníkům umožní vytvářet simulační modely s minimálním úsilím, tj. pomocí jazyků grafického modelování, programových balíčků pro modelování a simulace nebo takzvané modelové základní systémy, které poskytují standardní moduly použitelné jako „stavební bloky“ pro modelování. Důležitým problémem je zvýšení transparentnosti modelu. Protože simulační modely jsou explicitní formální reprezentace teorií reálných systémů, mají potenciál stimulovat komunikaci ve vědecké komunitě. Ale tato výhoda simulačních modelů je účinná pouze v případě, že jsou znázorněny způsobem, který jasně ukazuje, jak výsledky simulace závisí na předpokladech modelu. Transparentnost modelů může být podporována různými koncepty, včetně jazyků deklarativního modelování na vysoké úrovni, grafickými modelovacími systémy, technikami analýzy modelů založených na znalostech, pokročilými metodami analýzy citlivosti a kvalitativní simulací.

Abychom mohli řešit environmentální problémy musíme tyto problémy definovat. Definice otázky, na kterou chce zkoumání problému odpovědět, souvisí s metodologickou a filozofickou výbavou badatele. Formulace otázky pomocí CO a JAK je nahrazeno PROČ. Formulujeme hypotézy o časových a prostorových souvislostech jevů, procesů a objektů v životním prostředí. Protože většina globálních environmentálních vlivů na lidskou populaci nemá v počáteční fázi jednoznačně identifikovatelné účinky, které by byly rozpoznatelné běžným člověkem, je v této fázi monitorování a interpretace výsledků nezastupitelná úloha odborníků. V ochraně životního prostředí je důležité identifikovat problém včas před jeho negativním působením. Hlavní roli zde hraje věda a odborníci na environmentální problematiku.

Monitoring životního prostředí je soustavné pozorování parametrů, vztahujících se k určitému problému, uspořádaných tak, aby poskytly informaci o charakteristikách problému a jejich změnách v čase. Monitorování je rovněž sledování proměnných a procesů v čase, navíc se však předpokládá určitý specifický důvod pro takové shromažďování údajů. Při sestavování monitorovacího programu je třeba zvažovat dva soubory otázek, a to otázky sběru dat a otázky analýzy a interpretace dat. Musíme odpovědět na celou řadu otázek jako např.: Jaké jsou záměry a cíle monitorování? Jaké metody jsou použity při soustavném měření a zaznamenávání proměnných a procesů v průběhu času? Jaké je časové měřítko monitorování a frekvence sběru dat? Které proměnné a procesy pro monitorování zvoleny? Jakých metod se používá při rozboru údajů? Jak jsou data prezentována? Byly údaje užitečně a plně interpretovány?



## Charakteristika environmentálních dat

Informace o životním prostředí lze podle Mezinárodního fóra o informacích v životním prostředí charakterizovat jako "data, statistiky a jiné kvantitativní a kvalitativní údaje, které rozhodovací orgány vyžadují k hodnocení stavu a trendů změn prostředí, k formulaci a upřesňování ekologické politiky a k účelnému využívání prostředků". To, co odlišuje tyto informace od ostatních, je především různorodý a nesnadno jednotně charakterizovatelný obsah. Určující je spíše účel, pro nějž jsou environmentální data shromažďována. Stejně tak vznik environmentálních dat je různorodý. Typické je pořizování těchto dat měřeními (monitoringem) veličin charakterizujících životní prostředí, ale i statistické zjišťování a zákonem dané evidování.

Environmentální data se týkají fenoménů v životním prostředí. Tyto fenomény jsou zpravidla prostorově a časově vymezené. To se odráží na formálních charakteristikách environmentálních dat, používají se datové struktury a algoritmické přístupy specifické pro data s geometrickým a temporálním určením, existují speciální přístupové a vyhledávací metody. Z hlediska použití environmentálních dat je více než jinde podstatná jejich odborná interpretace. Bez ní nemají kvantitativní data pro běžného uživatele smysl. Environmentální data využívá široký okruh potenciálních uživatelů (odborníci, ekonomové, politici, veřejnost). Odlišnosti charakterizující environmentální data nespočívají ani tak v datech samotných, ale v způsobu a účelu jejich získávání a aplikaci, interpretaci a použití.

Environmentální data lze klasifikovat podle způsobu aplikace. Získávání, transformace a prezentace environmentálních dat je jedním ze základních prostředků dosažení přechodu k trvale udržitelnému rozvoji. Environmentální data mají několik funkcí:

- Poskytovat informace pro operativní řízení. Řízení může být zcela automatické (bez bezprostřední účasti člověka). Systémy, které tato data k řízení využívají, nazýváme řídicí systémy. Sem spadá poskytnutí podkladů pro sledování dodržování limitů a norem např. pro čerpání přírodních zdrojů, znečišťování ovzduší, vody, půdy.
- Poskytovat informace pro střednědobé plánování a řízení. Toto řízení provádí na úrovni podniků operativní (výkonný, střední) management na základě souhrnných dat, která ukazují na směr vývoje určitých environmentálních veličin. S tím souvisí stanovení žádoucích směrů vývoje těchto veličin. Vytváření podkladů pro uplatňování ekonomických stimulačních nástrojů např. prostřednictvím environmentálního účetnictví a dalších ekonomických stimulů (cla, daně, úplaty).
- Poskytovat informace pro strategické, dlouhodobé plánování a řízení. Zde se na procesu ovlivňování podílí kromě výkonných řídicích složek (soukromých subjektů, státu) také veřejnost, byť většinou zprostředkovaně jako hodnotitel možných důsledků environmentálních jevů, které zpravidla interpretují odborníci.

- Poskytovat informace pro uznání problému. Jakmile je škodlivý vliv určité činnosti člověka alespoň částečně prokázán, nastupuje fáze jeho uznání. Podstatné je, že až do doby uznání je celá zodpovědnost na expertech, kteří zpravidla jako jediní mají v rukou informace, které o problému svědčí. Jakmile je problém uznán, přestává být výlučnou záležitostí vědců a stane se věcí veřejnou.
- Poskytovat informace pro formulaci opatření na základě doporučení expertů a podle aktuální politicko-ekonomické situace jsou formulována opatření, která jsou rozhodovacími orgány schválena. Opatření mají většinou závaznou platnost pro všechny subjekty s činnostmi, u něhož se vliv prokázal.
- Poskytovat informace pro zhodnocení uskutečněných opatření jakmile jsou tato přijatá opatření implementována. Je třeba průběžně vyhodnocovat jejich výsledek (dopad) na životní prostředí. Zde opět hrají podstatnou roli experti, sledování a odborná interpretace environmentálních dat. Na základě odborné interpretace se posoudí, zdali opatření přinesla kýžený efekt, zdali je žádoucí v jejich uplatňování pokračovat, s jakými náklady se opatření prováděla a jaké ekonomické důsledky měla změna životního prostředí vyvolaná přijetím opatření.

### Kontrolní otázky:

1. Charakterizujte úlohu informací na všech úrovních rozhodovacího procesu v oblasti životního prostředí.
2. Charakterizujte předmět environmentální informatiky.
3. Popište příklady simulační a modelovací techniky v oblasti životního prostředí.
4. Vysvětlíte postup při definování a řešení environmentálních problémů.
5. Vysvětlíte úlohu monitoringu životního prostředí při řešení environmentálních problémů.
6. Charakterizujte environmentální informace a jejich úlohu v ochraně životního prostředí.



### Úkoly k zamyšlení:

Zamyslete se nad funkcemi environmentálních dat v procesu řízení ochrany životního prostředí.



### Korespondenční úkol:



Popište strukturu a obsah monitorovaných dat pro hodnocení problému znečištění ovzduší látkami znečišťujícími ovzduší v místě vašeho bydliště. Formulujte hypotézu o příčině tohoto problému. Navrhněte postup řešení tohoto problému s využitím monitorovaných dat.

### **Shrnutí obsahu kapitoly**



V této kapitole jsem se seznámil s využitím environmentálních informací v monitorování životního prostředí, úlohou informací na všech úrovních rozhodovacího procesu v oblasti životního prostředí, předmětem environmentální informatiky, úlohou environmentálních modelů v simulaci a porozumění procesů v životním prostředí, postupy při definování a řešení environmentálních problémů, úlohou environmentálních informací a environmentálního monitorování v ochraně životního prostředí.

### **Literatura:**

Hilty, L.M. Page, B., Radermacher F.J., Riekert, W.F.: Environmental Informatics as a New Discipline of Applied Computer Science, DOI: 10.1007/978-94-017-1443-3\_1.

Frew, J.E., Dozier, J.: Environmental Informatics, Annu. Rev. Environ. Resour. 37,449–72, 2012.

Spellerberg, Ian F.: Monitorování ekologických změn. Brno 1995.



## CÍL KAPITOLY

### 2. Environmentální modely v ochraně ovzduší

- vysvětlit využití multimediálních modelů pro popis chování látek znečišťujících ovzduší v životním prostředí, klasifikovat tyto modely s ohledem na princip výpočtu v různých měřících, vysvětlit modelování suché depozice plyných znečišťujících látek a aerosolů různými modely, vysvětlit modelování mokré depozice znečišťujících látek

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

##### Získáte znalosti v oblasti:

- využití multimediálních modelů pro popis chování látek znečišťujících ovzduší v životním prostředí, klasifikace modelů s ohledem na princip výpočtu v různých měřících, modelování suché depozice plyných znečišťujících látek a aerosolů různými modely, modelování mokré depozice znečišťujících látek

##### Budete schopni:

- charakterizovat konzervativní a nekonzervativní modely, rovnovážné a nerovnovážné modely, atmosférické modely, depoziční modely a vstupní data, modelovat suchou depozici plyných znečišťujících látek a aerosolů různými modely, modelovat mokrou depozici znečišťujících látek

**Klíčová slova této kapitoly:** konzervativní a nekonzervativní modely, rovnovážné a nerovnovážné modely, atmosférické modely, depoziční modely, model suché depozice plynů, model suché depozice aerosolů, rezistenční model, model mokré depozice, vstupní data

Velká část multimediálních modelů v ochraně ovzduší byla vyvinuta pro odhad osudu a chování látek ve velkém (regionálním) měřítku a jsou založeny na výpočtu hmotnostní bilance v jednotlivých složkách prostředí. Většinou jsou určeny k vývojovým aplikacím, nereprezentují tedy přesně reálné podmínky, ale používají se v nich generalizované parametry k popisu prostředí.

Záleží na sofistikovanosti modelu s jakou klade důraz na popis přenosu hmoty, transformační procesy a odhad přenosu hmoty mezi fázemi. Většina modelů používá při práci tzv. „jednotkový svět“, který se rozděluje na několik částí o specifických objemech. Nejčastěji jich je šest: vzduch, voda, půda, sediment, suspendované tuhé částice a vodní biota.

Jednodušší modely používají jenom např. první čtyři, nebo různé jiné kombinace podle zaměření modelu. Předpokládá se, že každá fáze je homogenní.

## **Multimediální modely**

### Konzervativní a nekonzervativní modely

V konzervativních modelech se předpokládá, že látka je v prostředí transformována. Jestliže není kinetika dobře známa tak se předpokládá, že taková látka je persistentní nebo konzervativní a nedegraduje.

### Rovnovážné a nerovnovážné modely

Koncentrace látky v jednotlivých fázích je dána termodynamickými rovnovážnými zákony jako je Henryho zákon pro rozdělování mezi vzduch a vodu. Dosažení rovnováhy je vzácné a tak model může brát v úvahu kinetiku výměnného procesu.

### Ustálené a neustálené modely

Koncentrace látky ve fázi může být konstantní tedy ustálená, nebo se může měnit s časem např. díky vzrůstající emisi.

Dále můžeme modely rozdělit podle např. podle měřítka ve kterém se odehrávají tj.: lokální, regionální a globální. Nebo je můžeme rozdělit podle typu média na které jsou hlavně zaměřeny.

## **Atmosférické modely**

V těchto modelech je vzduch hlavním médiem pro transport, zředování a fyzikální či chemickou transformaci. Proudění a rozptylování jsou hlavními procesy. Jejich cílem je výpočet koncentrace látky v určitém bodě (a čase) vzdáleném od zdroje, který může mít nejrůznější tvary nejčastěji jsou to bod nebo úsečka. Některé modely dokáží simulovat i přítomnost různých překážek např. budov nebo profil terénu.

Dvě jednoduché cesty k matematickému popsání disperze jsou eulerovský a lagrangianovský přístup.

### **Jednoduché modely**

Jsou to většinou Gaussovské „plume“ modely založené na langrangianovském přístupu. Popisují rozptyl ve stacionární homogenní turbulenci.

„Boxové“ modely rozdělují atmosféru na mnoho částí o určité velikosti. V každé části je látka rovnoměrně rozptýlena. Pro každý časový krok modelu se řeší hmotnostní bilance zahrnující toky látek mezi hranicemi boxů.

Eulerovské mřížkové modely řeší rozptyl numericky a počítají koncentraci pro každý uzel jako průměr v čase a prostoru. Je to výpočtově náročný model.

Random walk modely popisují rozptyl pasivního značkovače v turbulentním toku. Vzduch je přitom rozdělen na části. Výpočet je založen na pravděpodobnosti pohybu částice uvnitř vzdušné „parcely“. Tento model je náročný na hardware.

### **Pokročilé modely**

Používají se pro řešení speciálních podmínek, jako je turbulentní rozptyl v komplexně definovaném terénu, rozptyl ve velké vzdálenosti a rozptyl chemicky reaktivních látek. Základem modelů je detailní popis toku včetně lokálních efektů budov a ostatních terénních překážek.

Pro popis rozptylu v komplexně definovaném terénu se používají random walk modely, často nazývané Lagrangianovské stochastické modely. Jejich výhodou je jednoduchost, flexibilita a relativně dobré výsledky. Příkladem je např. ADMS (Atmospheric Dispersion Modelling System).

Modely rozptylu na regionální a globální úrovni slouží jako nástroje odhadu globálního vlivu regionálních zdrojů emise. Typické jsou boxové modely jako ENAMAP a mřížkové modely např. MESOS.

Modely rozptylu chemicky reaktivních látek se dají řešit také jako boxové modely, zvláště pro pomalé chemické reakce.

Modely je také možno kombinovat např. dálkový transport a reaktivitu (TREND) pro  $\text{SO}_2$  a  $\text{NO}_x$ .

Pro vývoj procedur souvisejících s výrobou a skladováním toxických a hořlavých látek byly vyvinuty modely rozptylu těžkého plynu. Tyto jevy nejsou popsitelné gaussovským modelem.

Všechny modely mají nízkou prediktivitu a spolehlivost. Jako příklady těchto modelů slouží: CHARM, FEM3 a DEGADIS.

Dalším příkladem vzdušných modelů jsou modely založené na analýze rizik. Rozptyl je nejčastěji počítán boxovým modelem a koncentrace se porovnávají s bezpečnostními limity. Nejčastěji se používají v souvislosti se skladováním, výrobou a dopravou látek.

### **Vstupní data**

Množství a druh dat závisí na vypslosti modelu. Minimálně množství emise a rychlost větru.

### **Chemická data**

Pokročilejší modely vyžadují informace o přímé a nepřímé fototransformaci. Pro jednoduché modely nejsou chemická data zapotřebí.

### **Terénní data**

Většina modelů pracuje s rovným terénem. Některé vyžadují výšku a šířku terénních překážek, jejich nerovnost a vliv na směr a rychlost větru.

### **Meteorologická data**

Patří sem rychlost, směr a profil větru, teplota, popis turbulence (odhad), výška inverzní vrstvy.

### **Modelování suché atmosférické depozice**

Suchá atmosférická depozice je výsledkem usazování aerosolu s adsorbovaným polutantem na povrch vody a půdy. Znečišťující látka v plynném stavu rovněž podléhá suché atmosférické depozici pohlcováním na povrchu půdy nebo vody.

### **Modelování atmosférické depozice plynu**

K odhadu suché depozice plynných složek může být použita metoda, která odvozuje depoziční tok z naměřených koncentrací těchto složek v ovzduší a jejich depozičních rychlostí podle následujícího vztahu:

$$\text{Depoziční tok } F \text{ (g m}^{-2} \text{ rok}^{-1}) = V_d(z) C(z) 0,315, \quad (2.1)$$

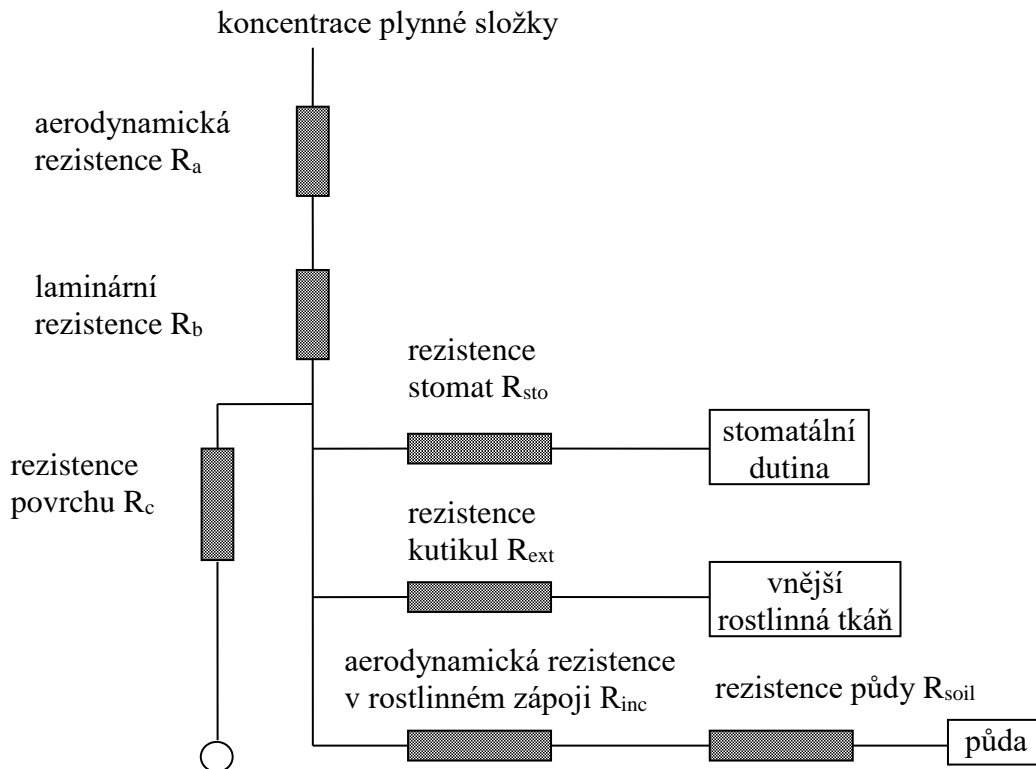
kde  $C(z)$  ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) je koncentrace látky znečišťující ovzduší (ve výšce  $z$  nad povrchem) a  $V_d(z)$  ( $\text{cm s}^{-1}$ ) je depoziční rychlost látky.

Pro odhad depozičních rychlostí z meteorologických dat a charakteristik povrchů a vegetačních pokryvů může být použit několikanásobný rezistenční model. Depoziční rychlost  $v_d$  může být vyjádřena jako inverzní hodnota součtu tří rezistencí:

$$v_d(z) = \frac{1}{R_a(z) + R_b + R_c} \quad (2.2)$$

a může být vypočtena pomocí několikanásobného rezistenčního schématu, který zahrnuje aerodynamickou rezistenci ( $R_a$ ), laminární rezistenci ( $R_b$ ) a povrchovou rezistenci ( $R_c$ ). Aerodynamická rezistence odhaduje odpor kladený depoziční složce při přenosu v určité výšce nad povrchem, ve které je koncentrace dané složky zjišťována přenosovým modelem nebo stanovena interpolací z monitorovaných hodnot. Povrchová rezistence  $R_c$  zahrnuje rostlinný zápoj a půdu. Rezistence povrchu roste nebo klesá v závislosti na indexu listové plochy (LAI), který umožňuje rozšíření rezistence povrchu jednotlivého individuálního listu

na celý stromový zápoj. Schéma rezistenčních komponent zahrnutých do depozičního modelu je uvedeno na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schéma rezistenčních komponent zahrnutých do depozičního modelu.

Aerodynamická rezistence  $R_a$  může být vypočtena podle mikrometeorologických vztahů:

$$R_a = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_c}{k \cdot u_*}, \quad (2.3)$$

kde:

$$u_* = \frac{k \cdot u_z}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m} \quad (2.4)$$

$k$  je von Karmanova konstanta (0,4),  $u_*$  je třecí rychlost větru,  $u_z$  je horizontální rychlost větru ve výšce  $z$  nad nulovou rovinou posunutí,  $z_0$  je drsnost povrchu,  $\psi_m$  je korekční stabilitní funkce pro hybnost (momentum) a  $\psi_c$  je korekční stabilitní funkce pro koncentraci znečišťující látky. Pro stabilní podmínky vertikálního zvrstvení atmosféry ( $0 < z/L < 1$ ) mohou být  $\psi_m$  a  $\psi_c$  vypočteny pomocí následující rovnice:



$$\psi_m = \psi_c = -\frac{5.z}{L} \quad (2.5)$$

v níž  $L$  je Monin-Obukhovova délka. Pro modelování třecí rychlosti může být zvolen poměr  $z/L=0.03$  charakterizující stabilní podmínky vertikálního zvrstvení atmosféry blízko neutrálním podmínkám.

Laminární rezistence  $R_b$  může být vypočtena z empirického vztahu:

$$R_b = \frac{5.3\sqrt{Sc^2}}{u_*}, \quad (2.6)$$

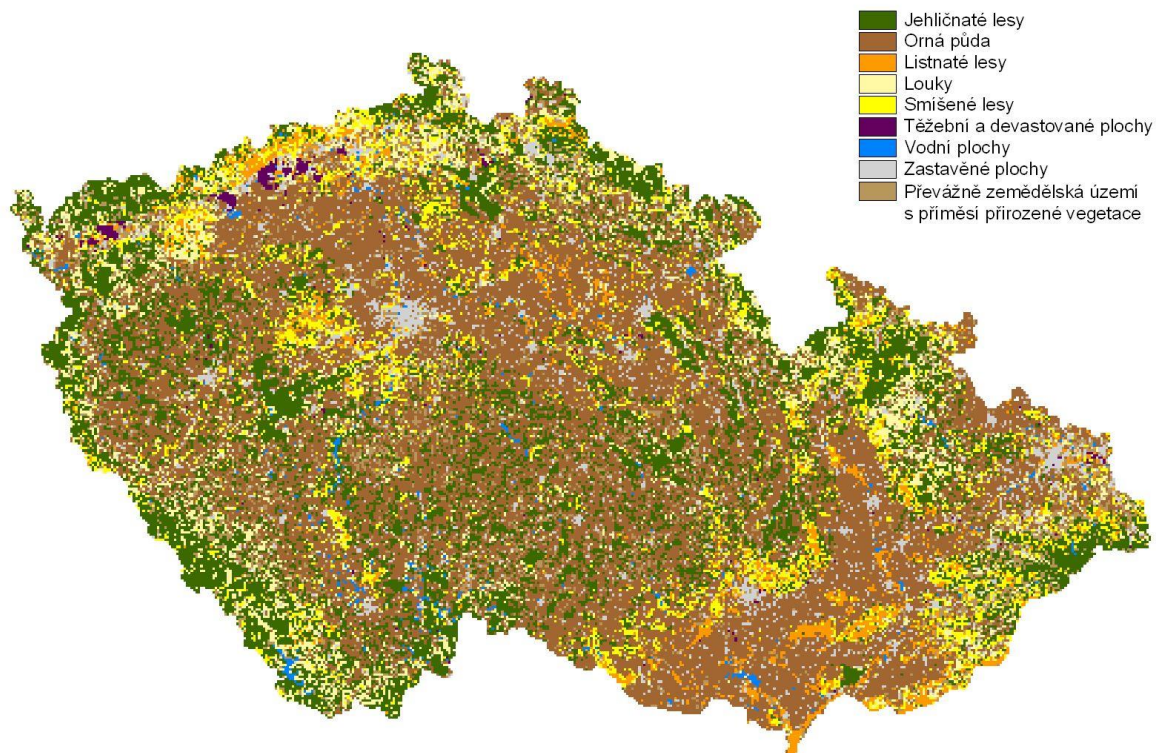
kde  $Sc$  je Schmidtovo číslo (poměr kinematické vazkosti vzduchu a molekulární difuze plynu).

Rezistence povrchu  $R_c$  je funkcí rezistence stomat ( $R_{sto}$ ), která je odporem kladeným plynné složce při jejím příjmu stomaty, rezistence mezofylu ( $R_m$ ), rezistence kutikul nebo rezistence vnějšího povrchu rostliny ( $R_{ext}$ ), tj. povrchu listů, větví nebo kmene, aerodynamické rezistence v rostlinném zápoji ( $R_{inc}$ ), která je odporem kladeným plynné složce při jejím přenosu skrz vegetaci směrem k půdě a spodním částem rostlinného zápoje a rezistence půdy ( $R_{soil}$ ), která je odporem půdy při absorpci plynné složky půdním povrchem. Rezistence stomat, rezistence vnějšího povrchu rostliny a rezistence půdy působí současně a může být charakterizována rovnicí:

$$R_c = \frac{1}{\left( \frac{1}{R_{stom} + R_m} + \frac{1}{R_{inc} + R_{soil}} + \frac{1}{R_{ext}} \right)} \quad (2.7)$$

Rezistence stomat  $R_{sto}$  může být vypočtena podle parametrizace vstupní rezistence, na jejímž základě lze odhadnout hodnoty rezistence stomat podle klasifikace využití ploch, ročního období, dat pro globální záření  $Q$  a teplotu povrchu  $T_s$ . Ostatní rezistence mohou být rovněž parametrizovány.

Roční průměrné hodnoty drsnosti povrchu  $z_0$  mohou být vztaženy k odpovídajícím povrchovým charakteristikám na území České republiky podle klasifikace CORINE Land Cover (obr. 2.2).



Obr. 2.2 Třídy CORINE Land Cover použité v depozičním modelu.

Tab. 2.1. Průměrné roční hodnoty drsnosti povrchu  $z_0$  (cm) pro jednotlivé typy povrchu.

Typ povrchu	$z_0$ (cm)
Jehličnatý les	90
Listnatý les	90
Orná půda	2.7
Travnatá louka	1.4
Zastavěná plocha	100
Vodní plocha	1

#### Výpočet vstupních parametrů

Vstupní parametry (proměnné): Globální radiace ( $W m^{-2}$ ), tlak vzduchu (Pa), teplota vzduchu ( $^{\circ}C$ ), relativní vlhkost vzduchu (%), horizontální rychlost větru ( $m s^{-1}$ ) a koncentrace znečišťující látky ( $\mu g m^{-3}$ ) mohou být změřeny na dané lokalitě. Vstupní data musí být vyfiltrována tak, aby neobsahovala úseky, kdy došlo k prokazatelnému selhání přístroje (např. teplota v létě nízko pod bodem mrazu, záporná radiace atd.).

#### Pocitové teplo (H)

Lze vypočítat z regresního vztahu pocitového tepla a globální radiace pro danou lokalitu. Rovnice vycházející z regrese:

$$H = 0,35 R - 0,16, \quad (2.8)$$

kde H je pocitové teplo ( $\text{W m}^{-2}$ ), R je globální radiace dopadající na povrch ( $\text{W m}^{-2}$ ).

Třecí rychlost větru ( $u_*$ )

Lze vypočítat ze semi-empirického vztahu logaritmického vztahu profilu horizontálního větru, který popisuje vertikální distribuci rychlostí horizontálního větru.

$$u_* = (\kappa u(z)) / \ln((z-d)/z_0), \quad (2.9)$$

kde  $u_*$  = třecí rychlost větru ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\kappa$  = von Karmánova konstanta,  $u(z)$  = rychlost větru ( $\text{m s}^{-1}$ ) ve výšce měření (m),  $z$  = výška měření nad zemí (m),  $d$  = výška nad zemí, kde je teoreticky nulová rychlost větru, kterou lze stanovit jako 2/3 výšky měření,  $z_0$  = výška drsnosti povrchu běžně bývá stanovena jako 1/10 výšky okolních překážek v terénu.

Hmotnost vzduchu (m)

Lze vypočítat za využití Clausius-Clapeyronovy rovnice z relativní vlhkosti vzduchu a z molární hmotnosti suchého vzduchu (28.9647 g/mol).

(<https://github.com/AirChem/AtmosphericThermodynamics>).

Konstanty

$C_p$  - specifická hmotnostní teplotní kapacita vzduchu při konstantním tlaku ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ), hodnota je  $1004,2 \text{ J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

$\kappa$  = von Karmánova konstanta,  $\kappa = 0,41$ ; bezrozměrná veličina

$Sc$  = Schmidtovo číslo,  $Sc = 1,07$ ; bezrozměrná veličina

$Pr$  = Prandltovo číslo,  $Pr = 0,72$ ; bezrozměrná veličina

Výpočet množství tepla nutného k ohřátí jednoho kg vzduchu o příslušné vlhkosti o jeden K, v jednotce  $\text{Ws m}^{-2}$  ( $\text{J} = \text{Ws}$ )

$$Wts = H / (c_p M), \quad (2.10)$$

kde  $Wts = \text{Ws}^{-1} \text{K m}$ .

Výpočet Monin-Obukhovy délky (L)

$$L = u_*^3 / (\kappa g/T Wts), \quad (2.11)$$

kde L = Monin-Obukhova délka (m),  $u_*$  = třecí rychlost větru ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $\kappa$  = von Karmánova konstanta,  $g$  = tíhové zrychlení ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $T$  = teplota (K),  $Wts$  = množství tepla nutného k ohřátí vzduchu o 1K ( $\text{Ws}^{-1} \text{K m}$ ). Monin-Obukhova délka charakterizuje výšku nad zemí, kde je turbulence vzduchu generována převážně vztlakem než stříhem větru (wind shear). Během dne nad pevninou je L typicky v rozmezí 0-50 m.

Výpočet parametru stability ( $\lambda$ )

$$\lambda = (z_c - d)/L, \quad (2.12)$$

kde  $z_c$  = výška korunové vrstvy porostu (m),  $d$  = výška nad zemí, kde je teoreticky nulový rychlost větru (m), většinou je stanovena jako 2/3 výšky měření,  $L$  = Monin-Obukhova délka (m).

Při  $\lambda < 0$  se jedná o nestabilní podmínky, při  $\lambda \geq 0$  se jedná o stabilní podmínky atmosféry.

Výpočet  $\psi_H$  a  $\psi_M$  pro nestabilní podmínky ( $\lambda < 0$ ). Jedná se o universální funkce pro průměrný horizontální tok větru a průměrnou virtuální potenciální teplotu.

$$\psi_H = 2 \log ((1+x^2)/2) \quad (2.13)$$

$$\psi_M = \log [((1+x^2)/2) ((1+x)/2)^2 - 2 \tan^{-1} x + \pi / 2], \quad (2.14)$$

kde  $x = (1-15\lambda)^{1/4}$ , jedná se o pomocný parametr k lepší přehlednosti rovnice.  $\psi_H$ ,  $\psi_M$  jsou bez jednotky.

Výpočet  $\psi_H$  a  $\psi_M$  pro stabilní podmínky ( $\lambda \geq 0$ ),

$$\psi_H = \psi_M = 1 + 4,7\lambda, \quad (2.15)$$

### Modelování suchá atmosférická depozice aerosolu

Depoziční tok aerosolových částic lze stanovit podle následující rovnice:

$$F = V_d * A * C_{aq} \quad [\text{mol.s}^{-1}], \quad (2.16)$$

kde  $V_d$  je depoziční rychlost [ $\text{m s}^{-1}$ ],  $C_{aq}$  je koncentrace látky sorbované na částicích ve vzduchu [ $\text{g m}^{-3}$ ] a  $A$  je plocha [ $\text{m}^2$ ]. Depoziční rychlost ( $V_d$ ) aerosolových částic může být odvozena z parametrizace třecí rychlosti  $u^*$  pro nízkou vegetaci:

$$V_d = \frac{u^*}{500}, \quad L > 0 \quad (2.17)$$

pro lesy:

$$V_d = \frac{u^*}{100}, L > 0 \quad (2.18)$$

$u^*$  je třecí rychlost větru a  $L$  je Monin-Obukhovova délka.

Depoziční rychlost ( $V_d$ ) ( $\text{cm s}^{-1}$ ) aerosolových částic může být také vypočtena podle rovnice:

$$V_d = V_{st} + 1.12 u^* \exp(-30.36/D_p), \quad (2.19)$$

kde  $V_{st}$  je rychlost usazování částic ( $\text{cm s}^{-1}$ ),  $u^*$  je třecí rychlost větru ( $\text{cm s}^{-1}$ ) a  $D_p$  průměr částice ( $\mu\text{m}$ ).

$$V_{st} \text{ pro PM10} = 0,5 \text{ (cm s}^{-1}\text{)} \quad (2.20)$$

$$V_{st} \text{ pro PM2.5} = 0,02 \text{ (cm s}^{-1}\text{)} \quad (2.21)$$

$$V_{st} \text{ pro PM1} = 0,00757 \text{ (cm s}^{-1}\text{)} \quad (2.22)$$

$V_{st}$  převzato z <https://sfrecpark.org/wp-content/uploads/PM-Tire4MichaelVestel071408.pdf>

## Modelování mokré atmosférická depozice

Mokrá atmosférická depozice se skládá ze dvou procesů:

- 1) Podoblačné vymývání, kde jsou plyny a částice zachytávány padajícími kapkami.
- 2) Vnitrooblačné vymývání, kde plyny a částice jsou zachytávány na tvořících se kapkách.

Efektivnost mokré atmosférické depozice závisí na celé řadě faktorů, jako je množství a typ srážek, velikost kapek, vlastnostech sloučeniny, teplotě apod.

$$F = L * A * z * C_a = (L_{gas} + L_{aerosol}) * A * z * C_a \text{ [mol.s}^{-1}\text{]}, \quad (2.23)$$

kde  $L$  je celkový vymývací koeficient [ $1.s^{-1}$ ],  $L_{gas}$  je vymývací koeficient pro plyny [ $1.s^{-1}$ ],  $L_{aerosol}$  je vymývací koeficient pro aerosol [ $1.s^{-1}$ ],  $z$  - výška promísené vzduchové vrstvy [m],  $C_a$  je koncentrace látky ve vzduchu [ $\text{mol.m}^{-3}$ ].

Většinou předpokládáme, že vzduch je v rovnováze s dešťovou vodou. Pak  $L_{gas}$  lze vypočítat za pomoci rozdělovacího koeficientu  $K_{aw}$ .

$$L_{gas} = R_r / z * F_{rg} / K_{aw}, \quad (2.24)$$

kde  $R_r$  je intenzita srážek [ $m \cdot s^{-1}$ ],  $F_{rg}$  je frakce sloučeniny v plynné fázi.

$$L_{aerosol} = R_r / z * 2 * 10^5 * F_{ra}, \quad (2.25)$$

kde  $F_{ra}$  je frakce sloučeniny v aerosolu.

Pokud bychom chtěli vypočítat tok sloučeniny pomocí koncentrace v dešti, pak:

$$N = C_p * R_r * A \text{ [mol} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}, \quad (2.26)$$

kde  $C_p$  je koncentrace sloučeniny v dešti [ $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ ].

### Kontrolní otázky:



1. Vysvětlete rozdíl mezi konzervativními a nekonzervativními modely.
2. Vysvětlete rozdíl mezi rovnovážnými a nerovnovážnými modely.
3. Klasifikujte atmosférické modely.
4. Klasifikujte depoziční modely a jejich požadovaná vstupní data.
5. Popište rozdíly mezi modely suché depozice plynných znečišťujících látek a modely depozice aerosolů.
6. Popište model pro výpočet mokré depozice znečišťujících látek.

### Úkoly k zamyšlení:



Vysvětlete proč modely suché depozice aerosolových částic nevyžadují výpočet rezistence povrchu  $R_c$  na rozdíl od modelů suché depozice plynných znečišťujících látek, které vyžadují výpočet  $R_c$ .


### Korespondenční úkol:

Shromážděte denní nebo měsíční průměrné hodnoty koncentrací vybraných látek znečišťujících ovzduší a denní nebo měsíční hodnoty meteorologických charakteristik pro území biotopu vybraného v kapitole 5. Věnujte pozornost výběru monitorovací stanice ČHMÚ, která měří koncentrace vybraných látek znečišťujících ovzduší a meteorologické stanice ČHMÚ, která měří meteorologické charakteristiky s ohledem vzdálenost od zvoleného území biotopu. Z těchto průměrných denních nebo měsíčních hodnot vypočítejte hodnoty ročních průměrných koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{PM}_{10}$  v ovzduší a hodnoty ročních průměrných koncentrací  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  ve srážkách pro období 2015 až 2019 pro vybrané území. Vývoj těchto koncentrací a ročních srážkových úhrnů v čase zobrazte pomocí grafů. Vypočítejte

roční průměrné hodnoty rychlosti větru, teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu. Vývoj těchto meteorologických charakteristik v čase zobrazte pomocí grafů. Informace o koncentracích vybraných látek znečišťujících ovzduší na území můžete získat také z map koncentrací těchto látek v síti 1 x 1 km pokrývající celé území ČR (Grafické ročenky ČHMÚ). Informace o koncentracích  $\text{NO}_x$  a  $\text{PM}_{10}$  v ovzduší a koncentracích  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  ve srážkách naleznete na webových stránkách ČHMÚ v Informačním systému kvality ovzduší ČHMÚ a informace o meteorologických charakteristikách naleznete na klimatologických webových stránkách ČHMÚ. Další informace jsou uvedeny v grafických ročenkách ČHMÚ.

Pro území biotopu vypočítejte celkovou (suchou a mokrou) depozici dusíku pro rok 2019. Plynnou depozici oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) odhadněte z naměřených koncentrací  $\text{NO}_x$  a odpovídajících depozičních rychlostí těchto plynů. Depoziční rychlost plynů parametrizujte s ohledem na charakter povrchu území (tráva, les) a naměřené meteorologické charakteristiky (rychlost větru, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a globální záření). Mokrou depozici dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ) a amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) odhadněte z koncentrací  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NH}_4^+$  ve srážkách a ročních srážkových úhrnů. Odhadněte celkovou depozici dusíku jako součet plynné a mokré depozice dusíku pro území biotopu.

## Shrnutí obsahu kapitoly

 V této kapitole jste se seznámili s využitím multimediálních modelů pro popis chování látek znečišťujících ovzduší v životním prostředí, klasifikací modelů s ohledem na princip výpočtu v různých měřítcích, s modelováním suché depozice plynných znečišťujících látek a aerosolů různými modely, s principem modelování mokré depozice znečišťujících látek.

## Literatura:

Bakker, D. J., de Vries, W., van de Plassche, E. J., van Pul, W. A. J.: Manual for performing risk assessments for persistent organic pollutants in aquatic ecosystems. TNO-Report, TNO-MEP-R98,376,1998.

Businger J.A., Wyngaard J.C., Izumi Y., Bradley E.F.: Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. J. Atmos. Sci. 28 (2): 181–189, 1971..

Dyer, A.J. A review of flux-profile relationships. Boundary-Layer Meteorol 7, 363–372, 1974.

EEA: CORINE Land Cover vector by country. European Enviromental Agency data service, 2005. (<http://dataservice.eea.eu.int>)

Emberson, L.D., Ashmore, M.R., Cambridge, H.M., Simpson, D., Tuovinen, J.P.: Modelling stomatal ozone flux across Europe. *Environ. Pollut.* 109, 403–413, 2000.

Fang, G. Jun-Han Huang, Chia-Kuan Liu, Yi-Liang Huang: Measuring and Modeling Atmospheric Arsenic Pollutants, Total As, As(III), and As(V), at Five Characteristic Sampling Sites. *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 200–210, 2012.

Liu S., Lu L., Mao D., Jia L.: Evaluating parameterizations of aerodynamic resistance to heat transfer using field measurements. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 769–783, 2007.

Mackay, D., Wania, F.: Global fractionation and cold condensation of low volatility organochlorine compounds in polar regions. *Ambio* 22., 1993.

van Jaarsveld, H., van Pul, W. A. J., de Leeuw, K. J.: Modelling transport and deposition of persistent organic pollutants in the European region. *Atmos. Environ.* 31, 1011-1024, 1997.

Wieringa, J.: How far can agrometeorological station observations be considered representative? In: Preprint to 23rd Amer. Meteor. Soc. Conference on Agric. and Forest Meteor. (Albuquerque), 1998.

Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky. Opava 1997

Zapletal, M.: Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice. Slezská univerzita v Opavě, Opava 2014, 136 s.





## CÍL KAPITOLY

### 3. Environmentální modely v ochraně půdy a podzemní vody

- obecná charakterizace modelů v ochraně půdy a podzemní vody
- charakterizace konceptu kritických zátěží
- popis metodických přístupů k dokumentaci a mapování kritických zátěží
- popis modelu kritických zátěží založeného na hmotnostní bilanci prvků v půdách

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- obecné charakterizace modelů v ochraně půdy a podzemní vody
- charakterizace konceptu kritických zátěží
- popisu metodických přístupů k dokumentaci a mapování kritických zátěží
- popisu a využití modelu kritických zátěží založeného na hmotnostní bilanci prvků v půdách

#### Budete schopni:

- obecně charakterizovat modely v ochraně půdy a podzemní vody
- charakterizovat koncept kritických zátěží
- popsat metodické přístupy k dokumentaci a mapování kritických zátěží
- popsat model kritických zátěží, který je založen na hmotnostní bilanci prvků v půdách

**Klíčová slova této kapitoly:** koncept kritických zátěží, dokumentace, mapování, hmotnostní bilanci prvků v půdách

#### Koncept kritických zátěží

Z hlediska ochrany půdy biotopů před účinky atmosférické depozice dusíku je důležité znát atmosférickou depozici, kritické zátěže a velikost překročení (o které je nezbytné snížit atmosférickou depozici síry a dusíku tak, aby nedocházelo k další devastaci přírodního prostředí acidifikací a eutrofizací). Informace o překročení kritických zátěží atmosférickou depozicí jsou základem pro tvorbu strategií směřujících k řešení ohrožení ekosystémů těmito látkami. Nejvýznamnějšími negativními procesy v přírodním ekosystému, které způsobují látky znečišťující ovzduší, jsou procesy acidifikace (okyselování) a eutrofizace.

Acidifikace je proces vnášení okyselujících látek do prostředí, obvykle vyjádřený v molární jednotce ( $\text{mol H}^+$ ). Projevuje se přímým:

- narušením listového parenchymu

- zvyšováním mobility hliníku a některých toxických prvků v půdě
- likvidací některých skupin mikroorganismů v půdě
- narušováním správné struktury půdy
- zhoršením příjmu nebo imobilizací základních živin z půdy
- mizením senzitivních druhů rostlin.

Eutrofizace je nadměrný přísun sloučenin dusíku a fosforu do ekosystému, v jehož důsledku dochází ke změnám živinových poměrů v půdě a vodě. Projevuje se negativně:

- v příjmu jiných nezbytných prvků (Mg)
- úbytkem některých skupin mikroorganismů (narušení rhizosféry)
- mizením senzitivních druhů rostlin typických pro chudá stanoviště

Limitní hranice eutrofizace dle EHK OSN jsou vyjádřeny "kritickou zátěží všech sloučenin dusíku". Kritická zátěž je definována jako „nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny vedoucí k dlouhotrvajícím škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystému“. Koncept kritických zátěží se stal základem pro mezinárodní program EHK/OSN Mapování a dokumentace kritických zátěží (nyní pod názvem mezinárodní program spolupráce pro modelování a mapování kritických zátěží a koncentrací – ICP pro modelování & mapování). Cílem tohoto mapovacího programu bylo stanovit úroveň snížení emisí sloučenin do ovzduší pro jednotlivé země, které jsou signatáři Úmluvy o dálkovém znečišťování ovzduší přecházejících hranice států. Mezinárodní vědecké úsilí bylo v roce 1999 v Göteborgu dovršeno přijetím protokolu k Úmluvě o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států z r. 1979 k omezování acidifikace, eutrofizace a tvorby přízemního ozónu. Tento protokol patří k nové generaci protokolů, jejichž omezení nejsou pouze administrativního charakteru, ale respektují také vlastnosti přírodního prostředí jednotlivých zemí charakterizované kritickými zátěžemi přirozených ekosystémů. Kritické zátěže lze považovat za indikátor setrvalého rozvoje ekosystémů, neboť stanovují maximálně přípustné množství škodlivin, které může ekosystém přijmout a při jejichž dodržování se snižuje riziko poškození všech jeho složek. Regionální vyhodnocení kritických zátěží se ukázalo jako velmi důležitý podklad pro definování nutné redukce okyselujících průmyslových emisí, a to jak na národní, tak mezinárodní úrovni.

### **Metodické přístupy k dokumentaci a mapování**

Dříve, než se začalo s modelováním kritických zátěží, byla na počátku těchto zpracování v roce 1990 použita metodika hodnocení senzitivity prostředí, která představovala relativní porovnání vlastností přírodního prostředí. Pro odhad redukce škodlivin v ovzduší byla poprvé zpracována mapa senzitivity prostředí s ohledem na acidifikaci. Tato mapa byla použita pro Protokol z roku 1994 o dalším redukcí emisí síry, který vstoupil v platnost v roce 1998. V dalších letech se rozvinula metodika jednoduchých hmotnostních bilancí (model SMB), která byla prezentována v technických zprávách Koordinačního centra pro účinky a metodika empirických kritických zátěží. Za účelem vyhodnocení kritických zátěží byla zpracována v zahraničí celá řada doporučených metodik. Jejich aplikace je většinou limitována dostupností dat, která vstupují do odpovídajících modelů. Při výběru vhodné metodiky je významná volba receptoru, tj. co chceme ochraňovat, a s tím související kritéria – limitní hodnoty koncentrací,

kteře by měly brát v úvahu především zdravotní a ekologická hlediska. Z výpočetních modelů jsou k dispozici:

- stacionární modely založené na hmotnostní bilanci daného chemického prvku
- dynamické modely, které umožňují sledovat i vývoj koncentrací prvku či sloučeniny v určité složce ekosystému v čase. Tyto modely jsou vhodné pro predikci stavu ekosystému podle předpokládaných depozičních scénářů.

S využitím výpočetních modelů se řeší problematika spojená s acidifikací a eutrofizací ekosystémů a akumulace či uvolňování těžkých kovů v přírodním prostředí. Pro vyhodnocení kritických zátěží nutričního dusíku jsou v současné době používány dvě metodiky:

- výpočtem podle hmotové bilance dusíku za předpokladu ustáleného stavu (dle mapovacího manuálu). Metoda je založena na odhadu rychlostí nejvýznamnějších procesů vstupu a výstupu dusíku v daném ekosystému.
- metodou výběru vhodných empirických kritických zátěží. Metoda představuje hodnocení na základě sledování změn ve funkci a struktuře ekosystémů.

### **Metoda jednoduchých hmotnostních bilancí (SMB model)**

Metodika výpočtu kritických zátěží založená na hmotové bilanci vodíkových iontů v lesních půdách předpokládá ustálený stav ekosystému. Princip výpočtu kritických zátěží je založen na hmotové bilanci vodíkových iontů v půdách za předpokladu ustáleného stavu (steady-state mass balance).

$$ANC_w + ANC_{ex} = A_d + A_{up} + ANC_l + AN \quad (3.1)$$

A = acidita (množství produkovaných vodíkových iontů)

ANC = alkalita (opak acidity, množství bazických kationtů)

ANC<sub>w</sub> = produkce alkality při zvětrávání primárních minerálů v půdě

ANC<sub>ex</sub> = produkce alkality při okyselování iontovýměnného komplexu půd

A<sub>d</sub> = atmosférická depozice vodíkových iontů

A<sub>up</sub> = produkce vodíkových iontů spotřebou bazických kationtů při růstu vegetace

ANC<sub>l</sub> = vyplavování alkality

AN = produkce vodíkových iontů při procesech přeměny dusíku v půdě

Pokud je atmosférická depozice rovna kritické zátěži, tedy ve stavu, kdy ještě nedochází k acidifikaci, je člen ANC<sub>ex</sub> = 0

Alkalita (ANC) neboli kyselinová neutralizační kapacita (KNK) je vlastně mírou stability pH. Hovoří se o ní také jako o pufrací kapacitě vody. Jak název „kyselinová neutralizační kapacita“ napovídá, čím větší je tento parametr, tím větší má voda (a látky v ní rozpuštěné) schopnost neutralizovat kyselinu, kterou do vody případně přidáme. Jednoduše řečeno, ve vodě bez této neutralizační schopnosti by každý uvolněný kationt H<sup>+</sup> způsobil patřičný pokles pH; ve vodě s dostatečnou alkalitou je pak nárůst H<sup>+</sup> kompenzován neutralizačními reakcemi a pH zůstává neměnné. Když je KNK vyčerpána, může přidání kyseliny způsobit pokles pH.

Voda s vysokou alkalitou bude mít vždy tendenci vracet se k původnímu vyššímu pH, i když přidáme větší množství „okyselovačů“.

Při hodnocení procesů acidifikace není možné se ve zpracování omezit pouze na působení sloučenin síry, protože také transformace sloučenin dusíku způsobují okyselování. Rovněž tak je výhodné řešit oba prvky současně, neboť vyhodnocení jejich limitních hodnot zátěže (kritických zátěží) dovoluje optimalizovat požadované snížení atmosférické depozice, případně dalších plošných zdrojů znečištění, včetně hnojení. Určení limitních hodnot zátěže pro síru a dusík je významné z hlediska vymezení maximálně přípustné zátěže pro daný ekosystém. Každý ekosystém charakterizovaný určitými půdními vlastnostmi, množstvím vody a dalšími toky, které jsou schopné okyselující sloučeniny neutralizovat, má jinou maximálně přípustnou zátěž okyselujících sloučenin, která je vymezena hodnotou maximální kritické zátěže pro síru, minimální kritickou zátěží pro dusík za předpokladu, že limitní hodnota pro nutriční dusík (kritická zátěž pro dusík jako živinu) je větší než maximální kritická zátěž pro dusík. V opačném případě hodnota kritické zátěže nutričního dusíku limituje atmosférickou depozici dusíku a kritická zátěž pro síru (minimální) limituje depozici síry (porovnej obr.3.1 a obr.3.2).

Maximální kritická zátěž síry  $CL_{\max}(S)$  se počítá podle následujícího vztahu:

$$CL_{\max}(S) = BC_w - (-BC_l) + BC_d - BC_{up} \quad (3.2)$$

$BC_w$  = rychlost zvětrávání při kritické úrovni atmosférické depozice (zátěže)

$BC_l$  = rychlost vyplavování bazických kationtů (dříve v textu jako alkalita) při úrovni kritické zátěže

$BC_d$  = atmosférická depozice bazických kationtů

$BC_{up}$  = spotřeba bazických kationtů při úrovni kritické zátěže

$$BC_l = - [H^+]_{(leach)} - [Al^{3+}]_{(leach.)} \quad (3.3)$$

$[H^+]_{(leach)}$  = vyplavování vodíkových iontů při kritické úrovni zátěže

$[Al^{3+}]_{(leach.)}$  = vyplavování vodíkových iontů spotřebovaných při rozpouštění alumosilikátových hornin při kritické zátěži

$$[H^+]_{(leach)} = Q * [H^+]_{(critical)} \quad (3.4)$$

$$[Al^{3+}]_{(leach.)} = Q * [Al^{3+}]_{(critical)} \quad (3.5)$$

$Q$  = odtok vody

$$CL_{\min}(N) = N_{up} + N_i \quad (3.6)$$

$N_{up}$  = spotřeba dusíku vegetací při kritické úrovni atmosférické depozice

$N_i$  = imobilizace dusíku při kritické úrovni atmosférické depozice

Limitující hodnotou lesních ekosystémů s ohledem na atmosférickou depozici dusíku je kritická zátěž tzv. nutričního dusíku  $CL_{nut}(N)$ , která kromě procesů imobilizace dusíku a spotřeby dusíku vegetací zohledňuje také vyplavování dusíku z půdy a denitrifikaci. Výpočet  $CL_{nut}(N)$  vyjadřuje následující vztah:

$$CL_{nut}(N) = N_{up} + N_i + N_l / (1 - f_{de}) \quad (3.7)$$

$N_{up}$  = spotřeba dusíku vegetací při kritické úrovni atmosférické depozice

$N_i$  = imobilizace dusíku při kritické úrovni atmosférické depozice

$N_l$  = vyplavování dusíku při kritické úrovni atmosférické depozice

$f_{de}$  = faktor denitrifikace

$$CL_{max}(N) = CL_{min}(N) + CL_{max}(S) / (1 - f_{de}) \quad (3.8)$$

$CL_{max}(N)$  = maximální kritická zátěž dusíku

$CL_{max}(S)$  = maximální kritická zátěž síry

$N_{l(critical)}$  = vyplavování dusíku při kritické úrovni atmosférické depozice

$CL_{min}(N)$  = minimální kritická zátěž dusíku

$f_{de}$  = faktor denitrifikace

Vzhledem ke skutečnosti, že pro lesní ekosystémy ČR je limitující hodnotou pro atmosférickou depozici dusíku kritická zátěž dusíku jako živiny, tj.  $CL(N)_{nut}$ , musí být výpočet celkové kritické zátěže S a N  $CL(S, N)$  proveden podle rovnice (3.9) s využitím hodnot minimální kritické zátěže pro síru  $CL(S)_{min}$ . Výpočet  $CL(S)_{min}$  znázorňuje rovnice (3.10).

$$CL(S, N) = CL(S)_{min} + CL(N)_{nut} \quad (3.9)$$

$CL_{min}(N)$  = minimální kritická zátěž dusíku

$CL_{nut}(N)$  = kritická zátěž nutričního dusíku

$$CL(S)_{min} = CL(S)_{max} - N_{l(critical)} \quad (3.10)$$

$N_{l(critical)}$  = vyplavování dusíku při kritické úrovni atmosférické depozice

$CL_{\max}(S)$  = maximální kritická zátěž síry

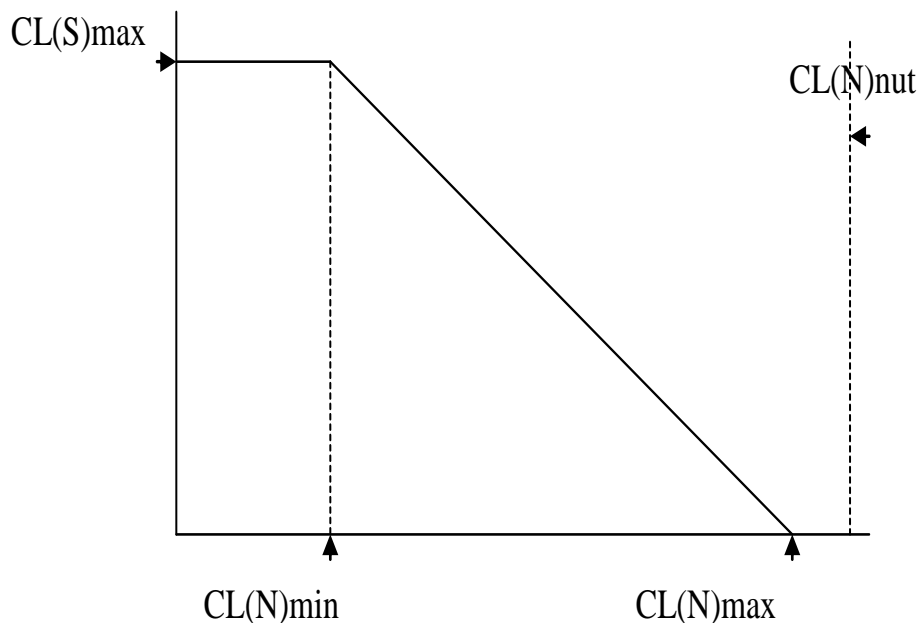
Pro vyhodnocení kritických zátěží i pro výsledné překročení se používá zpravidla součtu kritických zátěží pro S a N a součtu celkové aktuální zátěže S a N vyjádřené v ekvivalentech ( $mol_e$ ). V případě situace schematicky znázorněné na obr. 3.1:

$$CL(S, N) = CL(S)_{\max} + CL(N)_{\min}. \quad (3.11)$$

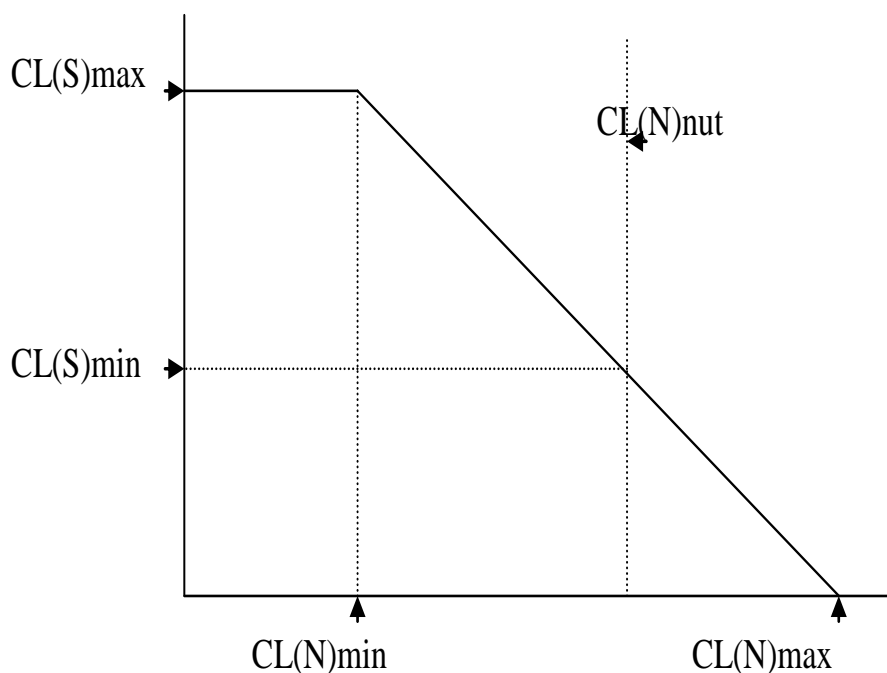
Pro situaci vyjádřenou na obr. 3.2:

$$CL(S, N) = CL(S)_{\min} + CL(N)_{\text{nut}}. \quad (3.12)$$

Suma aktuální zátěže sírou a dusíkem je vyjádřena součtem suché i mokré depozice síry a dusíku pro vyhodnocení lesních ekosystémů a pro zemědělské půdy se počítá celková atmosférická depozice sloučeninami síry a dusíku („bulk“) a zátěž S a N z hnojení. V případě hodnocení lesních ekosystémů je výsledné překročení rozdílem mezi aktuálními depozicemi síry a dusíku a sumou kritických zátěží danou minimální kritickou zátěží pro síru a kritickou zátěží pro nutriční dusík. Výpočet výsledného překročení naznačuje rovnice (3.11).



Obr.3.1  $CL(S, N) = CL(S)_{\max} + CL(N)_{\min}$



Obr. 3.2  $CL(S, N) = CL(S)_{min} + CL(N)_{nut}$

#### Empirické kritické zátěže

Přebytek dusíku může v terestrických i vodních ekosystémech vyvolávat jak acidifikaci, tak eutrofizaci v závislosti na rychlostech fyzikálních, chemických a biologických procesů, kterými jsou sloučeniny dusíku z atmosférické depozice v daném typu ekosystému vystaveny. Poslední výsledky výzkumu poukazují na skutečnost, že v přirozených i polopřirozených ekosystémech dochází ke změnám v druhové skladbě vegetace, která vede ke snížení biodiversity a nárůstu nitrofilních druhů. Návrat těchto ekosystémů do původního (udržitelného) stavu potrvá velmi dlouho a často pouze za přispění nákladných opatření vedoucích ke snížení cyklu dusíku. Z těchto důvodů je velmi potřebné znát kritické zátěže dusíku pro daný typ ekosystému, které nepovedou ke změnám druhového složení vegetace a k negativnímu zvýšení cyklu dusíku.

Koncept empirických kritických zátěží pro zjišťování účinků atmosférické depozice dusíku na přirozené a polopřirozené typy ekosystémů byl poprvé prezentován v roce 1992 na mezinárodním semináři organizovaném pod záštitou CLRTAP UNECE v Lökebergu ve Švédsku. S ohledem na současný vývoj atmosférické depozice okyselujících sloučenin, kdy od poloviny devadesátých let minulého století výrazně poklesla atmosférická depozice síry, zatímco atmosférická depozice dusíku zaznamenala v posledních letech jen mírné zlepšení, se problematika kritických zátěží přesunula především na sledování nutričního dusíku a s ním spojenou eutrofizaci přirozených ekosystémů.

Z hlediska kritických zátěží, obecně, jsou nejdůležitějšími parametry rychlost vyplavování dusíku vodou a odnimaní dusíku biomasou – plodinami či těžbou dřeva. Čím vyšší je odnos dusíku (nebo jiného prvku) biomasou, tím vyšší jsou také hodnoty kritických zátěží. Avšak mnoho přirozených ekosystémů se neobhospodařuje, a právě proto patří k unikátním přírodním biotopům. Tyto biotopy mají relativně velmi nízké hodnoty kritických zátěží dusíku.

Rychlost vyplavování dusíku z půdy je také jedním z kritérií při výpočtu kritických zátěží založeném na bilanci dusíku a čím je vyšší, tím jsou také vyšší výsledné hodnoty kritických zátěží. Ale nejvíce zranitelné ekosystémy (tzv. ekosystémy limitované dusíkem) se vyskytují právě v oblastech s vysokými srážkovými úhrny. Jsou to ekosystémy s velmi lehkými, dobře drenujícími půdami. Toto hledisko bylo uvažováno také při vyhodnocení empirických kritických zátěží. Rozsah empirických kritických zátěží zahrnující vybrané typy ekosystémů (Tab. 3.1) je poměrně značně široký a pohybuje se od 5 do 25 kg N ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>. Je však možné jej detailněji rozdělit podle základních environmentálních podmínek, jako je např. teplota, půdní vlhkost, zásoba bazických kationů a fosforu v půdě, způsob obhospodařování.

Tab.3.1. Rozsahy empirických kritických zátěží pro hodnocení vybraných typů ekosystémů.

Typ ekosystému	Rizika překročení	Rozsah CL(N) <sub>emp</sub> (kg ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup> )	Rozloha v ČR (km <sup>2</sup> )
<b>Lesní ekosystémy (G)</b> listnaté lesy, jehličnaté lesy, smíšené lesy	Změny v půdních procesech, podkorunové vegetace, mikorhíz a riziko zvýšení živin	10 - 20	30222,65
			3045,11
			20578,79
<b>Vřesoviště (F4)</b> suchá vřesoviště, alpínská a subalpínská vřesovištní vegetace	Likvidace lišejníků a mechů, přeměna vřesovišť na trávníky	5 - 20	6598,75
			39,00
<b>Vrchoviště a rašeliniště (D4)</b>	Změny druhového složení, redukce mechů, zvýšení počtu vysokých bylin, snížení biodiversity	5 – 25	25,76
			13,24
<b>Louky (E 5.1)</b> suché acidofilní až neutrální uzavřené trávníky a suché acidofilní až neutrální otevřené trávníky, středně vlhké louky, horské sečené louky, sezónně či stále vlhké louky	Snížení biodiversity, zvýšení počtu vysokých bylin, zvýšení počtu nitrofilních druhů	10 – 25	89,77
			7636,66
			15,44
<b>Louky (E 5.4)</b> alpínské a subalpínské louky	Snížení biodiversity, zvýšení počtu vysokých bylin, zvýšení počtu nitrofilních druhů	10 - 15	7242,44
			3,66
			375,34
			1794,96



### Kontrolní otázky:

1. Charakterizujte modely v ochraně půdy a podzemní vody.
2. Co je to kritická zátěž?
3. Popište metodické přístupy k dokumentaci a mapování kritických zátěží.
4. Popište využití modelu kritických zátěží založeného na hmotnostní bilanci prvků v půdách.
5. Co je to kyselinová neutralizační kapacita a jaký význam má pro modelování kritické zátěže.
6. Co je to kritická zátěž nutričního dusíku?



### Úkoly k zamyšlení:

Vysvětlete proč musíme při hodnocení kritické zátěže acidity vyhodnocovat působení síry a dusíku současně.



### Korespondenční úkol:

Pro území vybraného biotopu (viz korespondenční úkol z kapitoly 5) stanovte empirickou kritickou zátěž dusíku a vypočítejte překročení empirické kritické zátěže atmosférickou depozicí sloučenin dusíku pro rok 2019 (atmosférická depozice dusíku byla vypočtena v rámci korespondenčního úkolu v kapitole 2). Stanovte potenciální rizika překročení empirické kritické zátěže atmosférickou depozicí dusíku.

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s modely v ochraně půdy a podzemní vody, popisem konceptu kritických zátěží, metodickými přístupy k dokumentaci a mapování kritických zátěží, popisem modelu kritických zátěží, který je založen na hmotnostní bilanci prvků v půdách, popisem metody stanovení empirických kritických zátěží dusíku.

### Literatura:

Zapletal, M., Skořepová, I.: Vývoj atmosférické depozice síry a dusíku s ohledem na kritické zátěže síry a dusíku v České republice v letech 1994 a 1998. *Ochrana ovzduší*, roč. 13(2001), č. 4, s. 1 – 9, 2001.

Zapletal, M.: Historický vývoj atmosférické depozice síry a dusíku v České republice. Slezská univerzita v Opavě, Opava 2014, 136 s.

UBA: Manual on Methodologies and Criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollutions effects, risks and trends. Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), Texte 52/04, Berlin, 2004.



---

## CÍL KAPITOLY

### 4. Environmentální modely v ochraně vody

- vysvětlit princip jednoduchých a pokročilých modelů pro simulaci chování a osud látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí
- popsat říční a jezerní modely
- charakterizovat vstupní data, chemická data a terénní data
- popsat bilanční metodu hodnocení látkových toků v síti malých povodí v rámci programů monitoringu povodí
- popsat metodiku odběrů a analýz vzorků a jejich využití v modelování látkových toků

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- jednoduchých a pokročilých modelů pro simulaci chování a osudu látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí
- popisu říčních a jezerních modelů
- charakterizace vstupních dat, chemických dat a terénních dat
- popisu bilanční metody hodnocení látkových toků v síti malých povodí v rámci programů monitoringu povodí
- popisu metodiky odběrů a analýz vzorků a jejich využití v modelování látkových toků

#### Budete schopni:

- vysvětlit princip jednoduchých a pokročilých modelů pro simulaci chování a osud látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí
- popsat říční a jezerní modely
- charakterizovat vstupní data, chemická data a terénní data
- popsat bilanční metodu hodnocení látkových toků v síti malých povodí v rámci programů monitoringu povodí
- popsat metodiku odběrů a analýz vzorků a jejich využití v modelování látkových toků
- **Klíčová slova této kapitoly:** jednoduchý a pokročilý model, vstupní data, chemická data, terénní data, malá povodí, látkový tok

Environmentální modely v ochraně vody simulují chování a osud látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí. Mnoho modelů je založeno také na pouhém rozptylu toku znečišťujících látek, protože ostatní zdroje přispívají k celkovému vstupu pouze málo a těžce odhadnutelně.

### **Jednoduché modely**

Jednoduché rozptylové modely předpokládají homogenní distribuci látek ve vodním tělese tj. pro jeden případ je vypočítána jen jedna průměrná koncentrace. Místně specifické modely dokáží vypočítat koncentrační profil ve vodním tělese. Všechny modely kromě základních zahrnují proudění, rozptyl a jeden nebo více transportních či transformačních procesů jako je vypařování, adsorpce sedimentem a biodegradace.

Koncentrace chemikálií vypouštěných kontinuálně podél toku řeky se dají vypočítat zřed'ovacími modely. Simulace zahrnuje relativně velké regiony, typicky celý stát a může být prováděna na různých stupních spolehlivosti.

### **Pokročilé modely**

Lepší odhad expozičních koncentrací může být získán použitím rozdělení proudových zřed'ovacích faktorů. Ty mohou být získány ze statistického zhodnocení obsáhlých dat popisujících proudy výpustí odpadů ve všech bodech podél řeky včetně sezónních změn. Tato koncepce byla vyvinuta v USA a je používána např. v US EPA modelu PDM3 (Probablistic Dillution Model Version 3).

Model PG ROUT bere v úvahu proudění, rozptyl, adsorpci a degradaci ve vodním tělese. Umožňuje výpočet koncentrace chemických látek ve vodním toku směrem od výpustě. Říční zřed'ovací modely používající pokročilejší aproximace zřed'ovacích faktorů prezentují výsledky jako frekvenční distribuci expozičních koncentrací v simulované oblasti. Výpočty mohou být provedeny pro různé podmínky toku.

Místně specifické modely jsou vytvářeny na předpověď koncentrací v dobře definovaném prostředí. Tyto modely jsou charakteristické používáním velkých souborů dat popisujících simulované místo a matematický systém, který dělí prostředí na několik geometrických elementů (boxové nebo mřížkové modely).

### **Říční a jezerní modely**

Nejběžnější modely v této kategorii jsou např. EXAMS (Exposure Analysis Modelling System) a WASP4 (Water Analysis Simulation Programme). Boxový model EXAMS byl vyvinut US EPA jako první kombinující transportní a transformační procesy ovlivňující osud a chování látek v povrchových vodách v jednom modelu. WASP4 je podobný model

umožňující simulovat časově proměnné toky, ústí řek a pobřežní vody. Vzhledem ke složitosti potřebují tyto modely odpovídající objem dat.

### **Modely ústí řek**

Ústí řek má mnoho charakteristik, kterými se řeky od sebe odlišují a má velký vliv na osud látek. Hlavně je to přítomnost velkého množství vody použitelného pro zředění. Tyto modely odhadují koncentraci v jednotlivých segmentech podél ústí. Potřebná data jsou hloubka a šířka v ústí mezi hranicí přílivu a koncem ústí a průtok.

### **„Spill“ modely**

Jsou určeny pro výpočet distribuce a koncentrace látek vypouštěných do životního prostředí při haváriích. Většinou používají jen malá časová měřítka a akutní toxické efekty. Mohou být užitečné také na plánování skladování a manipulace s látkami.

Procesy důležité v havarijních situacích záleží hlavně na rozpustnosti, tlaku nasycených par a hustotě látky. Pro rozpustné látky jsou nejdůležitější procesy proudění a rozptyl. Málo rozpustné látky mohou pokrýt velké plochy. Stupeň pokrytí záleží na hustotě látky a povrchovém napětí. Pro takové látky může být důležité vypařování. (Shell model Chemspil).

### **Vstupní data**

Jsou to data charakterizující chemickou látku, simulující životní prostředí a vstup. Rozptylové modely vyžadují ročně vypouštěné množství látek a jejich frakci v odpadních vodách a jejich odstraňování v různých typech čistíren odpadních vod.

### **Chemická data**

Jsou to hlavně molekulová hmotnost, teplota tání a varu, rozpustnost ve vodě, disociační konstanta, parametry na výpočet sorpce na sediment a biomasu, vytěkávání, fototransformace, hydrolýza, oxidační a biodegradační reakce.

### **Terénní data**

Terénní data záleží na komplexnosti modelu. Zředovací modely vyžadují proudový zředovací faktor (SDF). Může být odhadnut jako jedna hodnota pro celý region, nebo více vyspělé přístupy vyžadují řadu hodnot z jednotlivých výpustí podél toku.

Další místně specifická vstupní data mohou obsahovat systém geometrie a hydrologie, jako je hloubka řeky nebo jejího ústí, hloubka vodního sloupce, objem vody, počáteční tok, ostatní přítoky a množství přinášených sedimentů, distribuce salinity, množství deště, rychlost vypařování, rychlost větru, množství biomasy, pH, teplota, koncentrace suspendovaných

částic, iontově výměnná kapacita sedimentu, rozpuštěná organická hmota, obsah kyslíku a odtokové a rozptylové transportní parametry.

Modelovací a simulační techniky byly použity v oblasti životního prostředí pro více než tři desetiletí. První aplikace vyplynuly z řízení vodních zdrojů.

## **Programy monitoringu povodí**

### **LTER – dlouhodobý ekologický monitoring (USA)**

Dlouhodobý ekologický monitoring dynamiky přirozených ekosystémů během dlouhých časových úseků. Koloběh živin je silně regulován vegetací. Byly měřeny vstupy a výstupy klíčových minerálů v 6 údolích. Byl proveden sběr srážek a hodnoceno množství vody a koncentrace rozpuštěných látek, které přichází do ekosystému. Byly vytvořeny malé betonové přehradky na dně každého údolí. 60 % vody opouští údolí skrze vodní toky. 40 % se ztrácí transpirací rostlin, vypařováním z jiných organismů a vypařováním půdy. Množství živin opouštějící neporušený lesní ekosystém je regulováno samotnými rostlinami. V roce 1966 bylo 15.6 ha plochy lesa vykáceno. Při porovnání s kontrolním povodím došlo k nárůstu odtoku o 30 až 40 %. Došlo k obrovským ztrátám minerálů a nárůstu koncentrace dusičnanů v odtoku. Z důvodu nepřítomnosti rostlin v hodnocené lokalitě došlo k obrovským ztrátám živin.

### **GEOMON - program hodnocení látkových toků v síti malých povodí (Česká geologická služba (ČGS))**

Existence života na Zemi je závislá na recyklaci esenciálních chemických prvků. Cykly chemických látek probíhají mezi biotickými i abiotickými složkami ekosystémů, proto se někdy označují jako biogeochemické cykly. Povodí slouží jako jednotka studia, ve které je hodnocena bilance živin. Společenstva získávají a ztrácejí živiny různými způsoby. Bilance (úhrn zisků a ztrát) můžeme určit, známe-li všechny procesy k nimž dochází na obou stranách rovnice živin:

1. vstupy = výstupy

2. vstupy – výstupy = zásoby

3. výstupy – vstupy = ztráty.

Řešení dlouhodobého projektu integrovaného monitoringu, jehož nutným předpokladem k získání srovnatelných dat je dodržení jednotné odběrové a analytické metodiky, bylo zahájeno v polovině roku 1993 výběrem sítě dvanácti vhodných lesních povodí. Důvodem k výběru lesních povodí byla skutečnost, že les je v našich podmínkách nejlepším přiblížením přirozenému ekosystému, ale zároveň vykazuje náchylnost k okyselování zejména ve

smrkových monokulturách, kde je ovšem přirozenost ekosystému již narušena. Povodí jsou rozmístěna na území České republiky tak, že postihují různé krajinné typy a oblasti s různou úrovní regionální imisní zátěže a tedy s různým stupněm degradace lesů. Jejich výběr se řídil požadavky hydrologické definovanosti, relativní geologické homogenity a absence lokálních zdrojů antropogenního znečištění. Povodí velikosti desítek až nižších stovek hektarů jsou lokalizována v oblasti: Šumavy (povodí Na lizu LIZ a Spálenec SPA), Slavkovského lesa (Lysina LYS a Pluhův bor PLB, lišící se výrazně liší typem geologického podloží žula, serpentinit), Krušných hor (Jezeří JEZ), Jizerských hor (Uhlířská UHL), Krkonoš (Modrý potok MOD), Orlických hor (U dvou louček UDL), Beskyd (Červík CER), Českomoravské vrchoviny (povodí Anenský potok ANE, Salačova Lhota SAL, Loukov LKV), Železných hor (Polomka POM) a Benešovské pahorkatině (Lesní potok LES).

### **Metodika odběrů vzorků, analýz a výpočtů látkových toků**

Základní program pravidelných sledování v jednotlivých povodích sítě je následující: odběry měsíčních kumulativních vzorků srážek na volné ploše, odběry měsíčních kumulativních vzorků podkorunových srážek – směsný vzorek z pravidelné sítě devíti odběrových zařízení k postižení variability hustoty vegetace, odběry vzorků odtoku v závěrovém profilu povodí v měsíčních intervalech, pořizování údajů o měsíčních úhrnech srážek na volné ploše, pořizování údajů o měsíčních úhrnech podkorunových srážek, kontinuální záznam výšky hladiny v závěrovém profilu povodí a zjištění průměrných denních průtoků z konsumpční křivky. Odběrová a analytická metodika je v celé síti povodí jednotná, což výrazně zvyšuje spolehlivost pořizovaných dat a jejich vzájemnou srovnatelnost. Vzorky srážkových vod na volné ploše se odebírají zařízením typu VOSS vyvinutým a vyzkoušeným v České geologické službě. Pro kontinuální záznam výšky hladiny, z níž se podle konsumpční křivky odečítají průtoky, jsou povodí vybavena v závěrovém profilu měrnými přepady osazenými limnigrafy.

Přesné hydrologické údaje jsou kritické pro výpočty látkových toků. Odběr vzorku odtoku se provádí na přelomu měsíce tak, aby mohl být doručen do centrálního pracoviště současně s kumulativními měsíčními vzorky srážek. V akreditované laboratoři České geologické služby se provádějí ve všech vzorcích následující stanovení: Na, K, Mg, Ca, Mn, Al,  $\text{NH}_4^+$ , Cl,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , F, Cd, Pb, Cu.

### **Stanovení odtoku, odběr a analýza povrchových vod**

Výpočty látkových toků ze vstupu látek do povodí definované velikosti srážkami na volné ploše a podkorunovými srážkami a výstupu z povodí povrchovým odtokem se provádějí ze souboru dat z jednoho hydrologického roku (od 1. listopadu do 31. října následujícího roku). Jedná se o měsíční údaje o koncentracích sledovaných složek v obou typech srážek a v odtoku, údaje o měsíčních úhrnech obou typů srážek a průměrné denní průtoky.

Odhad dlouhodobého ročního průměrného průtoku A ( $\text{m}^3 \text{rok}^{-1}$ ):

$$A = Q_a * 86\,400 * 365 \text{ [m}^3 \text{rok}^{-1}\text{]} \quad (4.1)$$

$Q_a$  ( $m^3 s^{-1}$ ) - dlouhodobý průměrný průtok

86 400 = počet sekund v jednom dni, 365 = počet dnů v roce

Výpočet srážky na plochu povodí za rok  $B$  ( $m^3$ ):

$$B = P_a A [m^3] \quad (4.2)$$

$P_a$  (mm) - dlouhodobý (popř. aktuální) srážkový úhrn

$A$  ( $m^2$ ) - plocha povodí vztažená k závěrečnému profilu

Výpočet koeficientu odtoku  $k$  :

$$k = C / B \quad (4.3)$$

$C$  ( $m^3 rok^{-1}$ ) - roční průměrný průtok,  $B$  ( $m^3$ ) srážky na povodí za rok

Odtoková výška  $V$  (mm), která odtekla vodotečí je vypočtena takto:

$$V = P_0 (\text{nebo } P_a) k [mm] \quad (4.4)$$

$P_0$  - roční úhrn srážek (nebo  $P_a$  dlouhodobý srážkový úhrn)

Odběry povrchových vod jsou prováděny v době odtávání sněhové pokrývky (jaro), po odtání sněhové pokrývky (jaro), po letních deštích, po výskytu intenzivnějších srážek po delším bezsrážkovém období (podzim).

Depozice daného elementu se vypočte jako součet dvanácti měsíčních depozic v jednotkách  $mg m^{-2}$ , získaných vynásobením koncentrace v  $mg l^{-1}$  měsíčním úhrnem srážek (na volné ploše či podkorunových) v mm ( $= 1 m^{-2}$ ). Výsledkem je pro každou složku údaj v jednotkách  $kg ha^{-1} rok^{-1}$ . Depozice ( $D_i$ ) složky  $i$  na jednotku plochy povodí ( $kg ha^{-1} rok^{-1}$ ) se vypočte podle vztahu:

$$D_i = c_i u_j, \quad (4.5)$$

kde  $c_i$  je koncentrace složky v měsíčním kumulativním vzorku ( $mg l^{-1}$ ),  $u_j$  je měsíční srážkový úhrn ( $mm = 1 m^{-2}$ ),  $j$  je počet odběrů.

Depozice síry (jejíž podstatnou část představuje záchyt plynného  $SO_2$  korunami stromů) a vodíkových iontů se počítá poměrně podle zastoupení zalesněné a nezalesněné části povodí jako kombinace depozice podkorunovou srážkou a srážkou na volné ploše.

Pro výpočet velikosti ročního odtoku složek je třeba vypočítat z průměrných denních průtoků celkový roční odtok (v m<sup>3</sup>).

Z koncentrací při jednotlivých měsíčních odběrech a okamžitých průtoků se vypočte vážený průměr, z něhož se vynásobením ročním odtokem a vydělením plochou povodí zjistí odtok složky i z jednotky plochy povodí (O<sub>i</sub>) v jednotkách kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>:

$$O_i = c_i q_j V / P \quad (4.6)$$

kde c<sub>i</sub> je koncentrace složky i v odebraném vzorku (mg l<sup>-1</sup>), q<sub>j</sub> je aktuální průtok při odběru vzorku (l s<sup>-1</sup>), V je roční odtok vody z povodí (m<sup>3</sup>), P je plocha povodí (ha), j je počet odběrů.

Rozdíl vstup minus výstup pak vypovídá o akumulaci dané složky v povodí v případě kladné hodnoty, v případě hodnoty záporné o jejím vyplavování. Za jeden hydrologický rok je získán pro každé povodí soubor dat o srážkách, podkorunových srážkách a odtoku. Soubor obsahuje měsíční údaje o koncentracích sledovaných složek, roční vážené průměry, příslušné hydrologické údaje tj. měsíční srážkové úhrny obou typů srážek, aktuální průtoky při odběru a denní průtoky získané z kontinuálního záznamu výšky hladiny v závěrovém profilu povodí a z konsumpční křivky, dále vypočtené měsíční látkové toky a výsledné roční látkové toky v jednotkách kg/ha/rok. Depozice daného elementu se vypočte jako součet dvanácti měsíčních depozic v jednotkách mg m<sup>-2</sup>, získaných vynásobením koncentrace v mg l<sup>-1</sup> měsíčním úhrnem srážek (na volné ploše či podkorunových) v mm (= l m<sup>-2</sup>). Výsledkem je pro každou složku údaj v jednotkách kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

### **Příklad bilance látkových toků malých povodí v lokalitě Červenohorské sedlo a Divoká Desná**

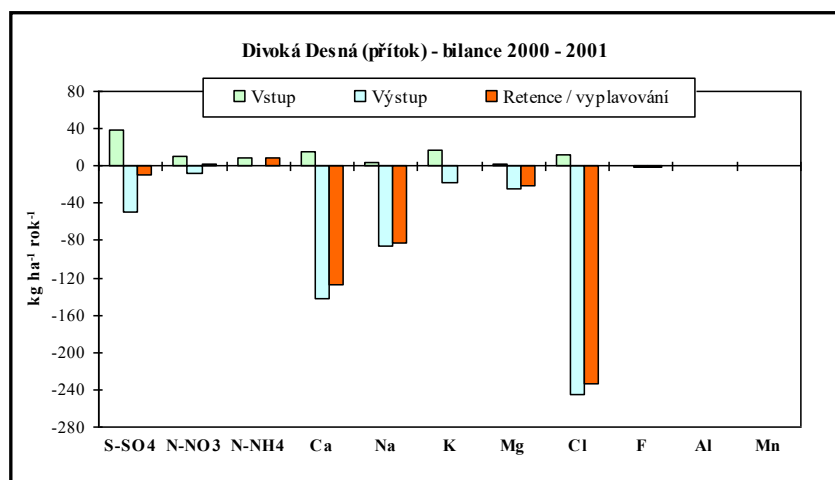
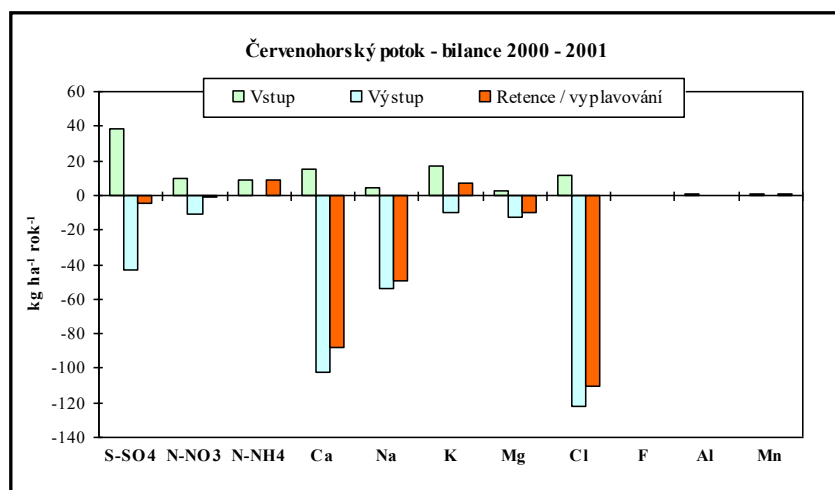
V tab. 4.1 a v grafu na obrázku 4.1 je zobrazena hydrogeochemická bilance povodí Červenohorského potoka a Divoké Desné v kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup> (průměr z let 2000 a 2001).

Tab. 4.1. Průměrné roční látkové toky v povodí Červenohorského potoka (ČHP) a Divoké Desné (DES) (průměr z let 2000 a 2001) v kg ha<sup>-1</sup> rok<sup>-1</sup>.

2000 - 2001	Vstup	Odtok		Bilance	
		ČHP	DES	ČHP	DES
jednotky	kg ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup>				
S-SO <sub>4</sub>	38,55	-42,86	-48,66	-4,32	-10,11
N-NO <sub>3</sub>	4,63	-10,58	-7,80	-5,94	-3,17
N-NH <sub>4</sub>	6,93	-0,12	-0,16	6,81	6,76
Ca	3,48	-102,64	-142,63	-99,17	-139,15
Na	8,46	-54,16	-86,48	-45,70	-78,02
K	2,33	-10,03	-17,44	-7,70	-15,11
Mg	0,75	-12,37	-24,06	-11,62	-23,31
Cl	12,11	-122,04	-244,81	-109,93	-232,70



<b>F</b>	0,29	-0,40	-1,88	-0,11	-1,59
<b>Al</b>	0,24	-0,23	-0,35	0,01	-0,11
<b>Mn</b>	0,03	-0,06	-0,02	-0,02	0,01



Obr. 4.1. Hydrochemická bilance povodí Červenohorského potoka a Divoké Desné v  $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ , průměrné hodnoty z let 2000 a 2001.

Nevyvážená (záporná) bilance chloridů v závěrečných profilech povodí Červenohorského potoka i Divoké Desné v letech 2000 a 2001 signalizuje významný zdroj sloučenin chloru v půdě. Chlor je aniontem, který za běžných podmínek nemá na svorovém podloží přirozený zdroj a ani se v ekosystému nespotebovává. Ve vzorcích povrchových vod odebíraných na pramenech obou povodí nebyla zjištěna přítomnost chloridů. Tato skutečnost naznačuje možný antropogenní původ chloridů vstupujících do povodí. V případě Divoké Desné je možným zdrojem zimní údržba komunikací aplikací především chloridu sodného NaCl a v případě Červenohorského potoka blízkost lyžařského areálu. Reaktivní schopnost aniontů

chloru a následný odtok chloridů vyskytujících se nejčastěji ve formě chloridu vápenatého ( $\text{CaCl}_2$ ) a chloridu sodného ( $\text{NaCl}$ ) s největší pravděpodobností ovlivňují množství sodíku a vápníku analyzovaného v povrchové vodě odtékající z povodí. Z tohoto důvodu může docházet ke zkreslení bilancí bazických kationtů. Skutečné množství vyplavovaných bazických kationtů (hlavně Ca a Na) bude nejspíše menší.

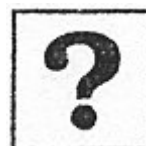
Odtok síry z povodí naznačuje nízkou síranovou sorpční kapacitu půdy a zhoršené podmínky pro neutralizaci kyselé atmosférické depozice. Spuštěný acidifikační proces projevující se rychlejším zvětváváním hornin v důsledku vyšší kyselosti půd je indikován vyplavováním bazických kationtů z půdy. Tento proces může být urychlován vyššími srážkovými úhrny v oblasti Červenohorského sedla a může vést až k vyčerpání zásob bazických kationtů v sorpčním komplexu půd indikované mobilizací toxického hliníku z minerálního horizontu. Hydrochemická bilance v roce 2001 naznačuje, že v povodích Červenohorského potoka a Divoké Desné by k vyplavování hliníku z půdního horizontu do povrchových vod mohlo docházet, je ale třeba tuto skutečnost ověřit v delší časové řadě.

V průměru (v letech 2000 a 2001) záporná bilance dusičnanového dusíku v obou povodích signalizuje špatný zdravotní stav lesního ekosystému. Amoniakální dusík je v obou povodích akumulován – vstupuje do biochemických cyklů lesního ekosystému.

V souvislosti s výše uvedenými pozorováními je nutno zdůraznit, že k potvrzení některých tendencí, především vyplavování síry, dusíku a hliníku z povodí je potřeba průběžně monitorovat a vyhodnotit hydrogeochemickou situaci v lokalitě Červenohorské sedlo v delší časové řadě.

### Kontrolní otázky:

1. Vysvětlíte princip jednoduchých a pokročilých modelů pro simulaci chování a osudu látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí.
2. Popište říční a jezerní modely.
3. Charakterizujte vstupní data, chemická data a terénní data.
4. Popište bilanční metodu hodnocení látkových toků v síti malých povodí v rámci programů monitoringu povodí.
5. Popište metodiku odběrů a analýz vzorků a jejich využití v modelování látkových toků.



### Úkoly k zamyšlení:

Co mají společné a v čem se liší programy monitoringu povodí GEOMON a LTER.



### Korespondenční úkol:

Povodí Jezeří, která je součástí Krušných hor, bylo dlouhodobě vystavené extrémní depozici síry i po částečném snížení depozičního vstupu po roce 1997 nebylo schopno akumulovat síru



a v důsledku toho docházelo k vyplavování síranů do povrchových vod. Výsledkem byla silná acidifikace povrchových vod, která se projevovala nižší hodnotou pH (5,58) a také až extrémně nízkou alkalitou (89  $\mu\text{mol/l}$ ), která je třikrát nižší než v jiných srovnatelných lokalitách. Rulové jádro je obklopeno obalem svorové a fylitové serie s variskými hlubinnými vyvřelinami. Podloží rudolického povodí Jezeří tvoří dvojslídne ruly na kterých je vyvinuta velmi silně kyselá kambize. Jedná se o kyselou horninu s vysokým obsahem křemene, která je primárně chudá na živiny, bazické kationty. Půdy jsou velmi silně ovlivněny acidifikací, projevuje se zde nedostatek bazických kationtů (Ca, Mg, K, Na), hodnota sorpčního komplexu je nízká, půdy jsou silně sorpčně nenasyceny. V tab. 4.2 jsou uvedeny vstupy (depozice) a odtoky povodí Jezeří v  $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$  (průměr z let 1994 - 2000). Vypočítejte a vyhodnoťte graficky a slovně hydrogeochemickou bilanci povodí Jezeří (lokalita Rudolice), která je součástí Krušných hor.

Tab. 4.2 Průměrné roční látkové toky v povodí Jezeří (Rudolice) (průměr z let 1994 až 2000) v  $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$ .

Látkové toky v povodí Jezeří (Rudolice) v $\text{kg ha}^{-1} \text{rok}^{-1}$		
1994-2000	Vstup	Odtok
S-SO <sub>4</sub>	19,27	65,6
N-NO <sub>3</sub>	5,8	4,5
N-NH <sub>4</sub>	7,48	0,04
Ca	4,23	53,6
Na	2,48	18,7
K	2,16	5,9
Mg	0,98	15,8
Cl	5,53	10,25
F	0,92	1,14
Al	0,77	1,46
Mn	0,10	0,14

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s principem jednoduchých a pokročilých modelů pro simulaci chování a osud látek vstupujících do prostředí odpadními výpustěmi z domácností nebo průmyslu, splachem z povrchu nebo atmosférickou depozicí, s popisem říčních a jezerních modelů, charakteristikou vstupních, chemických a terénních dat, popisem bilanční metody hodnocení látkových toků v síti malých povodí v rámci programů monitoringu povodí, popisem metodiky odběrů a analýz vzorků a jejich využití v modelování látkových toků.

### Literatura:



Zapletal, M., Kuňák, D., Chroust, P., Pacl, A.: Hydrochemická bilance látkových toků v lokalitě Červenohorské sedlo (Hrubý Jeseník). In: Program a sborník konference Ovzduší '2003, Brno, 5. – 7. 5. (editor Holoubková). Masarykova univerzita v Brně, Brno, 2003, s. 158 – 168, 2003.



## CÍL KAPITOLY

### 5. Environmentální informační systémy v ochraně přírody a krajiny

- vysvětlení významu mezinárodních monitorovacích programů v ochraně přírody a krajiny
- charakterizace programu ICP Forest a Forest Focus
- popis metodiky sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy
- charakterizace programu CORINE a Natura 2000
- charakterizace informačního systému ISOP a CITES

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- významu mezinárodních monitorovacích programů v ochraně přírody a krajiny
- charakterizace programu ICP Forest a Forest Focus
- metodiky sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy
- charakterizace programu GEOMON, CORINE a Natura 2000
- charakterizace informačního systému ISOP a CITES

#### Budete schopni:

- vysvětlit význam mezinárodních monitorovacích programů v ochraně přírody a krajiny
- charakterizovat program ICP Forest a Forest Focus
- popsat metodiku sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy
- charakterizovat program GEOMON, CORINE a Natura 2000
- charakterizovat informační systém ISOP a CITES

**Klíčová slova této kapitoly:** monitorovací program, ICP Forest, Forest Focus, program GEOMON, program Corine, program Natura 2000

### Monitorovací a informační systémy v ochraně přírody a krajiny

Snaha o pochopení změn v populacích rostlin je dnes velice rozšířená a je motivována obavami ze snižování početnosti populací rostlin. Monitorování je soustavné sledování proměnných a procesů v průběhu času a jeho cílem je získat řadu údajů v čase, navíc se však předpokládá i určitý specifický důvod pro takové shromažďování údajů. U nejpodrobnějšího procesu monitorování je zkoumána

interakce všech složek ekosystému. Před realizací základního průzkumu je možné nastínit cíle monitorování jen v hrubých rysech a později se upřesňují podle toho, jak jsou postupně zvažovány další aspekty programu. Je zřejmé, že monitorovací program musí být koordinován, aby byly záznamy nejen bezpečně uloženy, ale také aby byly přístupné a srozumitelné osobám, které se budou postupně sběrem dat zabývat. Existuje celostátní soustava monitorovacích ploch v maloplošných chráněných územích (flóra, vegetace). Monitorování rostlinstva na různých úrovních se zabývá Agentura ochrany přírody a krajiny (AOPK). Monitoring změn poškození lesních porostů provádí Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. V České republice je rovněž realizován účelový monitoring v procesu posuzování vlivů na životní prostředí (EIA).

Při monitorování změn v krajině je hodnoceno krajinné uspořádání (krajinná mozaika: matrice, koridory, plošky), krajinný pokryv (kategorie pokryvu: např. CORINE land-cover, kategorie využití půdy). Dálkový průzkum Země (letecké a satelitní snímky) je používán hodnocení využití krajiny a zdravotního stavu lesa. Pro hodnocení lesních ploch je dobře definovaná jednoznačná celostátní metodika, která definuje přesné zaměření ploch a vyznačení v terénu, důkladné dendrometrické šetření a zaměření jedinců (stromová třída, výčetní tloušťka kmene, výška stromu a koruny, šířka koruny, hodnocení plodivosti a přirozené obnovy), zdravotní stav stromů (odlistění, barevnost jehličí a listů, mechanické poškození kmene, poškození hmyzem a houbami, listové chemické analýzy), hodnocení bylinného patra (fytocenologický snímek) a půdní rozbory

Nepříznivý vývoj zdravotního stavu většiny lesních dřevin v evropských zemích počátkem 80.let 20. století vyvolal snahu důsledně a koordinovaně sledovat a vyhodnocovat změny prostředí, které vedou k destabilizaci lesních ekosystémů. Mezinárodní kooperativní program sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy (International Cooperative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests - ICP Forests) vznikl na třetím zasedání výkonného orgánu Konvence o dálkovém znečišťování ovzduší přesahujícím hranice států (CLRTAP) v červnu 1985. Úkolem tohoto programu je koordinovat na evropské úrovni shromažďování srovnatelných údajů o změnách v lesních porostech, souvisejících s aktuálním stavem prostředí (znečištění ovzduší, kyselá depozice aj.) a přispět tak k hodnocení trendů poškození a k lepšímu pochopení vztahů příčin a následků. V pravidelných intervalech se na monitorovacích plochách provádí tato odborná šetření v rozsahu a intenzitě podle příslušné úrovně monitorování (úroveň I a II): hodnocení stavu koruny (defoliace, barevné změny), zjišťování sociálního postavení, měření dendrometrických parametrů, listové analýzy (obsah živin v listových orgánech: N, P, K, Ca, Mg, S), letokruhové analýzy, fenologická pozorování, fytoocenologické snímkování, měření depozic, měření chemismu půdního roztoku, půdní analýzy, měření meteorologických parametrů, hodnocení přízemní vegetace, hodnocení vlivu ozonu na vegetaci, měření koncentrací přízemního ozonu pasivními dozimetry.

Třídy charakterizující stav koruny podle hodnot defoliace a diskolorace (třída defoliace (diskolorace), procento defoliace (diskolorace)):

0 Žádná nebo slabá / None or slight 0-10

1 Střední / Moderate >10-25

2 Silná / Strong >25-60

3 Velmi silná / Very strong >60-99

4 Mrtvý strom / Dead 100

Sledování opadu

Opad je klíčovým parametrem v biogeochemickém koloběhu, propojuje jednotlivé části lesního ekosystému (stromy s půdou a vodou v ekosystému), vzájemné interakce s atmosférou (intercepce srážkové vody a depozice, slunečního záření, výměna plynů, evapotranspirace, vymývání prvků z listů atd.), vstup živin do půdy při rozkladu opadu apod. Změny charakteristik opadu jsou ovlivněny poškozením stromů biotickými faktory (škůdci) nebo abiotickými faktory prostředí (jarní mraz, sucho, vítr, znečištění ovzduší apod.) Produkce opadu je také charakteristikou vitality porostu a podává doplňující informaci pro další šetření prováděna na ploše.

Česká republika vstoupila do programu ICP Forests v roce 1986 s 61 monitorovacími plochami v síti 16x16 km. Počet ploch se v následujícím roce zvýšil na 106. V roce 1991 byla založena síť 8x8 km s dalšími 334 plochami. Kromě toho byly v rámci regionálních studií založeny plochy v síti 1x1 km v lesních oblastech Šumava, Brdy a Krkonoše. Informace z těchto monitorovacích ploch umožnily získat podrobný a reprezentativní obraz o situaci v daných lesních oblastech a porovnat zdravotní stav porostů se stavem půd a výživou porostů. V letech 1997-1998 byla provedena celková rekonstrukce ploch národní a nadnárodní sítě s cílem optimalizovat druhovou a věkovou skladbu na monitorovacích plochách tak, aby lépe charakterizovaly skutečnou skladbu v lesích České republiky. V současné době je pravidelné hodnocení I. úrovně prováděno na plochách základní sítě 16x16 km a vybraných plochách ze sítě 8x8 km v celkovém počtu 306 ploch, které jsou rozmístěny rovnoměrně podle lesnatosti po celém území České republiky.

Směrnice ustavující program ICP Forests vypršela 31. 12. 2002. Program ICP Forests nadále zůstává součástí CLRTAP, mezinárodní financování monitoringu zdravotního stavu lesů však bylo od roku 2003 zajištěno v rámci programu Evropské komise Forest Focus, ustanoveného směrnicí ES 2152/2003. V rámci programu Forest Focus došlo k rozšíření cílů programu a metodik jednotlivých šetření tak aby pokryly širší environmentální aspekty zdravotního stavu lesů včetně vlivu změn klimatu, hodnocení biodiverzity či sledování stavu lesních půd. Od roku 2009 se pak monitoring přesouvá do programu LIFE+, kde jsou postupy a metody dále rozvíjeny v rámci projektu FutMon - Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System. Cílem projektu FutMon je pokračovat v monitoringu zdravotního stavu lesů v systematické síti ploch a harmonizovat metody sledování s programy národních inventarizací lesů v jednotlivých evropských zemích. Na plochách intenzivního monitoringu je cílem zkvalitnit již probíhající měření a zároveň doplnit některé sledované parametry, aby bylo hodnocení skutečně kompletní a vyhovovalo některým používaným modelům.

Zdravotní stav stromů je charakterizován především stupněm defoliace, která je definována jako relativní ztráta asimilačního aparátu v koruně stromu v porovnání se zdravým stromem, rostoucím ve stejných porostních a stanovištních podmínkách. Je to ztráta, která je způsobena především vlivem nepříznivých změn prostředí lesních ekosystémů, jako důsledku dlouhodobého a nadměrného znečištění ovzduší různými škodlivinami (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, F, Cl, O<sub>3</sub>, těžké kovy, prachové částice).

Dalším projektem, kterého se Česká republika účastní, je program Corine, tedy Coordination of Information on the Environment. Cílem programu je sběr, koordinace a zajištění kvalitních informací o životním prostředí a přírodních zdrojích, které jsou srovnatelné v rámci Evropské unie. Náš stát vstoupil do projektu roku 1991. K vytvoření databáze byla použita družice LANDSAT. Výsledkem tohoto projektu bylo vytvoření mapy krajinného pokryvu a rozřídění krajiny do tříd. Databázi tvoří polygony

vzniklé interpretací družicových snímků na snímaných v příslušném referenčním roce. Výstupem jsou mapy vegetačního pokryvu v měřítku 1:100 000, rozděleného do 44 tříd. Projekt pomáhá získat informace o stavu krajiny a informace v tomto projektu shromážděné jsou také podkladem pro další projekty.

V rámci projektu GEOMON se monitoruje síť malých povodí (od pramenné části toku ke stanovenému závěrovému profilu), která jsou rozmístěna tak, aby zastupovala různé krajinné typy a různé imisní zátěže. Jsou zkoumána rozlohou malá povodí ve většinou chráněných oblastech Šumavy, Slavkovského lesa, Krušných hor, Jizerských hor, Krkonoš, Orlických hor, Beskyd, Českomoravské vrchoviny, Železných hor a Benešovské pahorkatiny. V těchto lokalitách probíhají odběry vzorků srážek na volné ploše, vzorků podkorunových srážek, pořizují se také údaje o měsíčních úhrnech obou typů srážek, odebírají se vzorky odtoku v závěrovém profilu povodí a zaznamenává se výška hladiny a průměrné průtoky v závěrovém profilu povodí. Těmito metodami jsou získávány informace o cyklech chemických látek mezi biotickými a abiotickými složkami ekosystémů (biogeochemické cykly), a to tak, že se porovnávají vstupy a výstupy těchto látek uložených ve čtyřech základních rezervoárech živin. Jsou jimi organické látky v dostupné formě (látky v žijících organismech) a v nedostupné formě pro organismy (fosilní organické zbytky jako uhlí, ropa a rašelina) a pak anorganické látky v dostupné (látky v atmosféře, půdě a vodě) a pro organismy nedostupné formě (látky v minerálech a horninách). Cílem programu je zjištění regionálních rozdílů v úrovni látkových toků. Po porovnání množství látek vstupujících do povodí depozicemi ve srážkách a vystupujících z povodí povrchovým odtokem jsou pak vypočítávány kritické zátěže síry, dusíku a těžkých kovů, či jejich případné překročení. Výsledkem výzkumu je charakteristika vývoje látkových toků v síti malých povodí. V případě dusíku jeho depozice v povodích stagnuje, v některých narůstá, v případě síry se projevuje výrazný pokles její depozice jako důsledek odsířovacího programu, který už v České republice proběhl.

Podobný dlouhodobý program (kterým se program GEOMON inspiroval) probíhá už od 60. let 20. století ve Spojených státech. V lokalitě Hubbard Brook Experimental Forest jsou zkoumány listnaté lesy v šesti údolích, kterými protékají potoky jako jediné odtoky vody z oblasti. Sběrem srážek je zjišťováno složení a množství látek, které na dané území dopadají z atmosféry a analýzou odtokové vody v závěrovém profilu potoka z údolí je zjištěno množství a složení látek, které se z ekosystému dostávají. Porovnáním vstupů a výstupů těchto látek je možné zjistit, zda se živiny v ekosystémech dané lokality drží, nebo z ní nadměrně unikají. Ve správně fungujícím ekosystému by se množství živin a minerálů vstupujících do prostředí mělo zhruba rovnat množství, které z lokality vystupuje. V lokalitě Hubbard Brook došlo roku 1966 k experimentu, který zkoumal změny tohoto vyváženého stavu, když byla část lesa vykácena a bylo zamezeno růstu další vegetace. Odtok vody z tohoto údolí se zvýšil o 30-40 % a zvýšily se i ztráty minerálů z povodí. Tyto minerály odtékaly spolu s vodou potoka a tím se zásadně změnilo její pH. Tyto projevy byly patrné až za několik měsíců po vymýcení části lesa.

Dalším projektem v oblasti monitorování zdravotního stavu biotopů, působícím v České republice, je soustava NATURA 2000 (Soustava chráněných území evropského charakteru). Natura 2000 slouží k ochraně nejvíce ohrožených přírodních stanovišť, živočichů a rostlin. Soustavu chráněných území vytvářejí ve všech státech Evropské unie, v České republice tento projekt spadá pod Ministerstvo životního prostředí.



ISOP je celostátním informačním systémem určeným ke zpracování údajů o ochraně přírody a krajiny ČR zahrnující agendy vyplývající ze zákona č. 114/1992 Sb, o ochraně přírody a krajiny. Je vytvářený za účelem podpory výkonu státní správy, poskytování informací v oblasti ochrany přírody a krajiny, podpory vědy a výzkumu, tvorby politik v oblasti ochrany přírody a krajiny, podpory péče o přírodu a krajinu. Zahrnuje tyto podřízené systémy: Nálezová databáze ochrany přírody, Registr druhové ochrany, Digitální registr ÚSOP, Registr opatření péče o přírodu a krajinu a Jednotnou evidenci speleologických objektů. Fyzicky se skládá z centrálního datového skladu s nadstavbou potřebného počtu webových aplikací, mapových služeb a portálového rozhraní určeného k prohlížení, vyhledávání dat a k odkazování na dílčí poskytované služby a aplikace. Systém je rovněž zdrojem poskytování dat pro zpracování územně analytických podkladů dle zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu.

Informační systém Úmluvy o biologické rozmanitosti zabezpečuje vědecko-technickou spolupráci v oblasti ochrany biologické rozmanitosti na vnitrostátní i mezinárodní úrovni a soustřeďuje relevantní odkazy na jednom místě. Cílem systému je usnadnit odborné a laické veřejnosti získávání a poskytování dat (metadat) o biologické rozmanitosti.

Informační systém Registr CITES je podpůrný nástroj k regulaci a kontrole mezinárodního obchodu s ohroženými druhy živočichů a rostlin, vytvořený na základě principů eGovernmentu a podle zákona č. 100/2004 Sb. (zákon o obchodování s ohroženými druhy). Umožňuje kompletní elektronické vedení agendy CITES např. při vyplňování žádostí o doklady CITES veřejností, vydávání, správě a kontrole dokladů CITES, vedení evidence zabavených nelegálně držných exemplářů ohrožených druhů a přestupců Českou inspekci životního prostředí, řízení odborných stanovisek AOPK ČR, či plnění reportingových povinností. Těmito službami systém výrazně usnadňuje výkon státní správy v problematice CITES všem kompetentním orgánům a zároveň snižuje administrativní zátěž žadatelů o doklady CITES.

### **Kontrolní otázky:**

1. Vysvětlete význam mezinárodních monitorovacích programů v ochraně přírody a krajiny.
2. Charakterizujte programy ICP Forest a Forest Focus
3. Popište metodiku sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy.
4. Charakterizujte program Geomon, CORINE a Natura 2000.
5. Charakterizujte informační systém ISOP a CITES.



### **Úkoly k zamyšlení:**

Proč je monitoring zdravotního stavu lesních ekosystémů v České republice významný z hlediska ochrany přírody a krajiny?



### **Korespondenční úkol:**



Dokumentace a mapování potenciálních změn biodiverzity ve vybraném biotopu. Přebytek dusíku v terestrických ekosystémech vede k acidifikaci a eutrofizaci (viz kapitola 3). V důsledku těchto procesů dochází ke změnám druhové skladby vegetace v krajině, která vede ke snížení biodiverzity a nárůstu nitrofilních druhů. 1. S využitím Katalogu biotopů České republiky (Chytrý et al., 2001) a národního seznamu lokalit zařazených do soustavy NATURA 2000 (chráněná stanoviště a chráněné druhy z hlediska celé EU) vyberte biotop a rostlinné druhy citlivé na přebytek dusíku (nitrofóbní druhy). 2. Charakterizujte stanoviště v botanickém a lesnickém slova smyslu, tj. popište ekologické faktory, které vytvářejí prostředí rostlinného společenstva, především půd a klimatu. Popište druhové složení biotopu. 3. Popište vlivy člověka, které biotop ovlivňují nebo udržují.

### **Shrnutí obsahu kapitoly**



V této kapitole jste se seznámili s významem mezinárodních monitorovacích programů v ochraně přírody a krajiny, charakterizaci programu ICP Forest a Forest Focus, popisem metodiky sledování a vyhodnocování vlivu znečištění ovzduší na lesy, charakterizaci programu GEOMON, CORINE a Natura 2000, charakterizaci informačního systému ISOP a CITES.

### **Literatura**

- Chytrý, M., Kučera, T., Kočí, M.: Katalog biotopů České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha 2001.
- Moldán, B.: Příroda a civilizace. Praha 1997.
- Primack, Richard B.: Biologické principy ochrany přírody. Praha 2001.
- Spellerberg, Ian F.: Monitorování ekologických změn. Brno 1995.
- Vackář, D.: Ukazatele změn biodiverzity. Praha 2005
- Boháčová L., Čapek M., Fabiánek P., Fadrhonsová V., Lanchmanová Z., Lomský B., Novotný R., Šrámek V., Uhlířová H., Vortelová L.: Monitoring zdravotního stavu lesa v České Republice. Ročenka programu ICP Forests/Forest Focus 2008 a 2009.



## CÍL KAPITOLY

### 6. Systémy prostorové lokalizace procesů a objektů v informačních systémech o stavu životního prostředí

- popsat činnosti spojené s charakterizací prostorového umístění procesu nebo objektu
- pospat využití souřadnicového systému a geografického informačního systému pro charakterizaci prostorového umístění procesu nebo objektu
- charakterizovat strukturu informací o lokalizaci procesu nebo objektu v prostoru
- popsat interpolaci hodnot procesů nebo objektů v prostoru

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- využití souřadnicového systému a geografického informačního systému pro charakterizaci prostorového umístění procesu nebo objektu
- deskripce prostorového umístění procesu nebo objektu
- popisu interpolace hodnot procesů nebo objektů v prostoru

#### Budete schopni:

- vysvětlit využití souřadnicového systému a geografického informačního systému pro charakterizaci prostorového umístění procesu nebo objektu
- navrhnout strukturu informačního záznamu o prostorovém umístění procesu nebo objektu
- vysvětlit interpolaci hodnot procesů nebo objektů v prostoru
- 

**Klíčová slova této kapitoly:** lokalizace procesu nebo objektu, grafický systém, geografický informační systém, deskripce prostorového umístění, souřadnicový systém, systém JTSK, interpolace, kriging

Pro environmentální vědy je typické, že procesy a objekty jsou zkoumány v souvislosti s místem svého výskytu nebo nálezů. Lokalita se určí alfabetickým názvem obce nebo místa (např. Býčí skála), oblasti (pomocí zkratky okresu a slovní charakteristikou oblasti nebo regionu BR Jeseníky), názvem katastrálního území podle Mapy správního rozdělení 1:200 000, Jednotného číselníku prostorových jednotek nebo Lexikonu obcí České republiky a čísel katastrálního území. Další upřesnění lokality (nadmořská výška, světová strana svahu, biotop, půdní poměry, hloubka uložení, vrstva, vrt, souřadnice objektu nebo procesu) si stanoví každý environmentální obor podle svých potřeb.

Údaje lze zaznamenávat i jednotlivě voleným souřadnicovým systémem (zeměpisné souřadnice, čtvercové 1km, 10km síť atd.). Přesná lokalizace procesu nebo objektu pomocí souřadnicových systémů má význam především pro zpracování informací o životním prostředí pomocí výpočetní techniky s možností grafické a geografické interpretace těchto informací formou grafických výstupů. Analýza informací, které se týkají lokalizovaných objektů a procesů v prostoru, umožňuje mimo jiné hledat časoprostorové vztahy mezi různými atributy, kterými jsou tyto objekty a procesy popsány. Například mezi atributy, které popisují antropogenní faktory působící na ekosystémy.

Kvantitativní a kvalitativní znaky, které charakterizují lokalizované objekty a procesy lze zobrazovat grafickými a geografickými informačními systémy, kde kvantitativní (kvalitativní) znaky převádíme v grafické informace, reprezentované základními grafickými prvky (body, čáry, liniové útvary).

Výhody grafických forem výstupů účelně organizovaných datových souborů o stavu životního prostředí:

- grafické formy dat a datových souborů pracují s tvary, které je možno vnímat a interpretovat jako celek
- grafické formy umožňují uživateli volit vlastní problémově orientovaný postup interpretace
- grafické formy umožňují snadnou konfrontaci různých charakteristických znaků – atributů vzhledem k týmž procesům a objektům v územní bázi.

Deskripce prostorového umístění procesů a objektů se provádí různými způsoby. Nejčastěji se používá zobrazování procesů a objektů do sítě vodorovných a svislých čar v určitém souřadnicovém systému. Tvar a hustota takové sítě závisí na zvoleném souřadnicovém systému. Velmi často se používají čtvercové sítě, které můžeme interpretovat dvojicí čísel  $x$ ,  $y$ , kde  $x$  reprezentuje vodorovnou souřadnici a  $y$  svislou souřadnici bodu, který vznikl průnikem vodorovné souřadnice  $x$  a svislé  $y$ .

K nejvíce používaným souřadnicovým systémům v České republice patří celostátní geodetický souřadnicový systém JTSK (systém jednotné trigonometrické sítě katastrální). K jiným významným souřadnicovým systémům patří systém zeměpisných souřadnic, vyjádřených ve stupních, minutách a vteřinách (zeměpisná délka, zeměpisná šířka).

Příklad struktury informačního záznamu o lokalizaci procesu nebo objektu:

- okres (2 znaky)
- list mapy (8 znaků, lze používat základní mapy České republiky 1:25 000 nebo 1:10 000 atd.)
- souřadnice  $X$ ,  $Y$  (7, 6 znaků) podle souřadnicového systému JTSK tzv. Křovákovy souřadnice

- lokalita (slovy 16 znaků).

Konkrétním výrazem lokalizace procesu nebo objektu je souřadnicová báze těchto procesů nebo objektů s možností grafické interpretace informací o těchto procesech a objektech v mapových podkladech vhodného měřítká.

Procesy nebo objekty, reprezentované jednotlivými body v souřadnicovém systému, můžeme spojovat izolovanými čarami, charakterizujícími určité podobné vlastnosti těchto procesů nebo objektů (např. objekty s určitými hodnotami četnosti výskytu v daném prostoru, hodnota koncentrace znečišťující látky v oblasti monitorování ekosystému atd.).

Abychom mohli pracovat s grafickou (geografickou) informací v počítači a zobrazovat ji formou grafických výstupů do map, musíme převést tuto informaci do digitální formy.

Můžeme to realizovat těmito postupy:

- 1) grafickou informaci (podklad složený z prvků bodových, plošných, liniových) nasnímat tzv. scanováním a potom jednotlivé prvky digitalizovat (vektorizovat).
- 2) grafickou informaci přímo digitalizovat.

Všechny prvky mapy (geografické prvky, prvky reprezentující speciální obsah) jsou těmito postupy převedeny do digitální formy, jinak řečeno obraz mapy je převeden do digitální formy.

Ke každému grafickému prvku mapy lze přiřazovat další informace, a to grafické, textové a numerické.

Objektu nebo procesu, charakterizovanému jako bodový prvek mapy, pak můžeme přiřazovat atributy a tyto atributy zobrazovat některou z těchto forem grafických výstupů:

- soustavou izolinií
- pravidelnými sítěmi vykreslenými speciálním obsahem (šrafy, body, barevné plochy v určité škále)
- trojrozměrnými grafy

## **Interpolace**

Statistické vyhodnocení kvantitativních atributů nám umožňuje interpolovat tyto atributy v místech, kde nejsou empiricky zjištěné (tzv. vnitřní interpolace). Použít můžeme metody např. lineární (nelineární) interpolace na základě typu statistického rozložení zkoumaného atributu nebo metody krigingu atd.

Pro transformaci nehomogení sítě hodnot koncentrací řešených složek naměřených na monitorovacích stanicích kvality ovzduší na homogenní síť 1x1 km na území ČR může být použita metoda krigingu. Kriging vychází z tradičních deterministických interpolačních metod, ve kterých určení interpolačních vah závisí na kovariační struktuře regionalizované proměnné (v této aplikaci jde o koncentrace řešených složek v ovzduší a ve srážkách). Základním problémem krigingu je odhad modelu kovariační struktury, která je známa jako semivariogram. Je definován jako rozdíl mezi základní variancí prostorového procesu a kovariancí mezi hodnotami v dané vzdálenosti. Variogram zkoumá rozptyl regionalizovaných proměnných jako funkci jejich vzdáleností a orientace.

Hodnoty koncentrací, které jsou spojitě se měnící regionalizované proměnné v prostoru, jsou považovány za funkci polohových souřadnic (x,y) v dvourozměrném prostoru. Regionalizovaná proměnná závisí na lokalizaci a souvisí s geometrií a orientací naměřené hodnoty. Naměřená hodnota se mění spojitě s různou variabilitou v různých směrech. Hlavním prostředkem výzkumu variability regionalizované proměnné je výzkum rozptylu zkoumané proměnné jako funkce vzájemných vzdáleností jednotlivých bodů měření. Mezi naměřenými hodnotami proměnné v jednotlivých bodech existuje korelace, která po určité vzdálenosti zaniká. Jednotlivá měření pak jsou považována za navzájem nezávislá. Výsledkem tohoto procesu je variogram, který je vyjádřen funkcí. Z variogramu vychází metoda váženého průměru, která určuje optimální střední hodnoty regionalizovaných proměnných v daných plochách. Váhy jsou vypočteny pomocí hodnot odečtených z variogramu.

Imisní koncentrace acidifikačních činitelů v ovzduší a ve srážkách naměřené na monitorovacích stanicích mohou být interpolovány metodou „ordinary kriging“ do sítě 1×1 km na území České republiky. Interpolace metodou „ordinary kriging“ respektuje statistickou strukturu imisního pole. Tato metoda byla s úspěchem použita v řadě environmentálních aplikací, a to zejména pro prostorové modelování imisních koncentrací SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, koncentrací síranů, dusičnanů a amonných iontů ve srážkách, (např. Zapletal, 1998b, 2001, 2006; Zapletal et al., 2003). Interpolace mohou být vytvořeny vždy s vynecháním jedné stanice, odhadnutá hodnota v místě této stanice může být porovnána s hodnotou aktuálně naměřenou. Jako základní charakteristika může být použita standardní chyba odhadu (root-mean-square-error, RMSE), která může být použita k ocenění nejistoty hodnot interpolovaného pole. Lze realizovat rovněž prosté srovnání naměřených a interpolovaných hodnot přímo v bodech měření. Metoda poskytuje dobré odhady na celém území České republiky, tj. v oblastech s řídkou sítí měření (volná krajina), při extrapolaci na okrajích řešeného území (hranice ČR) a v oblastech s relativně vysokou hustotou měřicích stanic.

**Kontrolní otázky:**



1. Popište činností spojené s charakterizací prostorového umístění procesu nebo objektu v prostoru.
2. Charakterizujte strukturu informací o lokalizaci procesu nebo objektu v prostoru.
3. Popište interpolaci hodnot procesů nebo objektů v prostoru.
4. Co je systém JTSK?
5. Jaký je rozdíl mezi grafickým systémem a geografickým informačním systémem.
6. Co je to interpolace naměřených hodnot ?

### Úkoly k zamyšlení:

Vysvětlete využití souřadnicového systému a geografického informačního systému pro charakterizaci prostorového umístění procesu nebo objektu v prostoru.



### Korespondenční úkol:

Navrhněte strukturu informačního záznamu o lokalizaci vybraného procesu v prostoru. Vyberte vhodný souřadnicový systém pro přesnou lokalizaci tohoto procesu.

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s popisem činností spojených s charakterizací umístění procesu nebo objektu v prostoru, popisem využití souřadnicového systému a geografického informačního systému pro charakterizaci prostorového umístění procesu nebo objektu, charakterizací struktury informací o lokalizaci procesu nebo objektu v prostoru, popisem interpolace hodnot procesů nebo objektů v prostoru.

### Literatura:

- Cressie, N.: Statistics for spatial data. Wiley series, New York, 1993.
- Tuček, J.: Geografické informační systémy. Principy a praxe. Praha 1998.
- Zapletal, M.: Use of geographical information systems for spatial modelling of the sulphur dioxide gas deposition on the territory of the Czech Republic. In: Proceedings of Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems EGIS/MARI '94, Paris, France 1994 (edited by Harts, Ottens, Scholten). Egis Foundation, Utrecht/Amsterdam, p. 233-242, 1994.



---

## CÍL KAPITOLY

### 7. Dálkový průzkum Země a možnosti jeho využití v různých vědních disciplínách

- charakterizace procesu dálkového průzkumu Země (DPZ)
- charakterizace současného systému DPZ hlediska snímaného zdroje elektromagnetického záření
- charakterizace získávání, analýzy a interpretace obrazů
- stanovení strukturních vlastností vegetace metodami DPZ

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- charakterizace procesu dálkového průzkumu Země (DPZ)
- charakterizace současného systému DPZ hlediska snímaného zdroje elektromagnetického záření
- charakterizace získávání, analýzy a interpretace obrazů
- stanovení strukturních vlastností vegetace metodami DPZ

#### Budete schopni:

- charakterizovat proces dálkového průzkumu Země (DPZ)
- charakterizovat současné systémy DPZ z hlediska snímaného zdroje elektromagnetického záření
- charakterizovat získávání, analýzy a interpretace obrazů
- stanovit strukturní vlastnosti vegetace metodami DPZ

**Klíčová slova této kapitoly:** dálkový průzkum Země, elektromagnetické záření, snímaný zdroj, senzory, analýza a interpretace obrazů, strukturní vlastnosti vegetace

### Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země (DPZ) je získávání informací o objektech a jevech bez přímého kontaktu s nimi (Remotesensing, Teledetection, Fernerkundung). DPZ je shromažďování informací o přírodních zdrojích s využitím snímků pořízených senzory umístěnými na palubách letadel nebo družic (Bob Ryerson, CCRS).

Z hlediska definice DPZ v širším slova smyslu jeho počátek vzniku neznáme, protože sem můžeme zařadit různé obory lidské činnosti. Dálkovým průzkumem Země označujeme získávání a interpretaci informací o objektech, jevech a procesech reálného světa bez přímého



kontaktu s nimi. Dálkový průzkum Země je soubor metod a technických postupů zabývajících se pozorováním a měřením objektů, jevů a procesů na zemském povrchu a ve styčných nad a podpovrchových vrstvách bez přímého kontaktu s nimi a zpracováním takto získaných geodat za účelem získání informací o geometrických, tematických a temporálních vlastnostech těchto objektů, jevů a procesů. DPZ využívá různé snímače (angl. sensor), umístěné na tzv. nosičích, kterými jsou zpravidla letadla a umělé družice Země. Snímače jsou citlivé na elektromagnetickou energii z různých částí kmitočtového spektra.

Snímače nejčastěji pracují s:

- viditelným světelným zářením,
- tepelným (infračerveným) zářením,
- mikrovlnným zářením.

DPZ zahrnuje pozorování povrchu a atmosféry Země. Objekty, jevy a procesy, které se na nich vyskytují respektive probíhají, jsou studovány nejčastěji metodami, které detekují, měří a zaznamenávají energii elektromagnetického záření. Elektromagnetického záření se v tomto případě dostalo do interakce s povrchem Země a s atmosférou. U pasivních snímačů je zdrojem elektromagnetického záření Slunce nebo Země. U aktivních snímačů je zdrojem elektromagnetického záření samo průzkumné zařízení.

### **Proces DPZ**

Elektromagnetické záření je v každém případě ovlivňováno atmosférou Země. Země v některých částech spektra elektromagnetické záření propouští téměř bez ovlivnění, v některých částech spektra záření částečně pohlcuje a v ostatních ho pohlcuje zcela. Pozorování má přirozeně smysl provádět jen v těch částech spektra, kde je ovlivnění atmosférou minimální – říká se jim atmosférická okna.

### **Zdroje elektromagnetické ho záření a používané senzory**

Současné systémy pro DPZ se podle zdroje zpracovávaného záření a jeho interakce s povrchem Země dělí do čtyř skupin:

- senzory odraženého slunečního záření,
- senzory tepelného infračerveného záření,
- radarové senzory,
- laserové senzory

### **Senzory odraženého slunečního záření**

Pracují se slunečním zářením, které bylo odraženo povrchem Země. Kmitočtová pásma (odpovídající atmosférickým oknům), která poskytují užitečné informace, zahrnují ultrafialové, viditelné, blízké a střední infračervené záření. Tyto systémy jsou schopny odlišit různé materiály podle jejich spektrálních obrazů a jsou schopné pracovat jen za plného

slunečního svitu. Proměnlivost slunečního svitu může způsobit problémy s interpretací zaznamenaných obrazů. Dráhy družic jsou voleny tak, aby se družice pohybovaly co nejvíce nad osluněnou částí Země. Systémy založené na senzorech odraženého slunečního záření představují nejčastěji používané prostředky dálkového průzkumu Země.

### **Senzory tepelného infračerveného záření**

Snímají tepelné infračervené záření snímají záření emitované povrchem Země. Poskytují informace o tepelných vlastnostech materiálů, z nichž je povrch Země složen. Primárním zdrojem energie je sluneční záření, které ohřívá povrch, a ten až následně vyzařuje část získaného tepla v podobě tepelného infračerveného záření. Výsledek snímání je opět závislý na denní době.

### **Radarové senzory**

Představují tzv. aktivní systémy dálkového průzkumu Země. Nosič aktivně vysílá elektromagnetické záření, které se odráží od povrchu zemského a senzor registruje jeho odraženou část. Odražené záření nese informace o hrubosti povrchu, o obsahu vody v materiálech nacházejících se na povrchu a o tvaru povrchu. Umožňují provádět mapování i za ztížených meteorologických podmínek.

### **Laserové senzory**

Pracují s laserovým paprskem. Umožňují získávat různé informace o povrchu zemském i o atmosféře Země:

- informace o reliéfu terénu, včetně všech objektů na něm se nacházejících
- informace o materiálu nacházejícím se na povrchu zemském
- informace o složení atmosféry
- informace o prostorovém rozložení rychlosti proudění atmosféry ve sledované oblasti

K těmto zařízením patří například:

- lidar
- dopplerovský laser
- senzor využívající více laserových paprsků s různými vlnovými délkami.

### **Spektrální charakteristiky materiálů**

Jsou výsledkem selektivní absorpce slunečního záření těmito materiály závislé na vlnové délce dopadajícího záření. Jsou klíčem k rozpoznávání různých materiálů nacházejících se na povrchu Země. Spektrální odrazivost materiálů je možné měřit jak laboratorně, tak i v reálných podmínkách.

### **Získávání obrazů**

Úroveň odražené energie přijímané senzorem na nosiči je výslednicí působení mnoha faktorů, jako je:

- intenzita dopadajícího záření,
- odrazivost materiálu na povrchu Země,
- vliv atmosféry,
- geometrické uspořádání zdroje záření, povrchu zemského a detektoru.

Energie odraženého elektromagnetického záření může být detekována a změřena buďto citlivým filmovým materiálem nebo prostřednictvím sady elektronických senzorů:

- obraz – obecně cokoliv
- snímek – na filmu
- záznam – elektronickým snímačem.

Obraz má podobu dvourozměrného rastru, jehož každé buňce (pixelu) je přiřazena hodnota odpovídající průměrné úrovni jasů plochy povrchu zemského, která je touto buňkou reprezentována.

U obrazů rozlišujeme celkem čtyři různá rozlišení:

- prostorové rozlišení,
- spektrální rozlišení,
- radiometrické rozlišení,
- časové rozlišení.

### **Analýza a interpretace obrazů**

Identifikace cílů a jejich analýza a interpretace je prováděna buďto vizuálně na podkladě obrazů vytištěných na papíře (analogový obraz; angl. hard copy nebo analog imagery) nebo zobrazených na displeji (digitální obraz; angl. soft copy nebo digital imagery) nebo může být interpretace prováděna digitálně s využitím různých programových balíčků.

### **Prvky vizuální interpretace**

Cílem vizuální analýzy a interpretace obrazů je identifikovat zájmové objekty a zjistit jejich vlastnosti. Zájmové objekty musí být dobře odlišitelné od svého okolí. Odlišení je možné provádět na základě celé řady prvků vizuální interpretace: tón, tvar, velikost, vzor, struktura, stín a asociace.

### **Digitální zpracování obrazů**

Data dálkového průzkumu Země jsou pořizována a zaznamenávána z valné většiny digitálně. Díky tomu se rozvíjí i digitální zpracování obrazů.

### **Klasifikace a analýzy obrazů**

Jsou používány pro identifikaci a klasifikaci jednotlivých pixelů obrazu. Klasifikace je obvykle aplikována na vícepásmové obrazy a výsledkem je obraz, v němž je každý pixel zařazen do jedné z tříd na základě hodnot odpovídajících pixelů v jednotlivých pásmech původního obrazu. Digitální klasifikaci je možné provádět buď řízenou nebo neřízenou klasifikací.

### **Oblasti použití DPZ**

DPZ je používán zejména v oborech jako je meteorologie, zemědělství, lesnictví, geologie, topografické mapování a mapování využití území.

### **Stanovení strukturních vlastností vegetace metodami dálkového průzkumu Země**

Oproti datům pozemního měření nabízí metody dálkového průzkumu Země hodnocení zápoje vegetace v rozsáhlém měřítku a jsou tak vhodné pro modelování znečištění v prostoru. Ve všech případech se však jedná o nepřímé aproximace a vždy tak obsahují určitou míru zkreslení. Hlavním omezením metod DPZ nicméně do nedávna představovalo zejména prostorové rozlišení. S rozvojem satelitních senzorů, leteckých a bezpilotních prostředků v uplynulém desetiletí se prostorové, temporální, spektrální a radiometrické rozlišení dostupných dat zvýšilo.

Metody dálkového průzkumu Země využitelné pro kvantifikaci struktury vegetace můžeme rozdělit podle typu snímaného senzoru na aktivní a pasivní. Technologie využívající aktivní senzor, který emituje světelné pulzy do okolí a následně zaznamenává zpětně odraženou energii, se nazývá laserové skenování (LiDAR). Rozdílem času mezi vysláním a přijutím pulzu je možné určit vzdálenost a dále i pozici zkoumaného objektu, od kterého se paprsek odrazil. Současné systémy navíc často zaznamenávají i vícenásobné odrazy a jejich intenzity z jednoho vyslaného pulzu. Tato schopnost je zvláště příhodná pro mapování vegetace, jelikož dokáže detekovat více pater vegetace a rekonstruovat tak celý vertikální profil lesním porostem, včetně hustoty nebo dalších strukturních atributů. Přestože je tato metoda známá již od 60. let, do nedávna zůstávalo překážkou jejího plného využití zejména enormní výpočetní náročnost při zpracování surového produktu na rozsáhlejších územích a finanční náklady na pořízení dat. Rozvoj v oblasti výpočetní techniky však v posledních dvaceti letech výrazně napomohl rozšíření této metody do aplikovaného i základního výzkumu v lesnictví a ekologických disciplínách, kde se uplatnil zejména při odvozování vegetačních charakteristik, zahrnující determinaci výšky porostu, indexu listové plochy a celkové nadzemní biomasy.

Oproti tomu pasivní senzory pouze snímají odražené elektromagnetické záření a nejsou tedy sami emitory. Nejčastěji zaznamenávají elektromagnetické záření ve viditelném spektru, případně se využívají i informace z dalších pásem vlnových délek, jako například z blízkého infračerveného, který je pro detekci vlastností vegetace velmi příhodný.

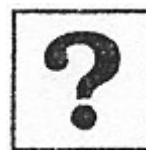
V současných případových studiích modelování suspendovaných částic PM10 se nejčastěji využívá leteckých snímků ve viditelném spektru, které jsou následně klasifikovány podle využití území. Kombinují tak relativně uspokojivé prostorové rozlišení leteckých fotografií a dostatečný prostorový rozsah. Mohou však být zatíženy značnou subjektivitou při jejich klasifikování podle typu použité klasifikační metody. Obdobně mohou být využity i fotografie pořízené bezpilotními prostředky (UAV), které sice zachycují plošně menší území, zato však s detailnějším prostorovým i časovým rozlišením. Jejich hlavní výhodou je také i cenově

dostupné a velmi rychlé pořízení v krátkém časovém úseku, čímž se garantuje větší homogenita dat. Přednosti UAV byly již demonstrovány na řadě studií jako alternativní náhrada hemisférických fotografií při získání informace o pokrývnosti stromového patra. Kromě spektrální informace navíc umožňují při dostatečném překryvu více fotografií i odvození trojrozměrných modelů povrchu a následné přesné kvantifikace indexu listové plochy (LAI) nebo celkové biomasy. Přestože tyto technologie nabízejí značný potenciál v detailním modelování zachytu suspendovaných částic, dosud není známá jejich aplikace v žádné publikované studii.

Pro plošně rozsáhlé analýzy se jako vstup do depozičních modelů nabízí i již zpracované a veřejně dostupné produkty některých satelitních misí, například MODIS, NOAA nebo LANDSAT. Jedná se například o produkty: Terra MODIS Vegetation Continuous Fields, který nabízí procentuální zastoupení stromů a ostatní vegetace v rozlišení 250 m, dostupné pro roky 2000 - 2019; NOAA Climate Data Record of AVHRR, který celosvětově nabízí informaci o LAI v denním kroku a rozlišení 0,01 stupně, nebo Landsat Vegetation Continuous Fields, jež v 30 metrovém rozlišení zaznamenává každých pět let informaci o zastoupení pokrývnosti stromů vyšších 5 metrů. Každý z produktů má své přednosti i omezení. Celkově jsou ale výhody satelitních produktů kromě zmíněného plošného rozsahu i délka časových řad, využitelnost téměř pro každé místo na Zemi a standardizovaná metodika zpracování, která umožňuje srovnání výsledků modelů napříč studiemi.

### Kontrolní otázky:

1. Charakterizujte proces dálkového průzkumu Země (DPZ).
2. Charakterizujte současné systémy DPZ hlediska snímaného zdroje elektromagnetického záření.
3. Charakterizujte získávání, analýzy a interpretace obrazů získaných dálkovým průzkumem Země.
4. Charakterizujte strukturní vlastností vegetace metodami DPZ.



### Úkoly k zamyšlení:

Vysvětlete rozdíl mezi snímači odraženého elektromagnetického záření a snímači vysílající elektromagnetické záření k povrchu.



### Korespondenční úkol:

Popište použití DPZ v oblasti mapování využití území.

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s charakterizací procesu dálkového průzkumu Země (DPZ), charakterizací současných systémů DPZ hlediska snímaného zdroje elektromagnetického

záření, charakterizací získávání, analýzy a interpretace obrazů, stanovením strukturních vlastností vegetace metodami DPZ.

### **Literatura:**

Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D., Surový, P., Ulbrichová, I.: UAV capability to detect and interpret solar radiation as a potential replacement method to hemispherical photography. *Remote Sensing*. <https://doi.org/10.3390/rs10030423>, 2018.

Boudreau, J., R. F. Nelson, H. A. Margolis, L. Guindon, D. S. Kimes: Regional aboveground forest biomass using airborne and spaceborne LiDAR in Quebec. *Remote Sensing of Environment* 112: 3876–3890, 2008.

Dimiceli, C., Carroll, M., Sohlberg, R., Kim, D. H., Kelly, M., Townshend, J. R. G.: MOD44B MODIS/Terra Vegetation Continuous Fields Yearly L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MOD44B.006, 2015.

Chianucci, F., Disperati, L., Guzzi, D., Bianchini, D., Nardino, V., Lastrì, C., Rindinella, A., Corona, P.: Estimation of canopy attributes in beech forests using true colour digital images from a small fixed-wing UAV. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.005>, 2016.

Guerra-Hernández, J., González-Ferreiro, E., Monleón, V. J., Faias, S.P., Tomé, M., Díaz-Varela, R.A.: Use of multi-temporal UAV-derived imagery for estimating individual tree growth in *Pinus pinea* stands. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f8080300>, 2017.

Sexton, J. O., Song, X. P., Feng, M., Noojipady, P., Anand, A., Huang, C., Kim, D. H., Collins, K. M., Channan, S., DiMiceli, C., Townshend, J. R. G.: Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS Vegetation Continuous Fields with lidar-based estimates of error. *International Journal of Digital Earth*, 130321031236007. doi:10.1080/17538947.2013.786146, 2013.

Tempfli, K., Kerle, N., Huuneman, G. C., Jansen, L. L. F.: *Principles of Remote Remote Sensing - An introductory text book* 591,2001.

Magnussen, S., Boudewyn, P.: Derivations of stand heights from airborne laser scanner data with canopy-based quantile estimators. *Canadian Journal of Forest Research*, 28(7), 1016–1031, 1998.

Næsset, E., Gobakken, T.: Estimating forest growth using canopy metrics derived from airborne laser scanner data. *Remote Sens. Environ.* 96, 453–465, 2005.

Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., Freer-Smith, P.: Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning* 103, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.003>, 2011.

Yang, J., Yu, Q., Gong, P.: Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42, 7266–7273. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.003>, 2008.



## CÍL KAPITOLY

### 8. Využití kvantitativních a kvalitativních informací k hodnocení ekologických a environmentálních rizik

- charakterizace kvantitativních informací
- charakterizace kvalitativních informací
- charakterizace primárních dat
- charakterizace agregovaných dat
- charakterizace kvantitativních a kvalitativních indikátorů

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

##### Získáte znalosti v oblasti:

- charakterizace kvantitativních informací
- charakterizace kvalitativních informací
- charakterizace primárních dat
- charakterizace agregovaných dat
- charakterizace kvantitativních a kvalitativních indikátorů

##### Budete schopni:

- charakterizovat kvantitativní informace
- charakterizovat kvalitativní informace
- charakterizovat primární data
- charakterizace agregovaná data
- charakterizovat kvantitativní a kvalitativní indikátory

**Klíčová slova této kapitoly:** kvantitativní informace, kvalitativní informace, primární data, agregovaná data, kvantitativní indikátory, kvalitativní indikátory

K hodnocení ekologických a environmentálních rizik využíváme environmentální data. Environmentální data mají z hlediska vyjádření, interpretovatelnosti a srovnávání dvě možné podoby:

- Kvantitativní (číselné vyjádření hodnoty určité veličiny);
- Kvalitativní (určitý fenomén je ohodnocen jinými než číselnými prostředky);

#### Kvantitativní informace

Z praktického hlediska je při shromažďování a zpracování obvykle upřednostňována informace kvantifikovaná. Přestože mnoho environmentálních informací přirozeně vzniká jako kvalitativní, pro záznam, srovnávání a interpretaci se lépe hodí informace v číselné (kvantitativní podobě). Metodiky získávání kvantitativních parametrů (monitoring, měření, následná agregace) jsou jednodušeji standardizovatelné a ověřitelné. Pro jejich pořizování existují nebo se vytvářejí standardní metodiky. Nevýhodou kvantifikovaných parametrů je obtížné zachycení kvality, subjektivity, mlhavosti a modality těchto údajů, resp. přinejmenším ve většině dnešních modelů se s těmito atributy u kvantifikovaných dat neuvažuje. Souhrnně řečeno, kvantitativním informacím chybějí metainformace, které nelze z primárních dat odvodit a chybí jim schopnost "samointerpreovatelnosti".

### **Kvalitativní informace**

Kvalitativně vyjádřená informace má v praxi podobu popisu určitého fenoménu pomocí tvrzení v běžném jazyce za použití termínů specifických pro danou oblast. Slovník používaných termínů nebývá však přesně vymezen a už vůbec nebývá definována přesná sémantika použitelných termínů. Kvalitativní informace zpravidla může (otázkou je, zda tuto možnost vždy využívá) zdánlivě bez problému vyjádřit výše uvedené okolnosti svého vzniku, subjektivní pocity původce této informace, mlhavost či modalitu. Kvalitativní informace je také v určitém kontextu (zejména ve vztahu k laické veřejnosti) jednodušeji interpretovatelná.

### **Kvantitativní vs. kvalitativní environmentální informace**

Aby se překonal rozpor mezi snadností standardizace a odborné interpretace kvantitativní informace a snadnou laickou interpretovatelností a také vyjadřovací jemností a bohatstvím kvalitativně formulované informace, používá se několik prostředků:

- Na straně kvantitativních informací se zavádějí tzv. indikátory, které jsou zpravidla vysoce agregované, nevyžadují další zpracování a umožňují snadnou interpretaci. Pro doplnění metainformací k určitému kvantitativnímu údaji jsou vytvářeny standardní metodiky, které stanovují povinnost zároveň s pořizováním primárních kvantitativních dat doplnit údaje o kvalitě dat získaných provedeným měřením či výpočtem, uvádějí subjekt zodpovědný za provedené získání dat atd.
- U kvalitativních informací se obtížná formalizovatelnost řeší zaváděním standardizovaných metodik získávání těchto dat. Jsou vytvářeny a používány standardní terminologické prostředky (slovníky, thesaury, sémantické sítě).

Oba tyto přístupy mají jedno společné, a to snahu pro formalizaci a standardizaci.

### **Úrovně abstrakce v environmentálních datech**

Environmentální data můžeme rozčlenit podle úrovně abstrakce od primárních, která jsou bezprostřední abstrakcí reálného světa po tzv. environmentální ukazatele, které vykazují velmi vysokou úroveň abstrakce.

### **Primární data**

Jsou data pocházející z prvotního sledování stavu, dějů a činností v životním prostředí (monitoring, evidence, dokumenty). Jsou pořizována buďto (polo)automatizovaným monitoringem s následným zpracováním do formy evidencí či použitím pro přímé řízení technologických či jiných (např. dopravních) procesů. Zpravidla se pořizují ze zákona



(povinné subjekty), nařízení (veřejná správa) nebo na základě dobrovolného závazku soukromých subjektů (např. environmentální řízení). Jejich použitelnost pro přímé informování veřejnosti je malá. Za prvé často nejsou veřejnosti přístupná, neboť obsahují údaje soukromého či dokonce osobního charakteru, na které se vztahuje příslušná zákonná ochrana. Za druhé bez agregace (vyhlazování chyb, sumarizace, průměrování, vyhledávání minima, maxima) poskytují pro laickou veřejnost nepodstatné informace. Primární data vyžadují většinou následnou odbornou interpretaci.

### **Agregovaná data**

Představují první bezprostředně prakticky použitelnou úroveň abstrakce z primárních dat. Na prostorově a časově určená primární data se aplikují funkce souhrnu (sumace, proložení vyhlazovací křivkou a integrace), průměru (zpravidla aritmetického - např. podělením souhrnu vztažnou plochou), relativizace (vztažením k nějaké referenční hodnotě), atd.

### **Indikátory (ukazatele)**

Kvantitativní a kvalitativní indikátory jsou data na velmi vysoké úrovni abstrakce. Vznikají několikanásobnou aplikací výše uvedených agregačních operací (sumace, průměru, relativizace, atd.). Kvantitativní indikátory jsou ze všech typů environmentálních dat nejlépe použitelné pro rozhodování, informování laické veřejnosti a vzájemné (národní a mezinárodní) srovnávání. Indikátory více zdůrazňují kvantitativní formu informací než slovní popis. Podstatou je to, že poskytují měřítko, kterým se environmentální stavy, trendy a cíle dají kvantitativně hodnotit a srovnávat. Zároveň indikátory poskytují jednodušší, pro veřejnost čitelnější a pochopitelnější způsob informace, než statistiky nebo dokonce primární data. Velmi důležitá je též funkce mezinárodního srovnávání:

- indikátory mají přesně specifikovanou a mezinárodně uznávanou metodiku;
- jsou to vždy hodnoty relativizované ("přepočítané") vůči nějaké zcela zřejmé a pochopitelné vztažné veličině (např. na osobu, km<sup>2</sup>, rok, GNP v jednotkách USD apod.);
- snadno se interpretují např. uvedením typických (středních) hodnot ukazatele, možné odchylky, nebezpečných odchylek, atd.;
- dalšího uplatnění ukazatelů se dosahuje vzájemným porovnáním např. v rámci časové řady (zjistí se trendy) nebo prostorového umístění (zjistí se odlišnosti v různých zemích nebo geografických oblastech);

Indikátory tedy jednak kvantifikují informace a jednak zjednodušují informace o složitých jevech, takže usnadňují jejich přijímání veřejností. Indikátory jsou nejvýznamnějšími environmentálními daty pro informování laické veřejnosti.

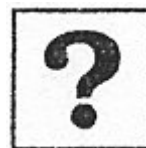
Environmentální data využíváme k modelování distribuce chemických látek v životním prostředí, a to v zásadě dvěma způsoby:

- 1) Látky jsou emitovány do prostředí ve velkých a známých objemech a chceme vypočítat koncentrace jejich reziduí v jednotlivých složkách prostředí.
- 2) Na základě existujících environmentálních koncentrací chceme vypočítat emise těchto látek do prostředí ze starých zátěží nebo plošných zdrojů, které se podílejí na udržování environmentálních hladin.

Do bodu 1) je možno zahrnout i výzkumné práce např. při vývoji nových chemických látek, které budou vyráběny ve velkém množství a budou se dostávat do životního prostředí. Je třeba určit jejich chování v jednotlivých environmentálních médiích a jakých koncentrací bude dosaženo. Je tedy třeba látku charakterizovat podle způsobu rozdělování mezi jednotlivé složky životního prostředí a tím předpovědět, zda-li expoziční koncentrace (PEC) jsou nižší, než koncentrace bez nebo s malým rizikovým účinkem na organismy žijící v ekosystému (PNEC). Protože analýza vyžaduje předpovědět tyto koncentrace kvantitativně je nutné použít matematické modely. Jejich použití je podstatné především pro nové látky, pro které neexistují terénní měření. Na odhad chování látek v prostředí byla vyvinuta řada modelů a přístupů.

### Kontrolní otázky:

1. Charakterizujte kvantitativní informace.
2. Charakterizujte kvalitativní informace.
3. Charakterizujte primární data.
4. Charakterizujte agregovaná data.
5. Popište rozdíl mezi kvantitativními a kvalitativními indikátory.



### Úkoly k zamyšlení:

Vysvětlete rozdíl mezi primárními a agregovanými daty.



### Korespondenční úkol:

Popište jakým způsobem využíváme environmentální data k modelování distribuce chemických látek v ovzduší.

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s charakterizací kvantitativních informací, kvalitativních informací, primárních dat, agregovaných dat, kvantitativních a kvalitativních indikátorů k hodnocení ekologických a environmentálních rizik

### Literatura:

Hanousek, J., Charamza, P.: Moderní metody zpracování dat – matematická statistika pro každého. Grada, Praha 1992.



---

## CÍL KAPITOLY

### 9. Využití geografických informačních systémů v oblasti ochrany životního prostředí

- definování geografických informačních systémů (GIS) a jejich komponent
- popis modelování geografických objektů
- charakterizace vektorového a rastrového modelu dat
- popis vstupních dat, zprávy dat, zpracování a prezentace dat v geografickém informačním systému

#### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

##### Získáte znalosti v oblasti:

- definování geografických informačních systémů a jejich komponent
- popisu modelování geografických objektů
- charakterizace vektorového a rastrového modelu dat
- popisu vstupních dat, zprávy dat, zpracování a prezentace dat v geografickém informačním systému

##### Budete schopni:

- definovat geografické informační systémy a jejich komponenty
- popsat modelování geografických objektů
- charakterizovat vektorový a rastrový model dat
- popsat vstupní data, zprávu dat, zpracování a prezentaci dat v geografickém informačním systému

**Klíčová slova této kapitoly:** geografický informační systém, geografický objekt, vektorový model dat, rastrový model dat, vstupní data, zpráva dat, zpracování dat, prezentace

#### Definování GIS a jejich komponent

Geografické informační systémy se stávají běžným pracovním nástrojem na mnoha pracovištích v oblasti ochrany životního prostředí, kde se provádějí odborná rozhodnutí na základě hodnocení prostorových jevů. Umožňují řešení celé řady problémů z oblasti ochrany životního prostředí. Nahrazují rutinní práci, zobrazují nové aspekty, ukazují nové možnosti při využívání a aplikaci zkoumaných environmentálních dat.

Jednotlivé definice GIS jsou často odrazem konkrétního použití systému, ale všeobecně jsou chápány jako speciální případ informačního systému.

Geografický informační systém je organizovaný systém geografických informací, software a hardware užívaný ke vstupu, správě, analytickému zpracování a prezentaci prostorových dat (Voženílek, 1998).

Podle Tučka (1998) mohou být názory na funkčnost GIS prezentovány ve formě tří vzájemně se překrývajících pohledů – kartografický, databázový a analytický.

Pro uživatele, pro které je důležitý kartografický aspekt nebo kvalitní prezentace výsledků zpracování je GIS chápán jako prostředek pro zpracování, tvorbu a zobrazování map. V tomto případě je GIS používán při práci s digitálními mapami především pro informačně-komunikační funkci mapy.

Databázový pohled zdůrazňuje význam správně navrhnuté a organizované databáze. Prvotní příčinou budování informačního systému (IS) je potřeba inventarizace, správa a prezentace údajů. Jednotlivé položky databáze obsahují údaje o své poloze na zemském povrchu. Prostorová lokalizace má většinou úlohu spojovacího klíče, pomocí kterého se dají seřazovat, třídit, klasifikovat a selektovat databázové údaje. Aplikacemi GIS v tomto směru jsou městské informační systémy, informační systémy o území, systémy řízení inženýrských sítí, systémy řízení dopravy atd.

Analytický pohled vyzdvihuje možnosti prostorové analýzy, syntézy poznatků a modelování se zaměřením na krajinu a v ní probíhající procesy.

Z definice GIS vyplývá, že se jedná o komplexní systém, který je složen z několika komponentů – hardware, software, geografických informací a personální složky.

Hardwarová složka využívá různé počítačové platformy – od osobních počítačů (PC) přes pracovní stanice až po víceuživatelské systémy. GIS vyžadují specializované periferie pro vstup a výstup údajů. Pro vstup údajů jsou využívány tyto periferní zařízení: klávesnice, myš, digitizér, skener, GPS, kapesní počítač, digitální fotoaparát. Jako výstupní zařízení lze uvést: monitor, tiskárna, plotr, GPS, kapesní počítač, datový projektor.

Softwarová složka GIS je většinou složena větším počtem modulů (Tuček, 1998).

Moduly pro vstup údajů umožňují konverzi a verifikaci informací po převedení do digitální formy kompatibilní se systémem.

Úlohou modulů pro transformaci je měnit formu údajů beze změny obsahu, resp. bez cíle vykonat analýzu. Jedná se např. o generalizaci map, reklasifikace, změna měřítko, změna projekce atd.

Moduly pro prostorové analýzy umožňují dotazování a prohledávání geografické databáze, modelování procesů s použitím různých prostředků. Zahrnují prostorové a statistické analýzy, analýzy obrazů, analýzy sítí, syntézy údajů.

Zobrazovací moduly a moduly pro tvorbu výstupů slouží k úpravám výsledků manipulace s údaji z analýz. Výstupy mohou být ve formě map, diagramů, tabulek, grafů zobrazených na periferních zařízeních.

Uživatelské prostředí interpretuje příkazy uživatele a překládá je do formy pochopitelné systémem. Může být implementováno jako příkazový řádek nebo jako systém nabídek (ikon).

Geografické údaje jsou hlavní složkou GIS. Typicky jsou prostorové databáze budovány s použitím národních geodetických a mapových zdrojů. K nim se připojují specifická data konkrétních projektů. Termín primární data je používán pro údaje přecházející přímo z měřících zařízení do prostředí GIS např. data dálkového průzkumu Země (DPZ), z geodetický přístrojů, GPS. Sekundární zdroje zahrnují zpracování údajů, které již byly kompilovány, ale vyžadují konverzi do počítačem čitelného formátu (letecké fotografie, digitalizace, skenování). Atributová složka geografických dat může být importována z externích zdrojů (databázi) nebo mohou být zadány pomocí klávesnice. Důležitost prostorových dat stále roste a jejich tvorba vyžaduje velké finanční prostředky. Důležitým aspektem pro kvalitu dat je jejich údržba a aktuálnost.

Speciálním typem dat, který stále častěji doprovází nejen prostorové údaje jsou metadata. Jedná se o informace, které popisují obsah, reprezentaci, rozsah (prostorový i časový), prostorový referenční systém, kvalitu a administrativní, případně i obchodní aspekty využití digitálních dat.

Zkušenostmi a schopnostmi personální složky jsou velmi ovlivněny přínosy z používání GIS. Problémy s obsluhou v rámci GIS zahrnuje budování týmů, školení uživatelů pro specifické analýzy, technickou údržbu a výběr vhodných systémů, integrace nových technologií atd.

### **Modelování geografických objektů**

Předmětem zkoumání geoinformatiky nejsou reálné objekty, ale jejich zjednodušená reprezentace – model reality.

Dimenze modelovaných objektů jsou odvozeny z počtu rozměrů, kterými jsou entity vyjádřeny:

- objekty bezrozměrné (0D) – jedná se o body, které mají polohu v prostoru, nikoliv však rozměr
- objekty jednorozměrné (1D) – jde o úseky čar, které mají konečnou délku
- objekty dvojrozměrné (2D) – jsou prezentovány polygony, které mají konečnou plochu

- objekty trojrozměrné (3D) – jsou tělesa, která mají objem nebo plochy ohraničující tělesa, která nemají objem.

Pokud je brána do úvahy dynamika objektů, můžeme hovořit o čase jako o čtvrtém rozměru.

Při vstupu dat do GIS je nutné jednoznačně definovat jejich polohu v prostoru pomocí různých prostorových referenčních systémů. Základním systémem pro určování polohy na zemském povrchu je geografický souřadnicový systém, v němž je poloha bodu na zemském povrchu udávána pomocí zeměpisné šířky  $\varphi$  a zeměpisné délky  $\lambda$ . Zeměpisná délka se udává ve stupních, nula odpovídá Greenwichskému (nultému) poledníku. Zeměpisná šířka se udává také ve stupních, nula odpovídá rovníku,  $90^\circ$  odpovídá pólům. Dalším typem zobrazení jsou systémy vztahující se k rovině do níž je povrch Země promítnut, tento způsob promítání se nazývá kartografické zobrazení.

Další důležitou charakteristikou geografických objektů jsou vzájemné prostorové vztahy. V reálném světě jsou tyto vztahy intuitivně chápány, ale pro použití v počítačovém prostředí je nutno tyto vztahy formalizovat. K formalizaci prostorových konceptů je zapotřebí vytvořit příslušná pravidla formálního popisu, čili model prostorových dat. Tyto modely umožňují formální popis těch konceptů, které člověk ke vnímání reálného světa používá. Základní model prostorových dat je znám v tradičně analogovém provedení, v němž jsou prostorová a hlavně geografická data vedena a prezentována v podobě mapy. Tento model rovněž představuje vhodný způsob uložení prostorových dat pro pozdější vizuální hodnocení, případně následnou manuální aktualizaci, měření nebo jiné zpracování.

Bez ohledu na druh, obsahuje mapa dva typy informací – charakteristiku objektu a kde se objekt nachází. Charakteristika objektu je obvykle vyjádřena symbolicky barvou čáry nebo plochy, symboly pro bodové objekty a výplně. Údaj o umístění objektu je na mapě vyjádřen pozicí, v níž je objekt zakreslen. Mapa je pro tento účel vybavena souřadnou sítí, s jejíž pomocí se dá skutečná poloha objektu v krajině odvodit. Tyto informace jsou zabezpečeny také v digitálním modelu prostorových dat.

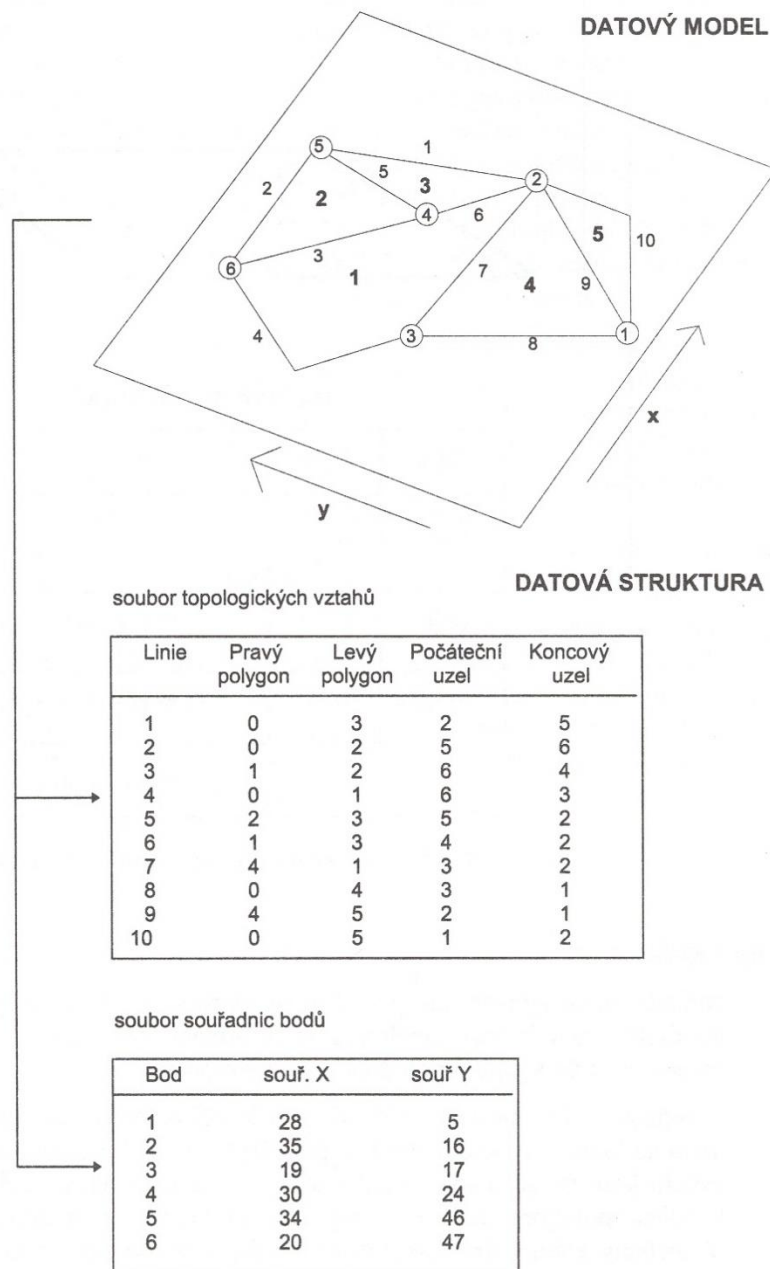
### **Vektorový a rastrový model dat**

Prostorová data mohou být v GIS popsány dvěma modely, a to vektorovým a rastrovým. Vektorový datový model používá pro popis geometrických vlastností objektů lineární geometrické prvky, tzv. vektory. Vektor je určen jako orientovaná úsečka, definována souřadnicemi počátečního a koncového bodu. Pro ukládání vektorových dat se používají dva způsoby – nespojené vektory a topologický model.

Nespojený model (špagetový model) představuje soubor vektorů v podobě souřadnice X,Y bez jakékoliv informace o vztahu k okolním objektům (viz obr. 9.1). Dvourozměrný model je zde převeden do seznamu, tedy do jednorozměrného modelu. Tento model je vhodný především pro zobrazování a uplatňuje se převážně v počítačové grafice a digitální kartografii.

Topologický model je určen záznamem linií tvořící mapu ve formě rovinného grafu. Jednotlivé linie odpovídají hranám grafu a jejich počáteční a koncové uzly uzlům grafu (viz obr. 9.2). Topologie umožňuje popsat vzájemné prostorové vztahy mezi objekty. Vazby jsou zaznamenány ve třech typech topologických tabulek – polygonová, uzlová a tabulka spojů. Polohová data jsou uložena ve čtvrtém typu – tabulka souřadnic bodů, která navazuje všechny prvky topologického modelu na reálný svět. Umožňuje výpočet vzdáleností, ploch, průsečíků a dalších číselných parametrů. Atributy jsou obvykle uloženy v samostatných relačních tabulkách.

Topologie umožňuje rychlou analýzu prostorových funkcí bez složitých výpočtů s použitím souřadnic. Příkladem mohou být úlohy získání údajů o relativní poloze mapového elementu vůči jiným objektům (vzdálenost a směr), vybrat objekty ležící uvnitř polygonu, proto jsou topologicky strukturované databáze vhodné pro prostorové operace typu návaznost, propojitelnost, překrývání a síťová analýza.

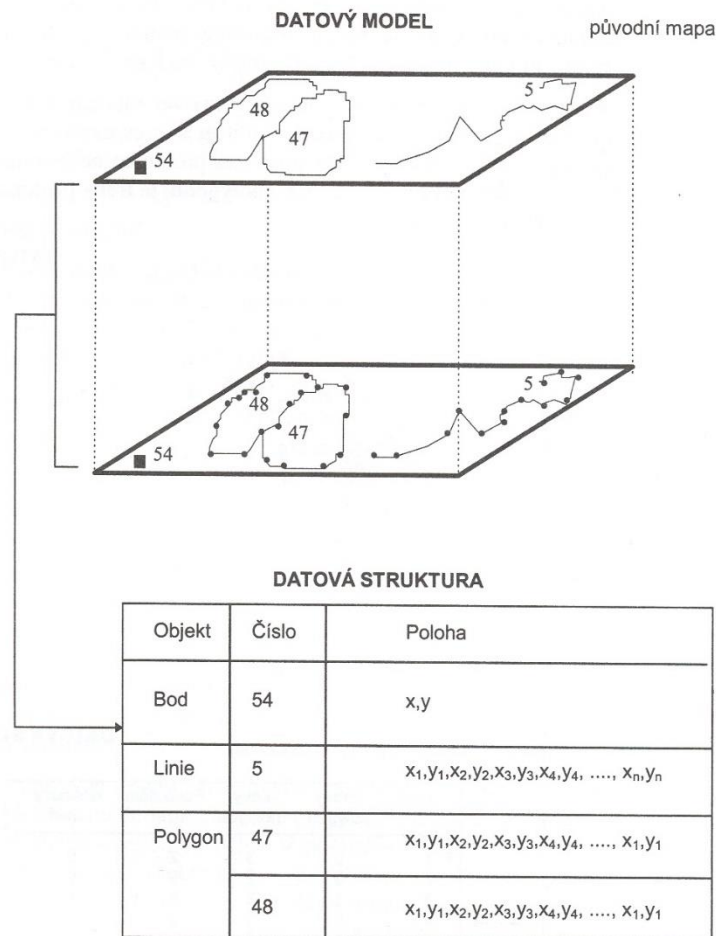


Obr. 9.1. Vektorový špagetový datový model a struktura (Voženílek, 1998).

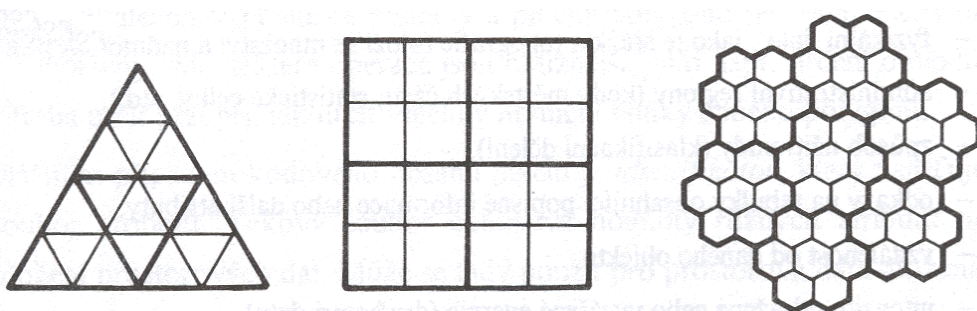
Rastrový model vychází z rozdělení rovinného prostoru pravidelnou, příp. nepravidelnou mříží na jednotlivé díly, označované jako buňky, které představují nejmenší, zpravidla dále nedělitelnou prostorovou jednotku. Základní vlastností tohoto modelu je, že prostorové vztahy mezi prvky jsou implicitně obsaženy přímo v rastru. Praktické aplikace jsou vyvinuty zejména pro pravidelné rastry především se stejnou rozlišovací úrovní. Pravidelná čtvercová mřížka je nejpoužívanější typem rastru, a to hlavně z důvodů, že je kompatibilní se strukturami datových struktur používaných ve výpočetní technice (matice), dále je kompatibilní s řadou hardwarových zařízení pro záznam a výstup dat (skenery, tiskárny, plotry) a také je kompatibilní s kartézskými souřadnicovými systémy. Jako další typy pravidelných rastrů jsou



trojúhelníkový, obdélníkový, šestiúhelný (včelí plástev) a další. Na obr. 9.3 jsou ukázky některých typů pravidelných rastrů.



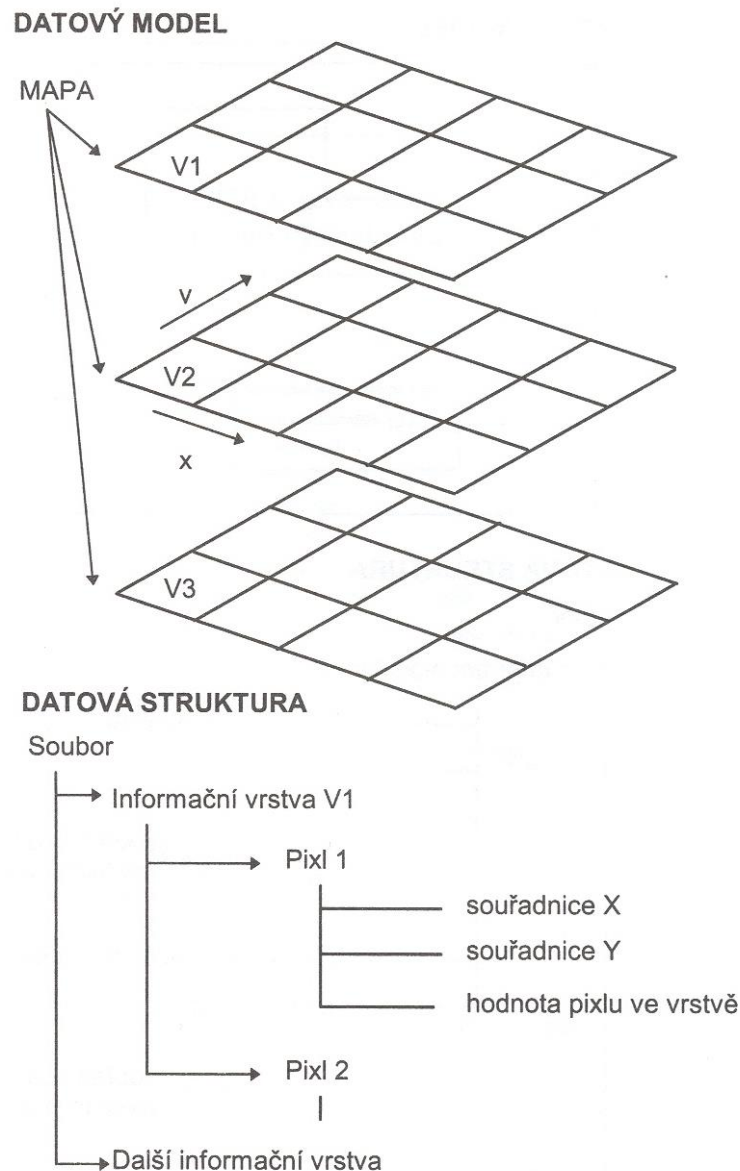
Obr. 9.2. Vektorový topologický datový model a struktura (Voženílek, 1998).



Obr. 9.3. Ukázky některých typů pravidelných rastrů (trojúhelníkový, čtvercový, šestiúhelný) (Kolář, 1997).

Při převodu objektů do rastrového modelu je území rozděleno pravidelnou (nejčastěji čtvercovou) sítí, čímž vzniknou buňky, které mají jednoznačné adresy dané sloupcovými a

řádkovými indexy. Každé buňce je přiřazeno číslo nebo kód, reprezentující hodnotu mapovaného atributu (viz obr. 9.4).



Obr. 9.4. Rastrový datový model a struktura (Voženílek, 1998).

Charakter rastrového modelu ovlivňuje několik faktorů:

1. Způsob stanovení hodnoty atributu v jednotlivých buňkách
  - bodová hodnota změřená kdekoli v ploše buňky
  - aritmetický průměr z několika bodových měření
  - vážený průměr, kde váhou je plošný rozsah jednotlivých hodnot
  - maximální nebo minimální hodnota atributu
  - hodnota atributu s největší váhou
2. Velikost základní buňky rastru – velikost buňky udává prostorové rozlišení rastru, tedy přesnost polohy objektů.
3. Způsob záznamu atributů buněk
  - binární kód – hodnoty 0,1 (jednoduché rastry)

- 8bitový kód – atribut může mít 256 různých celočíselných hodnot (barevné letecké, příp. družicové snímky)
- 24bitový kód – 1,6 milionu celočíselných hodnot
- kontinuální – téměř neomezené množství hodnot (multispektrální, hyperspektrální družicové snímky)

## **Funkce geografického informačního systému**

Funkce GIS lze rozdělit do několika základních bodů:

- vstup dat
- správa dat
- analytické zpracování dat
- prezentace dat

### **Vstup dat**

Postup při získávání prvotních dat je často zabezpečován jednou (příp. více) samostatnou vědeckou nebo technickou metodou.

Nejpřesnější a nejdokonalejší zdroj geometrické části prostorových údajů jsou vstupní data z geodetického měření. Vzhledem k vysoké přesnosti jsou tyto postupy vhodné pro vytváření a doplňování obsahu map velkých měřítek. Pro údaje, které nepotřebují vysokou přesnost polohy lze také využít ruční zaměření pomocí pásma a kompasu.

Stále více užívanou metodou získání polohy prostorových dat je metoda GPS (Global positioning system), která využívá signály družicového systému. Výsledky měření jsou zaznamenávány v digitální podobě, a proto lze snadno importovat přímo do GIS.

Další metodou, kterou lze využít pro vstup dat je digitalizace. Digitalizace je proces, na jehož počátku je analogová předloha (mapa, plán) určena pro převod do digitálního tvaru a na konci digitalizace vystupuje datový soubor komplexně zpracovaný, přehledně uspořádaný, bez nežádoucího šumu a prvků, a tím přizpůsoben k dalšímu zpracování. Výstupy mají vektorový, příp. rastrový formát a všechny entity z podkladových map jsou jednoznačně identifikovatelné.

Za určitý speciální typ digitalizace je možno považovat skenování. Při skenování je použito skeneru pro tvorbu rastrového obrazu mapy, který vstupuje do dalších procesů.

Velkým potenciálem informací disponují data dálkového průzkumu Země (DPZ). Tyto data jsou pořizovány bez přímého kontaktu s objektem a jeho vlastnosti odvozeny na základě elektromagnetického záření, které objekt vysílá (viz kapitola 8). Data mohou být pořizována leteckými a družicovými systémy. Data mohou vstupovat do GIS přímo nebo po zpracování fotogrammetrickými metodami.

Pro atributové údaje prostorových objektů je základním postupem zadávání z klávesnice. Data mohou být přímo vkládána do GIS nebo jsou importována z externí databáze.

## **Správa dat**

Do správy dat zahrnujeme vlastní operace prováděné s geografickými daty. Mezi nejdůležitější patří zejména operace zabezpečující výběr a uložení dat v paměti a dotazovací operace užívané při obecných řešeních problému.

GIS poskytují všechny základní výhody řízené databáze informací jako je například sdílení dat s více uživateli, redukce duplicitních dat nebo zvýšení bezpečnosti, přesnosti, platnosti a aktuálnosti dat. Podstatou správy dat je řízení geografické databáze a v ní uložených dat. V ideálním případě jsou data strukturována tak, aby byla nezávislá na aplikaci, ve které byla pořízena.

Základní prostředky pro správu a manipulace dat jsou:

- interaktivní editování pozice, textu, délek a atributů entit
- posunutí entit do nových poloh
- přepočítání souřadnice podle transformačních rovnic
- přepočítání souřadnice do nového zobrazení
- zvětšování, zmenšování obrazu, výřezy
- ořez zájmové plochy
- spojení dvou sousedních struktur
- převod rastrových struktur do vektorových a naopak
- generalizace, vyhlazení
- dotazování
- geometrické výpočty měrných charakteristik objektů
- statistické výpočty.

## **Analytické zpracování dat**

Analytické zpracování dat zahrnuje provádění prostorových analýz, syntéz a modelování geografických dat, což vyžaduje těsné propojení mezi prostorovými objekty a jejichmi atributovými vlastnostmi. Základem GIS metod jsou elementární GIS operace, které umožňují realizaci složitých analýz. K elementárním operacím patří: dotazování, výpočty ploch a délek, síťové analýzy, povrchové analýzy a digitální model reliéfu, prostorové interpolace, skládání, mapová algebra, zónování (Voženílek, 1998).

Dotazování – grafické dotazování zahrnuje prostorově založené vyhledávání objektů a výběr odpovídajících atributů. Datové dotazování obsahuje oddělené využití hodnot dat k zobrazení vybraných objektů nebo hodnot atributů k určení grafických parametrů geometrických objektů (barva, rastr, obrys, popis).

Výpočty ploch a délek – pro vektorové i rastrové formáty je snadné provést výpočty délek a ploch pro jednotlivé grafické entity. Ve vektorovém formátu jsou výpočty prováděny podle rovnic analytické geometrie, v rastrovém formátu jako součin počtu pixelů a plochy nebo rozměr pixelu.

Síťové analýzy se provádějí v prostředí vektorových systémů a vyžadují speciální síťové struktury. Orientované grafy v liniových vrstvách poskytují možnosti provádět aritmetické operace a s jejich využitím složité síťové úlohy, např. vyhledání nejkratšího spojení.

Povrchové analýzy a digitální model reliéfu – vytváření struktur reprezentující spojitě povrchy probíhá ve vektorovém i rastrovém formátu. V trojrozměrném prostoru jsou simulovány povrchy pro výpočty morfometrických charakteristik, analýzy viditelnosti a další.

Interpolace je součástí mnoha GIS metod, především generování digitálních modelů terénu a povrchových analýz (viz kapitola 6). Jedná se o určení hodnot jevu v místech, kde zkoumaný jev nemá explicitně vyjádřenou hodnotu. Interpolace je základní operací pro generování většiny povrchů.

Skládání představuje kombinaci dvou a více souřadnicově připojených vrstev.

Mapová algebra je operace, při které jsou prováděny aritmetické a analytické operace s vrstvami. Souřadnicově připojené vrstvy se mohou sčítat, dělit, umocňovat atd.

Zónování je proces tvorby obalových zón ve stejné vzdálenosti od geografických entit.

## **Prezentace dat**

Prezentace dat je soubor procedur vyjádření výstupů z manipulací a analýz prostorových dat ve formě kompatibilní pro převod do jiných počítačových struktur, kartografických děl nebo tabulkových formátů. Výstup dat lze uskutečnit na řadu periferních zařízení – monitory, tiskárny, mobilní zařízení atd. Vedle požadavků vyplývajících z typu zařízení je důležitý parametr výstupů, formát a druh zápisu výstupních souborů.

Nejrozšířenější formou výstupů z GIS jsou analogové mapy, vznikající pomocí nástrojů digitální kartografie a počítačové grafiky. Úlohou digitální kartografie je počítačově podporované grafické zobrazení vlastností, prostorového rozmístění a změn objektů na mapách. Mapa je definována jako v měřítku zmenšený a generalizovaný grafický model reality s cílem zprostředkovat vybrané prostorové informace.

## **Kontrolní otázky:**



1. Definujte geografické informační systémy a jejich komponenty.
2. Popište modelování geografických objektů.
3. Charakterizujte vektorový a rastrový model dat.
4. Popište vstupní data, zprávu dat, zpracování a prezentace dat v geografickém informačním systému.

### Úkoly k zamyšlení:

Vysvětlete proces analytického zpracování dat v geografickém informačním systému.



### Korespondenční úkol:

Popište strukturu vstupních dat pro modelování depozice látek znečišťujících ovzduší v geografickém informačním systému.

### Shrnutí obsahu kapitoly

V této kapitole jste se seznámili s definicí geografického informačního systému a jeho komponent, popisem modelování geografických objektů, charakterizací vektorového a rastrového modelu dat, popisem vstupních dat, zprávou dat, zpracováním a prezentací dat v geografickém informačním systému.

### Literatura:

Rapant, P.: Úvod do geografických informačních systémů. Skripta PGS. VŠB – HGF, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS. Ostrava, 2002.

Tuček, J.: Geografické informační systémy, Principy a praxe. Edice CAD & GIS, Computer Press, Praha, 1998.

Voženílek, V.: Geografické informační systémy I. Pojetí, historie, základní komponenty. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, 1998.



---

## CÍL KAPITOLY

### 10. Využití geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší

- charakterizace propojení geoinformačních technologií s výstupy rozptylových modelů
- popis využití prostorových dat ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší
- popis propojení rozptylových modelů s geografickými informačními systémy
- popis návrhů typů a nástrojů prostorových analýz
- popis mapové algebry
- popis modelu fotochemického smogu
- popis dat Informačního systému kvality ovzduší
- popis databáze Corine landcover
- 

### Po úspěšném a aktivním absolvování této KAPITOLY

#### Získáte znalosti v oblasti:

- charakterizace propojení geoinformačních technologií s výstupy rozptylových modelů
- využití prostorových dat ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší
- propojení rozptylových modelů s geografickými informačními systémy
- návrhů typů a nástrojů prostorových analýz
- využití mapové algebry
- využití modelu fotochemického smogu
- popisu dat Informačního systému kvality ovzduší
- využití databáze Corine landcover

#### Budete schopni:

- charakterizovat propojení geoinformačních technologií s výstupy rozptylových modelů
- popsat využití prostorových dat ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší
- popsat propojení rozptylových modelů s geografickými informačními systémy
- popsat návrhy typů a nástrojů prostorových analýz
- popsat mapovou algebru
- popsat model fotochemického smogu
- popsat data Informačního systému kvality ovzduší
- popsat databáze Corine landcover

**Klíčová slova této kapitoly:** geoinformační technologie, rozptylový model, prostorová data, ochrana ovzduší, nástroje prostorových analýz, mapová algebra, model fotochemického smogu, Informační systém kvality ovzduší, databáze Corine landcover

Matematické modely rozptylu emisí umožňují v rámci hodnocení a řízení kvality ovzduší analyzovat kvantitativní vztah mezi emisemi zdrojů a jimi vyvolaných koncentračních polí. Stávají se proto jedním z prostředků hodnocení vlivu emisních zdrojů na jednotlivé složky životního prostředí a na zdraví obyvatelstva. Aplikace geoinformačních technologií v kombinaci s modely rozptylu emisí poskytuje státní správě přehledný a uchopitelný obraz prostorového rozložení koncentrací látek znečišťujících ovzduší v zájmovém území.

Propojení geoinformačních technologií s výstupy rozptylových modelů při nadefinování standardů informačních vstupů a výstupů umožňuje rutinně provádět široce využitelné interpretace prostorově orientovaných dat, např. pro potřeby plnění legislativních požadavků ve státní správě.

Interpretace prostorových dat je podkladem pro:

- vyhodnocení imisního zatížení v oblastech s malou hustotou měřících stanic
- vyhodnocení průměrné roční a maximální krátkodobé koncentrace sledovaných škodlivin
- porovnání imisní situace na území kraje a ČR s limity stanovenými dle prováděcích předpisů k zákonu o ovzduší
- zhodnocení současného stavu kvality ovzduší ve více úrovních (na území ČR, na území kraje, ve vybraných oblastech)
- vyhodnocení prostorového rozložení jednotlivých imisních charakteristik
- vytipování nejcitlivějších oblastí z hlediska návrhu ochranných opatření
- vyhodnocování údajů o zdrojích znečištění v dalších vztazích a souvislostech (např. mezi polohou zdroje, emisí, konfigurací terénu, prouděním větru a výslednou hodnotou koncentrace látek v ovzduší)
- vypracování návrhů opatření zaměřených na klíčové zdroje a faktory znečištění ovzduší
- objasnění příčin současného stavu celkového znečištění ovzduší z hledisek emisních, klimatologických a vzhledem k rozložení zdrojů znečištění ovzduší.

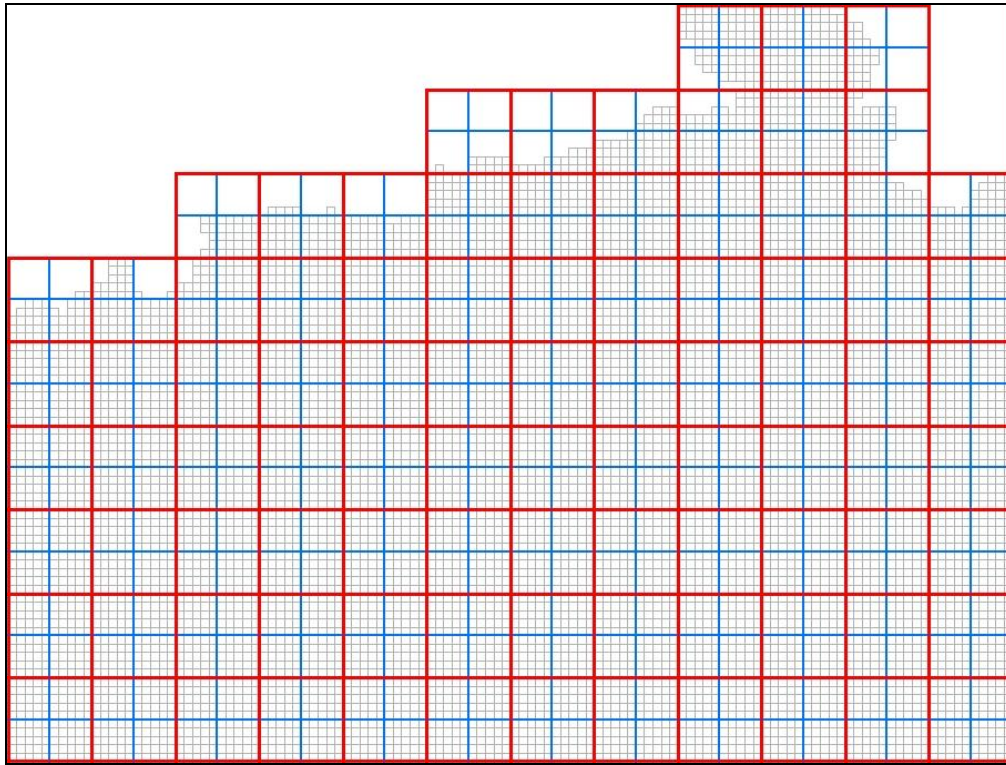
Geoinformační technologie (GIS, DPZ a GPS) jsou využívány při zpracování vstupních prostorových dat a výstupů z modelů pro šíření emisí látek znečišťujících ovzduší.

### **Propojení rozptylových modelů s GIS**



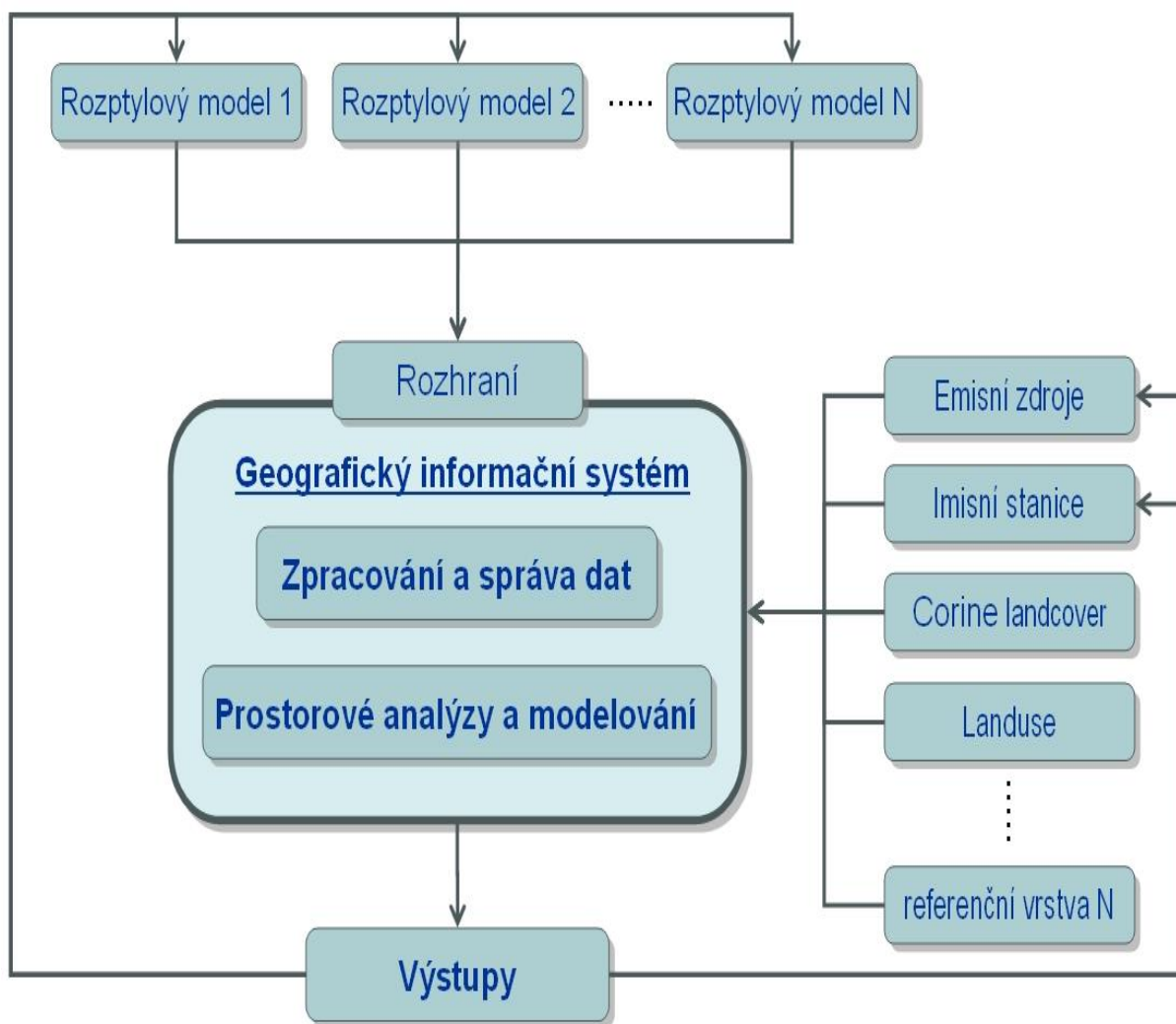
Výstupní data z rozptylových modelů jsou začleněna pomocí vstupního rozhraní do geografického informačního systému. Vstupní interface transformuje data do jednotného souřadného systému a jednotné čtvercové sítě.

Jako jednotná čtvercová síť pro zobrazování modelovaných dat je navržena síť 1x1 km pokrývající celou Českou republiku. V návaznosti na přesnost vstupujících dat lze využít síť 5x 5 km, příp. 10x10 km, které ze sítě 1x1 km vycházejí (viz obr. 10.1).



Obr. 10.1. Síť 1x1 km (šedě), 5x5 km (modře), 10x10 km (červeně).

Při prostorových analýzách je hodnoceno prostorové rozložení modelovaných dat v návaznosti na referenční vrstvy, které budou další částí datové základny GIS. Výsledky analýz je možné využít k celé řadě následných procesů, např. jako jeden ze vstupních parametrů do rozptylových modelů, jako podklady pro postup při aktualizaci referenčních informačních vrstev, porovnání imisní situace na území kraje a ČR, pro potřeby plnění legislativních požadavků atd. Na obr. 10.2 je zobrazeno schéma návrhu propojení modelů s geografickými informačními systémy.



Obr. 10.2. Schéma návrhu propojení modelů s geografickými informačními systémy.

Struktura výstupních dat z rozptylových modelů je následující:

souřadnice bodu, hodnota 1, hodnota 2, hodnota 3 .... hodnota X (viz tab. 10.1a)

Souřadnice určují prostorovou polohu bodu. Jako vstupní souřadný systém do GIS byl zvolen souřadný systém S-JTSK. S-JTSK je standardně používaným systémem na území České republiky (viz kapitola 6). V tomto systému se nachází celá řada státních mapových děl (např. Základní mapy středních měřítek), Základní báze geografických dat (ZABAGED) a také referenční vrstvy, které budou pro další analýzy v GIS využity. Očekávané výstupní souřadné systémy z rozptylových modelů jsou S-JTSK, zeměpisné souřadnice a S-42. Data v zeměpisných souřadnicích a v systému S-42 mohou být následně převedeny do systému S-JTSK. Na obr. 10.3 a 10.4 jsou ukázky výstupů z modelu ČHMÚ SYMOS a modelu KMOP MFF UK v souřadném systému S-JTSK. V tabulce 10.1 je příklad transformace výstupních dat z rozptylového modelu pro vstup do GIS.

Tab.10.1. Příklad transformace výstupních dat z rozptylového modelu (a) pro vstup do GIS (b).

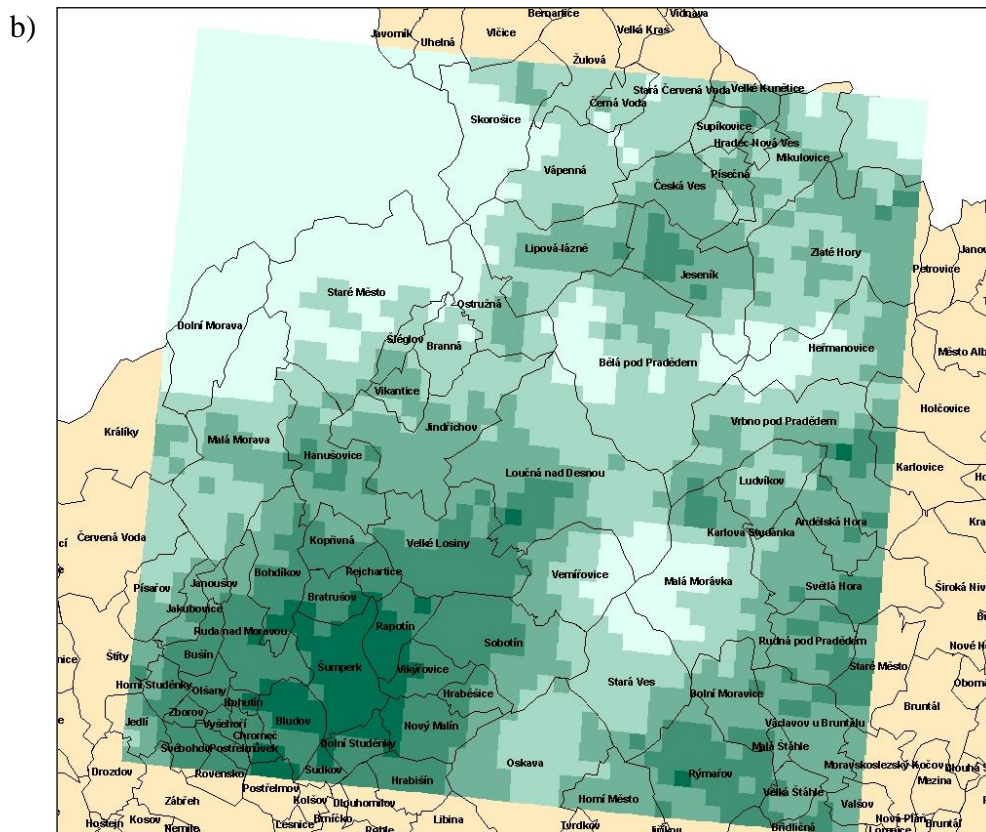
a) Zeměpisné souřadnice

LAMBDA	FI	NO	O3	NO2
17.215	50.015	.118E-01	.547E+01	.478E-01
17.830	50.182	.115E-06	.418E-03	.467E-06
17.154	50.122	.119E-01	.102E+02	.479E-01
17.194	50.072	.826E-03	.910E+01	.346E-02
16.783	50.144	.409E-03	.539E+01	.171E-02
17.076	50.143	.197E-02	.592E+01	.799E-02
16.927	50.221	.196E-02	.193E+01	.778E-02

b) Souřadnice v systému S-JTSK

X_JTSK	Y_JTSK	NO	O3	NO2
-576304	-1081978	0,038078	84,25	0,15089
-575304	-1082083	0,032399	83,94	0,12828
-574305	-1082189	0,045813	84,16	0,18206
-573305	-1082294	0,080442	85,02	0,29717
-572305	-1082399	0,105627	85,18	0,36103
-571306	-1082503	0,126700	85,02	0,41712
-570306	-1082608	0,077010	84,32	0,29173





Obr. 10.4. Ukázka výstupu z modelu KMOP MFF UK v souřadném systému S-JTSK s referenční vrstvou obcí ČR v měřítku 1 : 200 000, a) bodové pole, b) zobrazení vypočítané charakteristiky čtvercové sítě 1x1 km.

## Návrh typů a nástrojů prostorových analýz

Pro posouzení modelových výstupů v širším kontextu dalších informací o hodnoceném území jsou využity nástroje prostorových analýz.

Prostorové analýzy představují kolekci technik, které vznikly v různých vědních oborech a jejichž cílem byla analýza dat s důrazem na jejich prostorové vztahy. Významné postavení mezi těmito obory zaujímá statistika, ale řada postupů byla odvozena v geografii, geostatistice, environmentální informatice, územním plánování a urbanizmu.

Prostorové analýzy jsou souborem technik pro analýzu a modelování lokalizovaných objektů, kde výsledky analýz závisí na prostorovém uspořádání těchto objektů a jejich vlastností. Prostorové analýzy dat jsou spjaty se studiem vzájemného uspořádání prostorových dat.

Zvláště se zabývají vyhledáváním nových vztahů mezi uspořádáním a atributy objektů nebo geoprvky ve studované oblasti a s modelováním těchto vztahů s cílem dosáhnout jejich lepšího porozumění a předpovídání vývoje v oblasti (Horák, 2002).

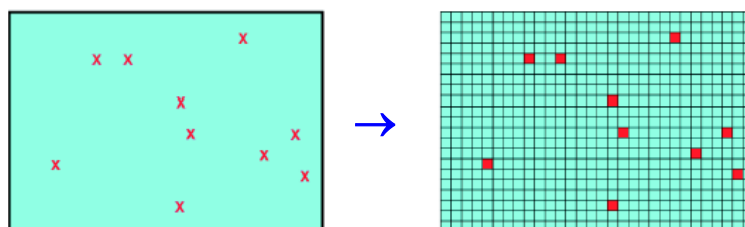
Soubor dat, který bude předmětem zkoumání není homogenní, co se týče typů objektů. Mezi data, jejichž hodnoty mohou prezentovat určitý plošný objekt, můžeme zařadit modelované povrchy – výstupy z modelů a interpolací, které jsou sice svou povahou bodové, ale mohou být interpretovány plošně některou z metod vizualizace např. pomocí izolinií nebo pravidelné čtvercové sítě. Jiným typem plošných objektů mohou být administrativní celky s atributovými daty demografických charakteristik (počet obyvatel, hustota zalidnění, věková struktura), také vrstvy landuse, landcover a jiné. Dalším typem objektů mohou být skutečné bodové objekty např. emisní zdroje a imisní stanice.

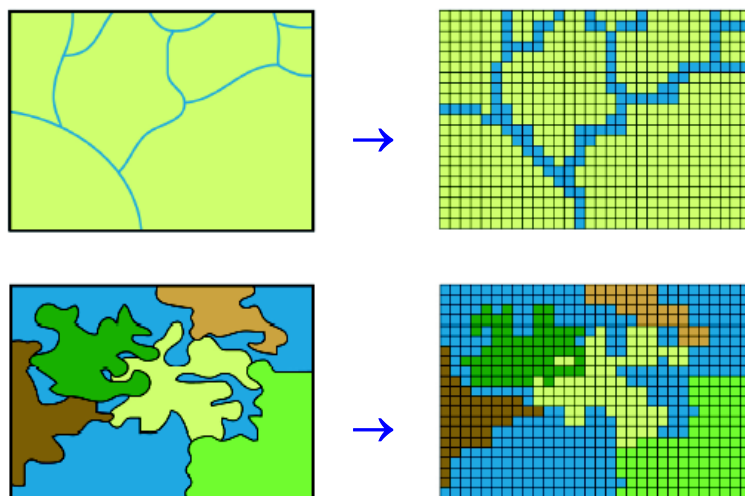
Všechna tato data vstupují do vzájemných prostorových analýz. Z důvodu různorodosti dat, existuje pro analýzy navržena metoda buňkového modelování (cell-based modeling) jejíž základy položila Tomlin (1990). Buňkové modelování pracuje se souborem rastrových dat (vrstev), jejichž velikost buňky (pixelu) je shodná. Jednotlivé vektorové vrstvy, proto jsou převedeny na rastrové (viz obr. 10.5). Schéma vstupu rastrových dat do prostorové analýzy je na obr. 10.6.

V buňkovém modelování lze efektivně využít nástroje mapové algebry. Mapová algebra je počítačový jazyk pro popis analýz prostorového modelování s použitím rastrových (buňkových) dat. Při zpracování se zvláště využívají operátory a funkce jazyka. Operátory vykonávají matematický výpočet uvnitř nebo mezi jednotlivými rastrovými daty, konstantami a jejich kombinacemi.

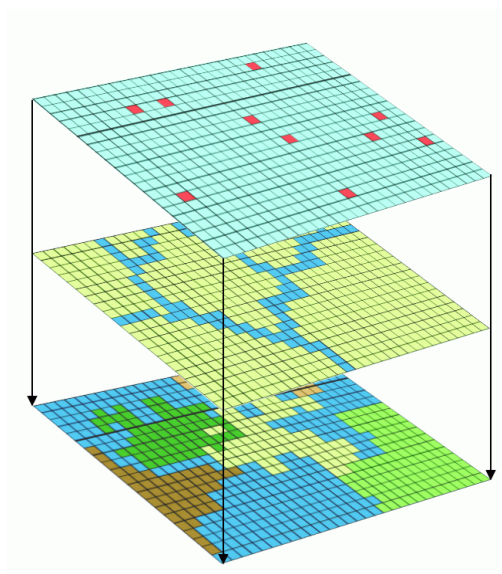
Typy operátorů:

- aritmetické (+, -, \*, /)
- Booleovské (pravda, nepravda)
- relační (<, >, =)
- bitových přesunů (binární posun doleva, doprava)
- kombinatorické
- logické
- kumulativní
- přiřazovací





Obr. 10.5. Ukázka transformace bodových, liniových a polygonových vektorových dat na rastrové (McCoy, Johnston, 2001).

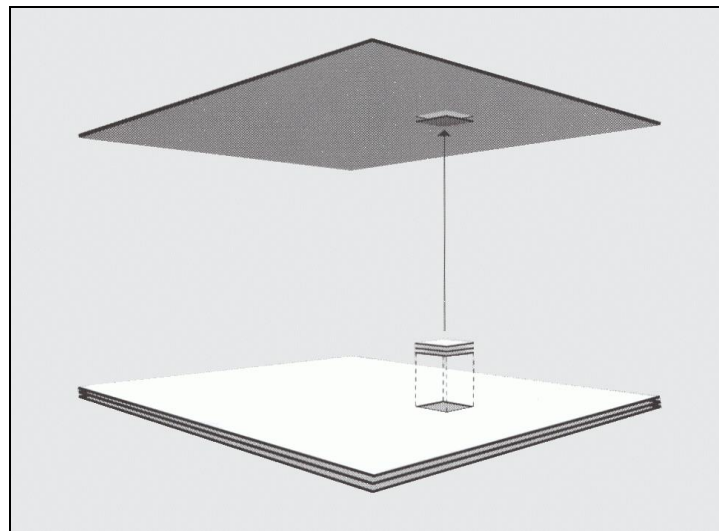


Obr. 10.6 Schéma vstupu rastrových dat do prostorové analýzy (McCoy, Johnston, 2001).

## Funkce mapové algebry

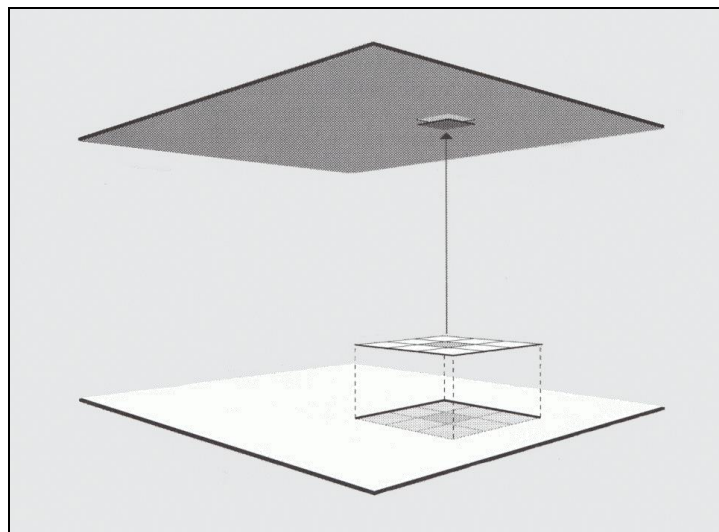
Funkce mapové algebry jsou rozděleny na lokální, fokální, zonální a globální.

Lokální funkce jsou vykonávány v individuální hodnotě, uložené v dané buňce (viz obr. 10.7). Vypočítává se nová hodnota z hodnoty existující v jedné nebo více informačních vrstvách. Slouží k tomu funkce matematické, trigonometrické, exponenciální, logaritmické, reklasifikační, selekční, statistické.



Obr. 10.7. Příklad lokální funkce (Tomlin, 1990).

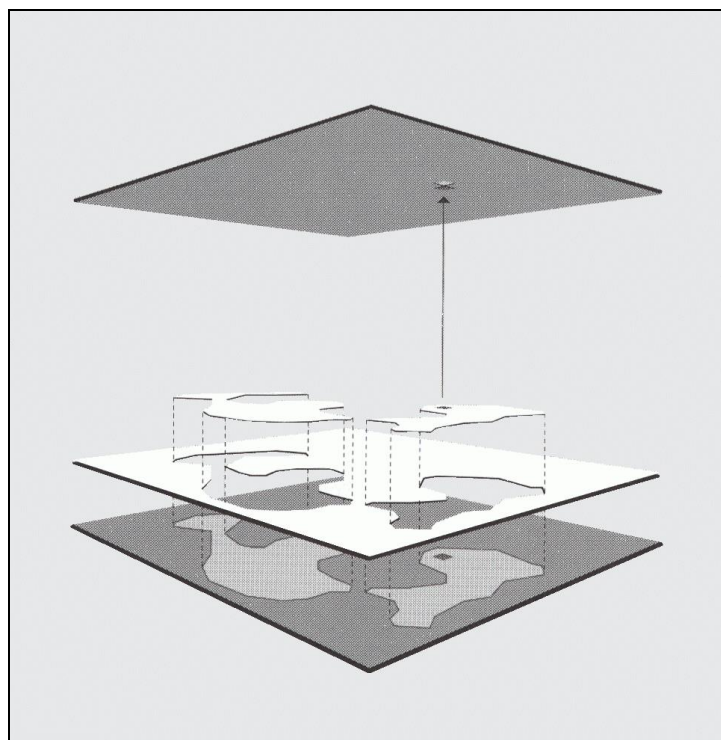
Fokální funkce se vykonávají v definovaném okolí každé buňky vypočítáním nové hodnoty z existujících hodnot v definovaném okolí (viz obr. 10.8). Nejčastěji se jedná o nejbližší okolí buňky (3x3), obecně však může být okolí definováno v širším pojetí (čtvercové, obdélníkové, kruhové) k čemuž slouží prostředky pro definování sousedského okolí.



Obr. 10.8. Příklad fokální funkce (Tomlin, 1990).

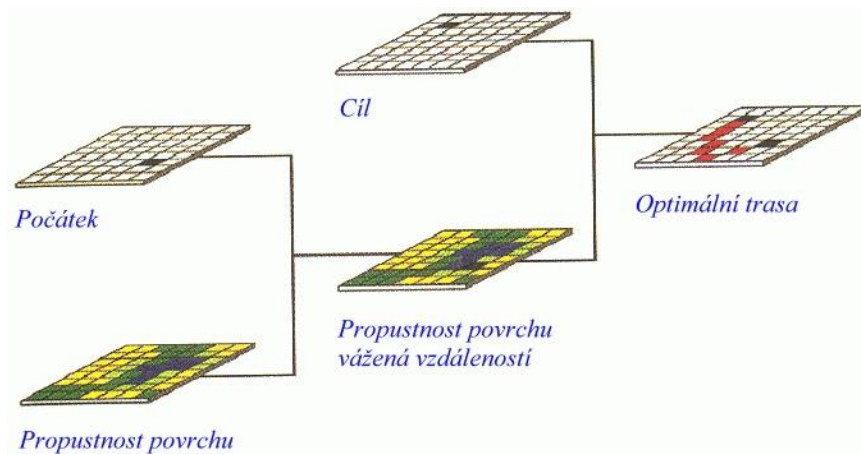


Zonální funkce se vykonávají na specifické oblasti informační vrstvy. Nové hodnoty se vypočítávají z hodnot analyzované vrstvy, které patří do zóny definované v jiné informační vrstvě (viz obr. 10.9). Statistické zonální funkce počítají statistické charakteristiky zkoumaných dat (aritmetický průměr, suma, směrodatná odchylka, maximum, minimum atd.). Geometrické zonální funkce určují geometrické charakteristiky dat (např. plocha, obvod, tvarové charakteristiky).



Obr. 10.9. Příklad zonální funkce (Tomlin, 1990).

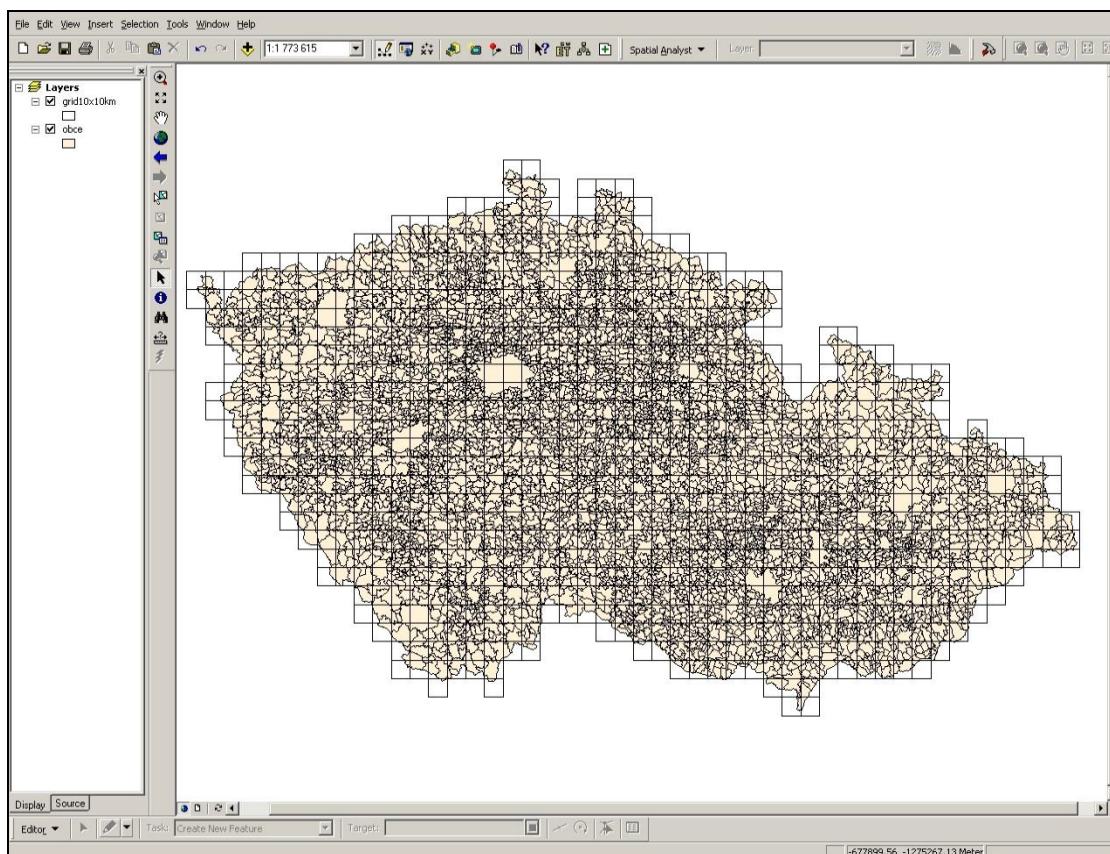
Globální funkce se týkají všech buněk informační vrstvy (obr. 10.10). Jsou zaměřeny na analýzy Euklidiánských průmětových vzdáleností a na generování pohybu přes frikční povrchy.



Obr. 10.10. Příklad globální funkce (McKoy, Johnston, 2002).

## Softwarová platforma GIS

Prostorové analýzy probíhají v modulu ArcGIS Spatial Analyst. Produkt ArcGIS splňuje všechny požadavky pro zpracování dat od vstupu dat, přes správu a analýzy dat po grafické výstupy. Tento software je univerzální, cenově dostupný a na pracovištích GIS hojně využíván. Platforma ESRI zajišťuje možnost výstupu z rozptylového modelu SYMOS ve formátu shp. V tomto formátu jsou také uložena referenční data, která mohou být využita při prostorových analýzách (landuse, landcover, admistritavní celky a další). Na obr. 10.11 je ukázka softwarového prostředí ArcGIS 8.



Obr. 10.11. Ukázka softwarového prostředí ArcGIS 8.

Pro účely prostorového modelování výstupů z jednotlivých modelů je navržena jednotná síť bodů, do které mohou být počítány hodnoty rozptylových modelů.

### **Inventarizace vstupních informačních vrstev**

V této části jsou popsány informační vrstvy, které vstupují do GIS. Jedná se především o modelovaná data rozptylovým modelem SYMOS ČHMÚ a modelem fotochemického smogu KMOP MFF UK a dále o referenční vrstvy – data ISKO, pole interpolovaných hodnot, Corine landcover, landuse, administrativní celky ČR, demografické údaje a další.

Do GIS vstupují výstupní data z modelů pro šíření emisí znečišťujících látek. Modelové výpočty transportu a rozptylu znečištění v atmosféře představují důležitý nástroj pro posouzení vlivu stávajících nebo plánovaných zdrojů na kvalitu ovzduší v zájmové lokalitě.

### **Rozptylový model SYMOS**

Jedním ze vstupních rozptylových modelů je model SYMOS Českého hydrometeorologického ústavu. V České republice je využívána metodika SYMOS'97 (Systém modelování stacionárních zdrojů). Metodika je určena především pro vypracování rozptylových studií jakožto podkladu pro hodnocení kvality ovzduší. Metodika není použitelná pro výpočet znečištění ovzduší ve vzdálenostech nad 100 km od zdrojů a uvnitř

městské zástavby (na křižovatkách nebo v kaňonech ulic). Model rovněž nelze použít pro výpočet znečištění pod inverzní vrstvou ve složitém terénu a při bezvětří.

V metodice je použit gaussovský model rozptylu kouřové vlečky a stabilitní klasifikace podle Bubníka a Koldovského. Podstatným zlepšením je nové pojetí vlivu zvlněného terénu, které objektivizuje rozhodování mezi horním a dolním odhadem koncentrací. Další důležitou úpravou je snížení příspěvku zdrojů k přízemním koncentracím v případě, že referenční bod leží hluboko pod úrovní paty komína, ve větších nadmořských výškách nad úrovní nízkých zdrojů a v závětrí kopců. Bylo též zpřesněno zahrnutí změn rychlosti větru s výškou. Nový postup výpočtu efektivní výšky zdroje dovoluje počítat koncentrace od zdrojů v celém rozsahu teplot exhalací, v malých vzdálenostech od zdrojů a rovněž v případě, že jednotlivé komíny jsou tak blízko sebe, že se vlečky vzájemně ovlivňují. Ve výpočtu je též zohledněna depozice (suchá a mokrá) a transformace znečišťujících látek pomocí jednoho koeficientu zeslabování (Bubník et al., 1998).

### **Model fotochemického smogu KMOP MFF UK**

Dalšími vstupními daty mohou být data z modelu fotochemického smogu katedry meteorologie a ochrany prostředí Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

Fotochemický smog (oxidační smog, smog kalifornského či losangelského typu) je složitá směs anorganických a organických sloučenin. Jde o směs oxidů dusíku, těkavých organických látek (VOC) a ozonu. První dvě jsou do ovzduší dodávány přímými antropogenními emisemi (spalovací procesy obecně, doprava, chemické a jiné průmyslové technologie) a bývají též označovány jako prekurzory ozonu, který se z nich za dostatečné intenzity přímého slunečního záření vytváří sériemi fotochemických reakcí probíhajících ve spodních hladinách ovzduší. Výsledná směs látek má silně agresivní a dráždivé účinky s velmi negativním působením na biosféru včetně člověka a na nejrůznější materiály anorganického charakteru.

Modelování fotochemického smogu zahrnují širokou škálu atmosférických dějů fyzikálního i chemického charakteru (přenos příměsí prouděním vzduchu, turbulentní difúze, interakce proudění vzduchu se zemským povrchem, sedimentace příměsí, chemické reakce ovlivňované slunečním zářením, teplotou a vlhkostí vzduchu). Model je svojí základní konstrukcí založen na principu tzn. puff-modelu. Z jednotlivých zdrojů emisí jsou v podobě trajektorií vzduchových částic konstruovány osy příslušných vleček znečišťujících příměsí, avšak na rozdíl od běžných vlečkových modelů je každá taková vlečka uvažována jako sled částečně se překrývajících se elementů, tzv. puffů. Hlavní výhodou modelů tohoto typu je schopnost adekvátní reakce na časově rychle proměnné meteorologické podmínky a emise a také především schopnost efektivně zachycovat procesy vzájemného mísení mezi vlečkami různého chemického složení a modelovat s tím spojené rychle probíhající chemické reakce (Bednář et al., 1998).

## **Data Informačního systému kvality ovzduší (ISKO)**

Referenční vrstvou vstupující do GIS mohou být data z Informačního systému kvality ovzduší (ISKO). Tento informační systém soustřeďuje a všeobecně zpřístupňuje naměřená data z významných sítí monitorujících látky znečišťující ovzduší. Umožňuje tak efektivnější všeobecné využití nákladně získávaných dat. Zejména souhrnné územní hodnocení imisního zatížení a analýza časového vývoje stavu znečištění ovzduší na území státu jsou nemyslitelné bez soustředění a systematické archivace všech dostupných údajů o imisích. Soustavná potřeba objektivizace těchto hodnocení navíc vyžaduje i současný přístup k emisním, meteorologickým a klimatickým datům a geografickým údajům o rozmístění zdrojů znečišťování, rozsahu a lokalizaci lesních porostů, sídelních jednotek, vedení komunikací a podobně (ČHMÚ, 2003).

Součástí systému je také Registr emisních zdrojů znečištění ovzduší (REZZO), který archivuje data o stacionárních a mobilních zdrojích znečišťování ovzduší.

## **Corine landcover**

Tato databáze vznikla jako výstup z projektu CORINE Land Cover, který byl v České republice řešen v rámci regionálního programu PHARE pro životní prostředí (MŽP, 1997). Celoevropský program CORINE je zaměřen na shromažďování informací o životním prostředí na evropském kontinentu. Jednou z jeho aktivit je vytvoření jednotné tematické mapy kategorií povrchu Evropy v měřítku 1:100 000. V téměř všech evropských zemích je hotova digitální vektorová databáze tvořená podle jednotné metodiky (Heymann, 1993). Databáze Land Cover České republiky v měřítku 1:100 000 byla vytvořena kolektivem pracovníků několika institucí pod koordinací firmy GISAT, Praha.

Hlavním zdrojem dat pro tuto databázi byly družicové scény obsahující data pořízená skenerem Landsat TM a pokrývající celé území České republiky. Z těchto dat byly vytvořeny barevné obrazové předlohy, geometricky transformované do mapové projekce vojenských topografických map S-42. Pro každý mapový list topografické mapy 1:100 000 byla provedena ruční interpretace této předlohy, při níž byly zakresleny hranice jednotlivých druhů povrchu. Přitom bylo dodržováno pravidlo, že nejmenší mapovaná jednotka má plochu 25 ha a liniový útvar šířku minimálně 100 m.

Tyto hranice byly posléze digitalizovány, převedeny do vektorového formátu a spojeny do jednotné celorepublikové databáze. Navíc byly provedeny obsahové kontroly napojení těchto hranic jak mezi jednotlivými mapovými listy uvnitř České republiky, tak i na jejich hranicích s podobným dílem sestaveným v okolních státech.

Druhy povrchů byly stanoveny skupinou expertů tak, aby byly shodné pro většinu států a přitom umožnily zmapovat i regionální specifika. Celá nomenklatura je pojata hierarchickým způsobem a obsahuje tři úrovně, které jsou povinné ve všech zemích. Na této úrovni je určeno 44 kategorií označených třiciferným kódem (viz Seznam kategorií s kódy).

Databáze je uchovávána v digitální podobě ve formě vektorového souboru (landcover) a rastrového souboru (družicová data). Družicová databáze obsahuje data z devíti scén pořízená v období od 29.srpna 1990 do 9.srpna 1992. Data jsou pořízena s rozlišením 30 m v šesti spektrálních pásmech z viditelného a blízkého infračerveného oboru spektra. Scény mají rozměr 180 km x 175 m a jsou řazeny se 30% překryvem od západu k východu ve dvou řadách č. 25 (severní) a č. 26 (jižní).

Vektorová databáze landcover je tvořena polygony s identifikačním kódem označujícím druh povrchu. Na území České republiky bylo identifikováno 29 tříd. Průměrně se vyskytuje 800 polygonů na jednom mapovém listu 1:100 000.

Seznam kategorií Corine landcover s kódy:

- |  |   |
|--|---|
| 1 Uměle vytvořené plochy                   | 211 Nezavlažovaná orná půda               |
| 11 Městská zástavba                        | 212 Trvale zavlažovaná orná půda          |
| 111 Souvislá městská zástavba              | 213 Rýžová pole                           |
| 112 Nesouvislá městská zástavba            | 22 Trvalé plodiny                         |
| 12 Průmyslové, obchodní a dopravní oblasti | 221 Vinice                                |
| 121 Průmyslové a obchodní areály           | 222 Sady, chmelnice a zahradní plantáže   |
| 122 Silniční a železniční síť s okolím     | 223 Olivové háje                          |
| 123 Přístavy                               | 23 Travní porosty                         |
| 124 Letiště                                | 231 Louky a pastviny                      |
| 13 Doly, skládky a staveniště              | 24 Smíšené zemědělské oblasti             |
| 131 Oblasti dočasné těžby surovin          | 241 Jednoleté a trvalé kultury            |
| 132 Haldy a skládky                        | 242 Směsice polí luk a trvalých plodin    |
| 133 Staveniště                             | 243 Zemědělské oblasti s přiroz. vegetací |
| 14 Oblasti zeleně a rekreační oblasti      | 244 Zemědělsko – lesní oblast             |
| 141 Městské zelené plochy                  | 3 Les a polopřírodní vegetace             |
| 142 Sportovní a rekreační plochy           | 31 Lesy                                   |
| 2 Zemědělské oblasti                       | 311 Listnaté lesy                         |
| 21 Orná půda                               | 312 Jehličnaté lesy                       |

- 313 Smíšené lesy
- 32 Travnaté a nebo křovinaté porosty
  - 321 Přírodní louky
  - 322 Stepi a křoviny
  - 323 Tvrdoлистá vegetace
  - 324 Nízký porost v lese
- 33 Holiny a místa téměř bez vegetace
  - 331 Pláže, duny, písek
  - 332 Skály
  - 333 Řídká vegetace
  - 334 Spálená vegetace
  - 335 Ledovce a věčný sníh
- 4 Mokřady
  - 41 Mokřady ve vnitrozemí
    - 411 Mokřiny a močály
    - 412 Rašeliniště
  - 42 Mokřady na mořském pobřeží
    - 421 Solné bažiny
    - 422 Saliny
    - 423 Přílivové oblasti
- 5 Vody
  - 51 Sladké vody
    - 511 Vodní toky
    - 512 Vodní plochy

## **Pole interpolovaných hodnot**

Do GIS vstupují imisní data interpolovaná do pravidelné sítě 1x1 km. Jedná se o interpolace údajů z monitorovacích stanic z databáze ISKO. Pro interpolaci byla použita metoda krigingu, která našla uplatnění v řadě environmentálních aplikací, a to zejména pro prostorové modelování mokré depozice síranů, dusičnanů, amonných iontů, koncentrace vodíkových iontů ve srážkách, imisní koncentrace SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> atd. Pro interpolaci byl použit program Surfer společnosti Golden Software, Inc.

Kriging vychází z tradičně deterministických interpolačních metod, ve kterých určení interpolačních vah závisí na kovariační struktuře regionalizované proměnné (v této aplikaci jde o koncentrace řešených složek v ovzduší a ve srážkách – viz kapitola 6).

Výstupem statistického modelu krigingu pro jednu řešenou složku je 144 000 interpolovaných hodnot koncentrací řešené složky, které se vztahují k 80 150 čtvercům 1x1 km pravidelné sítě, která pokrývá celé území ČR.

## **Administrativní celky České republiky**

Soubor vrstev administrativních celků – katastrální území, obce, obce s rozšířenou působností, okresy, kraje, státní hranice. Vrstvy byly vytvořeny Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním.

## **Demografické údaje**

Vrstva je získána z výsledků sčítání lidu domů a bytů v České republice v roce 2001. Autorem je Český statistický úřad Praha. Jednotlivé položky jsou vztaženy k obcím České republiky k 1.1.2002.

Geografické informační systémy jsou široce použitelným nástrojem, který lze aplikovat v nejrůznějších vědních disciplínách. Jejich schopnost propojení polohových a atributových údajů objektů jim umožňuje s pomocí analytických nástrojů vytvářet nové informace o objektech, které lze následně prezentovat metodami digitální kartografie.

## **Kontrolní otázky:**

1. Charakterizujte propojení geoinformačních technologií s výstupy rozptylových modelů.
2. Popište využití prostorových dat ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší.





3. Popište propojení rozptylových modelů s geografickými informačními systémy
4. Charakterizujte typy a nástroje prostorových analýz.
5. Popište využití mapové algebry.
6. Popište model fotochemického smogu.
7. Popište data Informačního systému kvality ovzduší.
8. Charakterizujte databázi Corine landcover.

### Úkoly k zamyšlení:

Vyberte a popište vhodné kategorie Corine landcover k hodnocení deponice acidifikačních látek na území České republiky.



### Korespondenční úkol:

Navrhněte propojení depozičního modelu s geografickým informačním systémem.



### Shrnutí obsahu kapitoly

V této části učebního textu jsou předloženy teoretické a praktické možnosti geografických informačních systémů ve státní správě v oblasti ochrany ovzduší. Je zde uvedena definice GIS, dále jsou popsány složky GIS, způsoby modelování geografických objektů a jednotlivé funkce GIS.



V další části této kapitoly je popsán postup propojení rozptylových modelů s geografickým informačním systémem. Jsou zde prezentovány ukázky očekávaných výstupů z modelů a jejich transformace do GIS. Je navržena softwarová platforma, souřadný systém a referenční čtvercová síť. Jsou popsány nástroje, které jsou využívány v prostorových analýzách.

### Literatura:

Bednář, J., Brechler, J., Halenka, T., Kopáček J.: Modelování fotochemického smogu. Ochrana ovzduší 5, Česká asociace pro prevenci znečištění ovzduší, Žatec., 1998.

Bubník, J., Keder, J., Macoun, J., Maňák, J.: SYMOS'97 Systém modelování stacionárních zdrojů. Metodická příručka. ČHMÚ, Praha, 1998.

Burrough, P.A.: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12. Clarendon Press, Oxford, 1986.

ČHMÚ: Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2002. ČHMÚ, Praha, 2003.

Frank, U.A.: Panel-GI Compendium. A Guide to GI and GIS, Pan European Link for Geographical Information, European Communities, Vienna, 2000.

GÚ ČSAV: Atlas životního prostředí a zdraví obyvatelstva ČSFR, Brno, 1992.

Heymann, Y.: Corine Land Cover. Technical Guide. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1993.

Horák, J.: Prostorová analýza dat. VŠB-TU, Ostrava, 2002.

Huxhold, E.W.: An Introduction to Urban Geographic Information Systems. Oxford University Press, 1991.

Kolář, J.: Geografické informační systémy 10. ČVÚT, Praha, 1997.

Konečný, M., Rais, K.: Úvod do geografických informačních systémů. Univerzita J. E. Purkyně v Brně. SPN, Praha, 1985.

Laurini, R., Thompson, D.: Fundamentals of Spatial Information Systems. The APIC Series, Number 37. Academic Press Limited, London, 1992.

Mather, M.P.: Geographical Information Handling – Research and Applications. John Wiley & Sons, Chichester, England, 1994.

McCoy, J., Johnston, K.: Using ArcGIS Spatial Analyst. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California, 2002.

MŽP: Databáze Land Cover České republiky. MŽP, Praha, 1997.

Rapant, P.: Úvod do geografických informačních systémů. Skripta PGS. VŠB – HGF, Institut ekonomiky a systémů řízení, oddělení GIS. Ostrava, 2002.

Ripple, J.W.: Fundamentals of Geographic Information Systems: A Compendium. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, 1989.

Ross, C.S.: Understanding Information Systems. West Publishing Company, St. Paul, Minneapolis, 1994.

Šíma, J.: Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy. VÚGTK, Zdíby, 2003.

Tomlin, C.D.: Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.

Tomlinson, R.: Thinking About GIS. Geographic Information System Planning for Managers. ESRI Press. Redlands, California, 2003.

Tuček, J.: Geografické informační systémy, Principy a praxe. Edice CAD & GIS, Computer Press, Praha, 1998.

Voženílek, V.: Geografické informační systémy I. Pojetí, historie, základní komponenty. Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, 1998.

Zapletal, M.: Use of geographical information systems for spatial modelling of the sulphur dioxide gas deposition on the territory of the Czech Republic. In: *Proceedings of Fifth European Conference and Exhibition on Geographical Information Systems EGIS/MARI '94*, Paris, France 1994 (edited by Harts, Ottens, Scholten). Egis Foundation, Utrecht/Amsterdam. s. 233-242, 1994.

Zapletal, M.: Atmosférická depozice acidifikačních činitelů na území České republiky (Doktorandská dizertační práce - Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava). Slezská univerzita v Opavě, Opava, 1997.

Zeiler, M.: Modeling Our World. The ESRI Guide to Geodatabase Design. Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands, California, 1999.