STRUKTURÁLNÍ ZMĚNY KVALITY VODY V POVODÍ LABE V KONTEXTU APLIKACE EVROPSKÉ ENVIRONMENTÁLNÍ LEGISLATIVY

Jakub Langhammer

V české části povodí Labe jsme byli v průběhu posledního století svědky mimořádně dynamických změn zátěže přírodního prostředí včetně jeho vodní složky. Rozvoj průmyslových aktivit, intenzivní zemědělství, nárůst osídlení, dopravy a dalších lidských aktivit v krajině vyvolaly v průběhu 20. století enormní nárůst zátěže vodních toků znečištěním. Od počátku 90. let naopak dochází k mimořádně intenzivnímu snížení objemu emisí zejména díky zesílenému tlaku na ochranu přírodního prostředí ze strany národních i evropských institucí, díky mezinárodním programům a přijatým systémovým opatřeními na ochranu vod před znečištěním. Rychlost a rozsah těchto změn jsou unikátní v národním i evropském měřítku; přesto změny jakosti vody v celku povodí Labe není možno hodnotit jako bezvýhradně pozitivní.

Příspěvek hodnotí časovou a prostorovou dynamiku změn v intenzitě znečištění hydrografické sítě povodí Labe v průběhu období 1970 – 2002 a souvislost charakteru změn s implementací evropské environemtnální legislativy, zejména Rámcové směrnice o vodě.

Analýza, provedená na základě nové metodiky geostatistické klasifikace ukázala, že pozitivní změny v látkové bilanci jsou soustředěny především na největší toky – Labe a Vltavu a nejsou doprovázeny obdobným vývojem v celém povodí. Přes pozitivní vývoj jakosti vody v hlavních sídelních a průmyslových regionech v 90. letech zaznamenává převážná většina říční sítě povodí Labe ve většině ukazatelů stálý nárůst znečištění. Na řadě zejména drobných toků navíc po poklesu z počátku 90. let dochází v posledních letech k opětovnému nárůstu zátěže. Těchto oblastí, které představují prioritu z hlediska ochrany před znečištěním, se však zároveň nejintenzivněji dotkne přechodné období pro výstavbu ČOV u drobných a středních komunálních zdrojů do roku 2010, které zde představují hlavní zdroj zátěže.

Klíčová slova: Hydrologie, kvalita vody, znečištění, Labe, GIS, geostatistická analýza

Spatial trends of water quality changes in Elbe river basin in the context of application of EU environmental legislation. *With regard to the water quality changes, the area of the Czech part of the Elbe river basin is extraordinarily dynamic. In the 20th century it experienced an enormous increase of load of pollution. Since the beginning of the 1990´s due to the political and economical changes we have witnessed a particularly intensive decrease in the emission volume and a related increase in water quality of watercourses.*

However, positive changes in the pollution load balance have occurred mainly in the biggest watercourses and these changes have not been accompanied by similar development in the whole river system.

Using a newly created classification methodology the basic models of dynamics of water quality changes in the Elbe river basin have been derived. Based on GIS geostatistical analysis, regions with analogous water quality development trends have been defined for selected parameters and critical areas have been identified. It has become apparent that the prevailing part of the Elbe river basin has been experiencing a gradual increase in pollution. In addition, after a previous decrease, a number of watercourses experienced a recurrence of the increase in load. These areas are priorities for further development and the control of surface water protection against pollution. However, their actual protection is limited by postponement of application of EU directive concerning the waste water treatment at small and medium communal sources until year 2010.

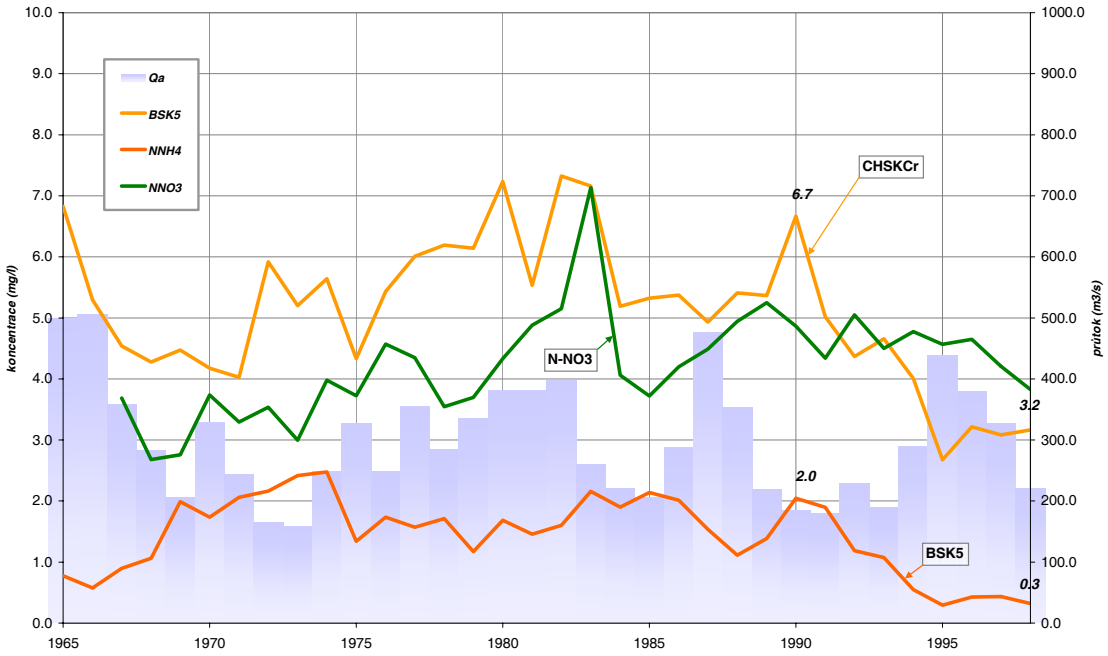
Key words: Hydrology, Water quality, Pollution, Elbe, GIS, Geostatistical analysis

---

1 ÚVOD A CÍL

V průběhu 20. století došlo k několika významným změnám kvality povrchových vod v evropských řekách, včetně toků v rámci povodí Labe. Zatímco ještě na počátku století byla kvalita vody českých toků vhodná pro většinu běžných aktivit, s nástupem rozvoje průmyslu spolu s minimálním ohledem na životní prostředí tak zejména v období po 2. světové válce se situace radikálně změnila. Voda byla postupně degradována na surovinu a řeky postupně byly nuceny absorbovat větší množství odpadů. Stejný vývoj zaznamenala většina vyspělého světa. Dekády 60. a 70. let tak celosvětově představují

období nejvyšší úrovně do té doby prakticky nekontrolovaného znečišťování vod. V západní Evropě i v Severní Americe se od 70. let začaly postupně řešit nejnaléhavější problémy související se znečišťováním toků (De Wit, 1999, EEA, 2002) . V ČR obrat ve vývoji nastal až se změnou politických poměrů po roce 1989. Během jednoho desetiletí se podařilo díky systematickým investicím do čistíren odpadních vod největších průmyslových zdrojů a sídel rychle a významně snížit do té doby kritickou úroveň znečištění našich nejvýznamnějších toků. (viz Langhammer, 2000).
Přelomovým obdobím přitom byla první polovina 90. let, kdy byly zprovozněny nové čistírny odpadních vod (dále ČOV) u největších přímých zdrojů emisí na toku Labe a Vltavy. V důsledku masivní výstavby a intenzifikace ČOV u hlavních zdrojů znečištění poklesly v průběhu deseti let koncentrace hlavních bilančních ukazatelů jakosti vody ve výústním profilu Labe na úroveň, která v řadě ukazatelů byla dokonce nižší než na počátku období sledování v 60. letech (obrázek 1).



Obr.1 Vývoj základních ukazatelů jakosti vody ve profilu Labe - Děčín v období 1970-2000. Data ČHMÚ
Fig. 1. Water quality changes in Czech Elbe mouth profile (Labe-Děčín) in period 1970-2000 for parameters BOD-5, COD and N-NO_3. Data CHMI.

K pozitivním změnám však nedošlo v rámci celé říční sítě. Při bližším pohledu na dynamiku vývoje zátěže celé hydrografické sítě českého povodí Labe naopak zjišťujeme, že na řadě toků v různých ukazatelích kvalita vody stagnuje nebo se dokonce zhoršuje.
Příspěvek se zabývá klasifikací dynamiky vývoje kvality vody v povodí Labe z kvalitativního, časového a prostorového hlediska, identifikací kritických aspektů vývoje a možností jejich řešení v kontextu implementace environmentální legislativy EU v ČR. Výsledky ukazují na současný charakter é priority

2 MATERIÁL A METODY

Pro potřeby objektivní klasifikace prostorové a časové dynamiky vývoje kvality vody v ploše povodí byla v rámci výzkumného projektu autorem vytvořena nová metoda klasifikace dynamiky změn jakosti vody. Řešení je založeno na využití metod geostatistické analýzy za využití nástrojů GIS, přičemž navazuje na předchozí analýzy změn jakosti vody v toku Labe a jeho povodí za využití metod matematického modelování a prostorové analýzy (Langhammer, 2000, 2004). Hodnocení je prováděno na komplexním souboru profilů kvality vody v české části povodí Labe v období hodnocení pokrývající hlavní etapy změn jakosti vody

2.1 Metodika hodnocení

Pro analýzu prostorových aspektů vývoje kvality vody je použita metodika klasifikace základních modelů změn kvality vody (Langhammer, 2005), založená na kombinaci metod geostatistické analýzy na datech dlouhodobých časových řad koncentrací vybraných ukazatelů kvality vody v profilech sítě ČHMÚ.

2.1.1 Metodika klasifikace dynamiky změn kvality vody

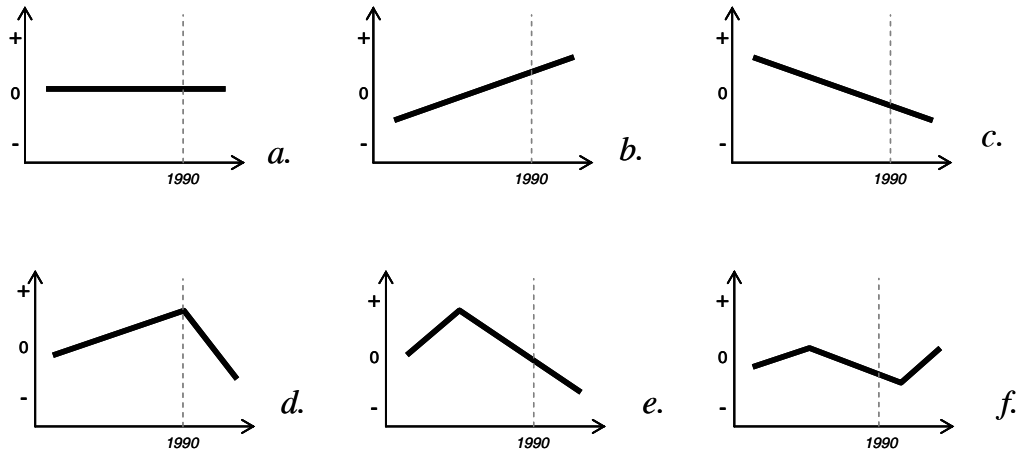
Princip hodnocení spočívá v odvození charakteristik trendů vývoje kvality vody na všech hodnocených profilech, následné identifikaci příbuzných rysů vývoje a jejich seskupení do základních modelů pomocí metod regresní a shlukové analýzy.
Časové řady ročních průměrných koncentrací vybraných ukazatelů pro jednotlivé profily jsou rozděleny do homogenních časových úseků, korespondujících s významnými obdobími změn jakosti vody. Pro jednotlivá hlavní období vývoje kvality jsou pomocí regresní analýzy vypočteny směrnice trendu změny. Tyto směrnice vstupují jako zdrojová data do clusterové analýzy, jejímž výstupem je klasifikace typů dynamiky změn kvality vody na základě vývoje v hlavních obdobích. Výsledná data jsou transportována do GIS, kde jsou analyzována z hlediska prostorového rozložení. Výpočet je postupně opakován pro všechny hodnocené ukazatele jakosti vody.
Jednotlivé typy průběhu změn kvality vody, vygenerované pro hodnocené ukazatele pomocí clusterové analýzy, jsou přiřazeny k základním modelům dynamiky změn kvality vody, vyskytujícím se napříč spektrem hodnocených ukazatelů, vygenerovaným pro celé povodí Labe (obrázek 3). Clustery jsou k těmto modelům přiřazeny podle charakteru průběhu trendu změny v jednotlivých obdobích – pozitivního, neutrálního nebo negativního.

2.1.2 Základní modely vývoje kvality vody

Základní modely vývoje kvality vody (obrázek 3), popisují klíčová schémata dynamiky změn kvality vody v povodí Labe. Modely odrážejí hlavní příčinné faktory změn a navzájem se zároveň liší jak prostorově – pro různá povodí a vodní toky, tak strukturně – pro jednotlivé ukazatele znečištění.

- **Model A** popisuje vývoj bez výrazného trendu změny kvality vody v celém pozorovaném období. Tento typ rozložení změn jakosti vody pozorujeme na řadě toků střední velikosti, zejména u ukazatelů organického znečištění. Za nevýrazným trendem stojí zpravidla celkově nízká ekonomická aktivita v povodí, kdy vodní toky nejsou pod vlivem výrazných zdrojů bodového znečištění a které neprošly intenzivními změnami.
- **Model B** popisuje postupný nárůst zátěže v celém hodnoceném období. Ze statistického a prostorového hlediska je jednoznačně nejčetnějším modelem vývoje u všech hodnocených parametrů jakosti vody. Vyskytuje se napříč spektrem hodnocených ukazatelů i geografických regionů. Odráží celkově vysokou intenzitu využití území bez odpovídajících opatření na ochranu vod před znečištěním.
- **Model C** naopak vyjadřuje kontinuální pokles úrovně zátěže toku v celém období. Jde zpravidla o oblasti s tradičním osídlením i ekonomickými aktivitami, kde dochází k soustavnému zpracování a čištění odpadních vod a kde vodní toky nebyly zasaženy intenzivní industrializací.
- **Model D** popisuje výrazný pokles znečištění v devadesátých letech 20. století. Tento model charakterizuje nejvýraznější změny v jakosti vody, ke kterým došlo v české části povodí Labe po roce 1990. Jde především o ukazatele a oblasti, ovlivněné významnými bodovými zdroji znečištění.
- **Model E** odráží situaci poklesu zátěže před rokem 1990. Radikální změny kvality vody na tocích v 70. a 80. letech je třeba připisovat prvovýstavbě čistíren odpadních vod zejména u velkých průmyslových a komunálních zdrojů jako nástroj pro odstranění havarijního stavu, způsobeného vypouštěním zcela nečištěných nebo pouze minimálně upravených odpadních vod do vodních toků.
- **Model F** popisuje situaci opětovného nárůstu zátěže toků v devadesátých letech 20. století po předchozím období poklesu. Opětovný nárůst znečištění povrchových vod po období předchozího poklesu indikuje vývoj, který nastal zpravidla v důsledku změny struktury ekonomických aktivit. Pokles zátěže toku na počátku 90. let byl vyvolán útlumem výroby, nikoliv systematickými opatřeními na ochranu vod. Současné ekonomického oživení proto působí nárůst zátěže toků

znečištění. Z hlediska budoucího vývoje jde o kritický model změn, jehož výskytu v hodnocených povodích je nutno věnovat maximální pozornost.



Obr. 2 Hlavní modely změn kvality vody v povodí Labe
Fig. 2 Main models of water quality trends in Elbe river basin

2.2 Použitá data

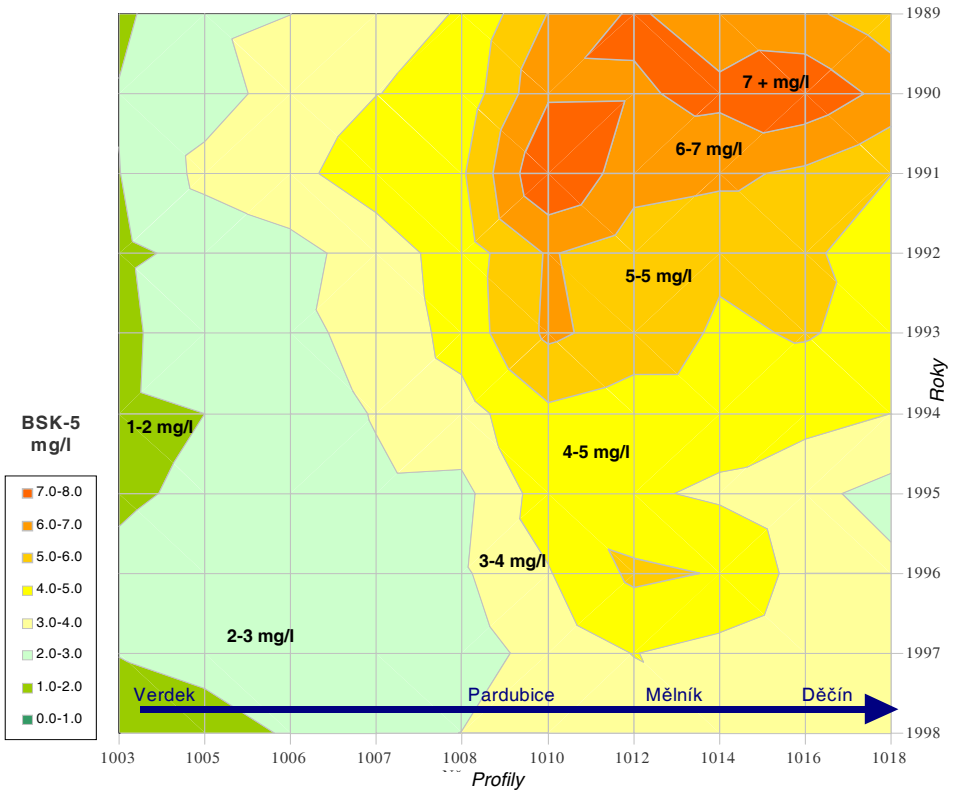
Pro analýzu vývoje jakosti povrchových vod v povodí Labe byl jako základ použit soubor dat ze sítě celkem 160 profilů státní sítě sledování kvality vody za období 1970-2002, poskytnutých ČHMÚ a dostupných na internetových stránkách www.chmi.cz . Použity byly roční průměrné koncentrace za celé uvedené období pro 12 vybraných jakostních parametrů – BSK_5, $CHSK_{Cr}$, $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_3$, Pcelk, RL, NL, saprobita, konduktivita, Pb, Cd, Hg. Pro vlastní analýzu byly vyřazeny ty ty ukazatele, které hodnocené období pokrývaly nedostatečně. Šlo zejména o parametry zátěže těžkými kovy, kde datové řady začínají až v průběhu 90. let a i zde jsou v řadě profilů nekompletní. Vyřazen byl i ukazatel celkový fosfor, pro který byly u většiny profilů řady nekompletní, s přerušeným sledováním a často opět začínající až v 90. letech.

3 VÝSLEDKY

3.1 Vývoj kvality vody v Labi

Povodí Labe v průběhu devadesátých let zaznamenalo výrazný pokles objemu emisí znečišťujících látek z evidovaných bodových zdrojů znečištění. Díky výstavbě a intenzifikaci čistíren odpadních vod u velkých průmyslových i komunálních zdrojů emisí postupně došlo k razantnímu poklesu vypouštěného množství emisí v ukazatelích, odrážejících tento typ zátěže. U ukazatele organického znečištění BSK_5 tak došlo ke snížení celkových evidovaných emisí mezi roky 1990 a 1999 až na pětinu počátečního množství. Objem zátěže, vypouštěné na konci devadesátých let v ukazateli $CHSK_{Cr}$ představuje jednu třetinu a v ukazateli $N\text{-}NH_4$ polovinu množství, emitovaného do povodí Labe na počátku tohoto období.

Změny v emisní situaci a struktuře zdrojů emisí v povodí Labe, ke kterým v průběhu 90. let došlo, se výrazně projevily na jakosti vody v hlavním toku říční soustavy – Labi. U většiny sledovaných ukazatelů došlo k poklesu koncentrací znečištění i ke snížení celkového látkového odnosu zátěže.
Tento vývoj dokumentuje obrázek 4, ukazující změnu průměrných ročních koncentrací organického znečištění v ukazateli BSK_5 v podélném profilu toku Labe. Od poloviny 90. let na Labi dochází k odbourání kritické úrovně zátěže na středním a dolním toku a jakost vody se na konci tohoto období dostává na celém toku na úroveň, která na přelomu 80. a 90. let byla dosahována pouze na horním toku Labe.



Obr. 3 Vývoj koncentrací BSK_5 v podélném profilu Labe v období 1989-1998. Data ČHMÚ.
Fig. 3. Changes of BOD-5 concentrations in logitudinal profile of the Elbe between 1989-1998. Data CHMI.

Obecně lze v průběhu devadesátých let na Labi pozorovat jasný pokles jak koncentrací, tak látkového odnosu u základních parametrů jakosti vody a to zejména u ukazatelů, odrážejících zátěž z bodových zdrojů znečištění. Týká se to ukazatelů, odrážejících celkové organické znečištění sledované ukazateli CHSKCr a BSK5, stejně jako amoniakálního dusíku. U těchto ukazatelů došlo zejména ve druhé polovině devadesátých let k zásadnímu poklesu zátěže Labe a jeho povodí v důsledku radikálního omezení emisí u významných průmyslových a komunálních zdrojů.
Odlišný je vývoj znečištění Labe celkovým fosforem. V tomto ukazateli, odrážejícím zátěž z průmyslových, ale především komunálních bodových zdrojů, totiž v průběhu devadesátých let dochází nejen ke stagnaci, ale v určitých úsecích toku i k nárůstu úrovně znečištění. Pozvolný nárůst zátěže fosforem se přitom netýká jen toku Labe, ale především dílčích povodí jeho jednotlivých přítoků. Tento trend je nutno vidět v souvislosti se nárůstem emisí fosforu z komunální sféry a s nízkou vybaveností zejména malých a středních obcí čistírnami odpadních vod a jejich technickým stavem. Poklesy emisí fosforu, ke kterým došlo u velkých průmyslových a komunálních zdrojů na Labi a jeho hlavních přítocích tak v celkové bilanci nebyly schopny absorbovat rostoucí zátěž z celého povodí.
U ukazatelů odrážejících zátěž z plošných zdrojů znečištění, jmenovitě u dusičnanového dusíku, se v průběhu devadesátých let neprojevuje výraznější kvalitativní posun. Přísun živin ze zdrojových ploch povodí neklesá i přes evidentní útlum zemědělské činnosti a snížení aplikace hnojiv, ke kterému v České republice v průběhu devadesátých let došlo.

3.2 Prostorové trendy změn kvality vody v povodí Labe

Zatímco vývoj kvality vody ve většině ukazatelů v závěrovém profilu povodí Labe i jeho podélném profilu ukazují na jednoznačně pozitivní tendenci, vývoj v celku hydrografické sítě povodí je méně příznivý. Pro klasifikaci prostorových aspektů dynamiky vývoje kvality vody byla použita metodika popsaná v kapitole 2.1. Jako vstupní data byly použity údaje o průměrných ročních koncentracích vybraných ukazatelů jakosti vody ze všech profilů sítě ČHMÚ v rámci povodí Labe od roku 1970 do roku 2002 (ČHMÚ, 2004, Rieder a kol, 2000).
Datová řada byla rozdělena do tří období, která v povodí Labe z hlediska vývoje kvality vody klíčová:

- 1971-1980: počáteční období sledování, nástup intenzivního znečišťování povrchových vod.

- 1981-1990: období vrcholící zátěže toků ze zdrojů průmyslového a komunálního znečištění
- 1991-2000: změny po roce 1989, které odrážejí jak systémová opatření (výstavba ČOV u velkých zdrojů znečištění), tak změny v ekonomickém a sociálním prostředí (uzavírání řady výrob a budování nových provozů, rozvoj sídel, změny v zemědělství).

Pro každé období byla z hodnot průměrných ročních koncentrací hlavních ukazatelů znečištění pro všechny profily vypočtena směrnice trendu lineární regrese, ukazující na trend změn kvality vody v daném ukazateli pro toto období. Kombinace trendů vývoje v těchto třech období byla použita jako vstupní údaj pro clusterovou analýzu. Výsledky jsou prezentovány na příkladu tří ukazatelů, odrážející rozdílné mechanismy znečišťování povrchových vod - parametr BSK_5, odrážející organické znečištění zejména z bodových komunálních zdrojů, amoniakální dusík ($N\text{-}NH_4$), reprezentující zátěž z průmyslových bodových zdrojů znečištění a dusičnanový dusík ($N\text{-}NO_3$) charakterizující zátěž z plošných zdrojů znečištění, majících původ zejména v zemědělství.

Tab. 1 Výsledky clusterové analýzy klasifikace změn kvality vody pro hodnocené ukazatele
Tab. 1 Results of cluster analysis – classification of water quality changes for selected parameters

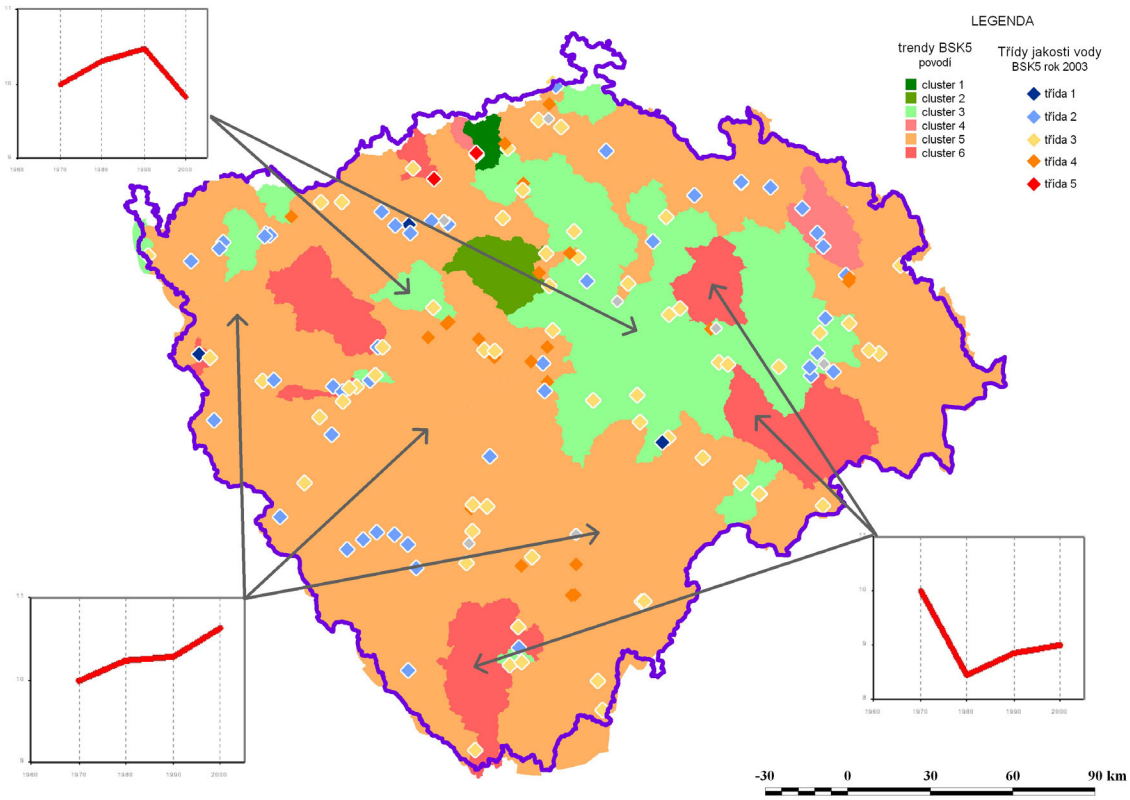
	BSK_5				$N\text{-}NO_3$				$N\text{-}NH_4$			
	71-80	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***	***71-80***	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***	***71-80***	***81-90***	***91-00***	***Počet profilů***
Cluster 1	-5.47	4.51	-7.83	1	-0.62	-0.75	0.10	61	0.08	0.27	-1.64	9
Cluster 2	1.49	-4.15	-4.51	2	0.43	-0.38	1.94	16	0.27	0.17	0.39	105
Cluster 3	0.31	0.16	-0.65	34	1.84	0.36	-1.53	15	0.17	0.19	-0.37	29
Cluster 4	-4.16	-3.25	0.28	4	-0.55	0.53	-0.23	41	-5.25	-5.11	-4.75	4
Cluster 5	0.22	0.07	0.34	109	0.55	3.85	-1.78	3	-0.56	0.44	0.12	7
Cluster 6	-1.56	0.42	0.13	10	1.01	0.54	0.02	24	-1.43	-1.40	0.45	6

3.2.1 Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5)

Pomocí shlukové analýzy byl vývoj kvality vody v ukazateli BSK_5 v období 1970-2000 na jednotlivých jakostních profilech rozdělen do šesti skupin podle vzájemné příbuznosti.
Jednotlivé clustery (viz Tab. 1) mají rozdílnou četnost, přičemž dominantní zastoupení má cluster 5, clustery 3 a 6 lze brát jako významné, ostatní jako okrajové.
Clustery, představující vygenerované typologické skupiny vývoje jakosti vody, můžeme následně podle četností zastoupení a podle charakteru průběhu trendů změn zredukovat do tří skupin, odpovídajících hlavním modelům vývoje (viz kap. 2.1):

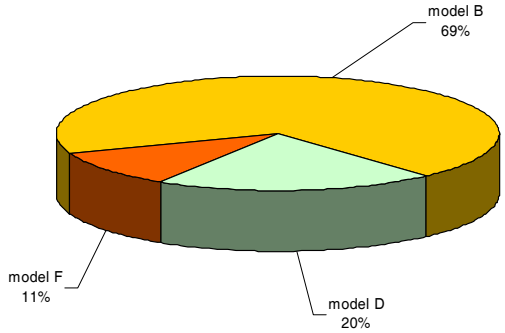
- *Model B*, charakterizující kontinuální nárůst zátěže v celém hodnoceném období (cluster 5, celkem 109 profilů)
- *Model D*, reprezentující pokles koncentrací BSK_5 po roce 1990 (clustery 3,2,1, zahrnující celkem 37 profilů)
- *Model F*, představující nárůst zátěže po předchozím poklesu (clustery 6 a 4, zahrnující celkem 14 profilů)

Základní modely vývoje kvality vody v ukazateli BSK_5 vykazují výrazné prostorové uspořádání. Nejčetnějším zastoupeným typem vývoje je *model B*, zobrazující kontinuální nárůst zátěže organického znečištění v celém hodnoceném období. Tento typ vývoje převažuje v oblasti jihozápadních a severozápadních Čech – v povodí Vltavy, Otavy, Berounky a Ohře. K nárůstu zátěže toků v ukazateli BSK_5 dochází z prostorového hlediska na převážné většině území. Jedná se zpravidla o drobné až středně velké toky v urbanizovaných a antropogenně transformovaných oblastech, které zaznamenávají ekonomický rozvoj.
Oblasti s výrazným poklesem zátěže organickým znečištěním po roce 1990 (*model D)* jsou soustředěny v regionech středních a dolních úseků velkých toků, zahrnujících významné sídelní a průmyslové oblasti zejména na toku středního a dolního Labe a dolní Vltavy (Obr. 4).
Třetím typem změn jakosti vody je *model F*, který označuje toky, ve kterých po předchozím poklesu dochází k opětovnému nárůstu zátěže. Jde zejména o sídelní a průmyslové oblasti na středních tocích – tok Berounky, stejně jako oblast severovýchodních Čech.



Obr. 4 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli BSK_5
Fig. 4. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter BOD-5

Z hlediska plošného rozsahu jednotlivých povodí podle příslušnosti k jednotlivým modelům dynamiky změn (obrázek 5) vidíme jednoznačně dominující podíl ploch s negativními rysy vývoje. Pouze na 20 % plochy povodí Labe dochází k pozitivním změnám, celých 80 % zaznamenává kontinuální nárůst nebo nárůst v 90. letech. Z plošného rozdělení však můžeme vidět i vysokou efektivitu realizovaných opatření. Zásadní pokles objemu imisního zatížení povodí Labe ve výústním profilu byl umožněn vhodným výběrem sanačních lokalit. Analýza zároveň ukazuje na potenciál pro další snižování zátěže povrchových vod organickým znečištěním.



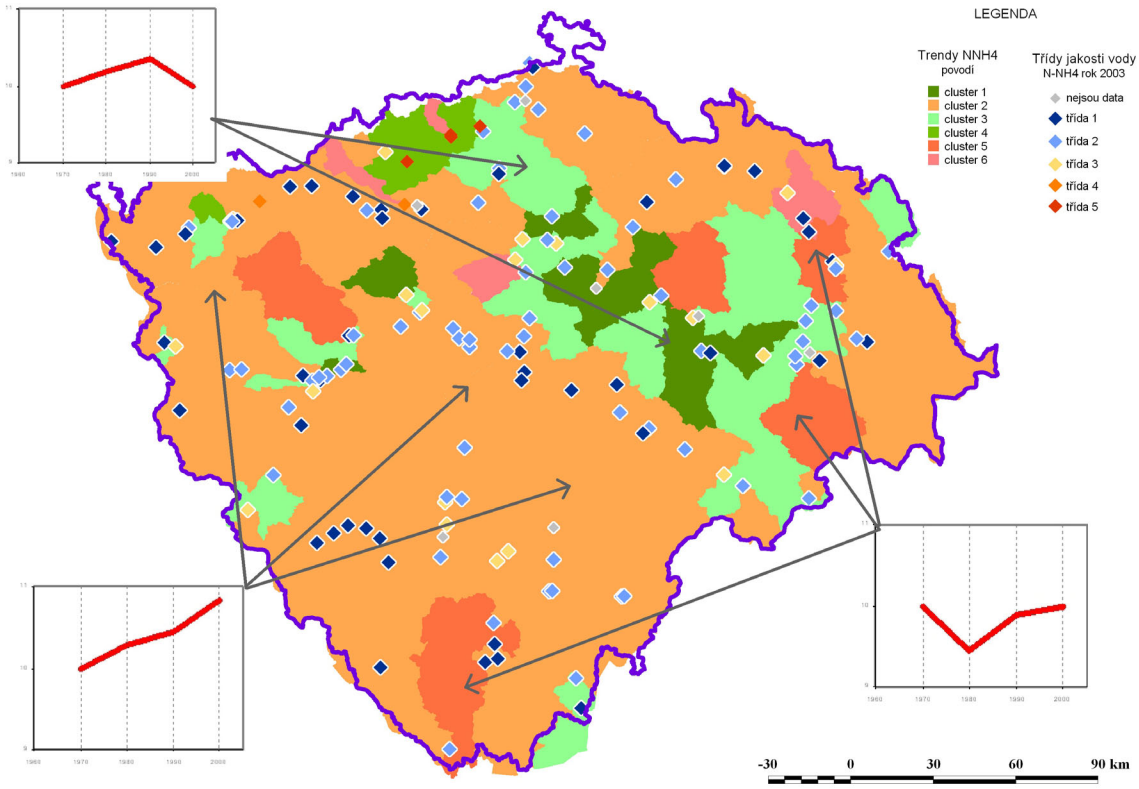
Obr. 5 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn BSK_5
Fig. 5 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in BOD-5 parameter

Za rozdíly ve vývoji jakosti vody, popisovaném jednotlivými modely můžeme vidět zásadní systémové odlišnosti působící na změny imisní zátěže toků. U modelu D, kdy pozorujeme prudký pokles zátěže zejména v období po roce 1990, u některých profilů ovšem i dříve, jsou hlavním hnacím motorem změn jakosti vody systémová opatření, zejména výstavba a intenzifikace ČOV u významných zdrojů znečišťování. Model F, popisující nárůst zátěže po předchozím poklesu naopak odpovídá situaci, kdy předchozí pokles byl vyvolán spíše útlumem výroby než systémovými kroky na ochranu vod a současný růst zátěže je tak vyvolán oživením ekonomických aktivit v regionu. Společně s modelem B, představujícím stále rostoucí zátěž, tak povodí s tímto typem vývoje představují oblasti rizikové a oblasti, které by z hlediska směrování péče o ochranu vod měly být prioritní.

3.2.2 *Amoniakální dusík ($N\text{-}NH_4^+$)*

Kvantitativní i prostorové vyhodnocení dynamiky změn jakosti vody v ukazateli $N\text{-}NH_4$ vykazuje výrazně asymetrické rozdělení. Vygenerovaným skupinám (viz tabulka 1) dominuje cluster 2 zahrnující 105 z celkových 160 jakostních profilů. Druhým nejčetnějším typem je cluster 3, který spolu s geneticky příbuzným clusterem 1 zahrnuje celkem 38 profilů. Zbylé clustery jsou vzhledem svojí velikostí hodnoceny jako doplňkové.
Při zařazení vygenerovaných clusterů do hlavních modelů vývoje můžeme jejich počet redukovat na 4 hlavní skupiny:

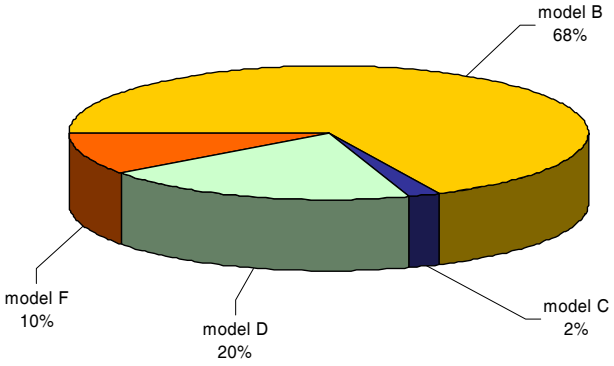
- *Model B* – kontinuální nárůst zátěže v celém období (cluster 2, celkem 105 profilů)
- *Model C* – pokles zátěže v celém období (cluster 4, 4 profily)
- *Model D* – pokles zátěže v 90. letech (clustery 1 a 3, celkem 38 profilů)
- *Model F* – nárůst zátěže v 90. letech po předchozím poklesu (clustery 5 a 6, celkem 13 profilů)



Obr. 6 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli $N\text{-}NH_4$
Fig. 6. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter $N\text{-}NH_4$

Dynamika změn jakosti vody v ukazateli $N\text{-}NH_4$ je ze všech hodnocených ukazatelů prostorově nejsilněji diferencovaná (obrázek 6). Pozitivní změny související především s poklesem zátěže toků po roce 1990 jsou totiž soustředěné téměř bezvýhradně na oblasti toků pod vlivem velkých zdrojů průmyslového znečištění – středního a dolního Labe, dolní Vltavy, Berounky a Bíliny.
Převažující část povodí Labe naopak zaznamenává postupný nárůst zátěže v ukazateli $N\text{-}NH_4$ v průběhu celého hodnoceného období. Celkem jde o 105 jakostních profilů, na dalších 13 profilech potom dochází k nárůstu zátěže v 90. letech po předchozím zaznamenaném poklesu.
Prostorová diferenciace dynamiky změn jakosti vody v tomto ukazateli souvisí s charakterem a prostorovou koncentrací zdrojů přičinného znečištění. Nejvýznamnější zdroje znečištění $N\text{-}NH_4$ v povodí Labe představují průmyslové zdroje, koncentrované do oblasti dolních úseků toků Labe, Vltavy a do povodí Bíliny. Deset největších producentů emisí $N\text{-}NH_4$ v těchto oblastech (databáze SVHB,VÚV, 2000) představuje přes 55 % celkového objemu vypouštěného $N\text{-}NH_4$ v povodí Labe. Výrazný pokles objemu vypouštěného znečištění z těchto zdrojů v průběhu 90. let byl umožněn právě díky masivním investicím těctho podniků do čištění odpadních vod v rámci národních a mezinárodních projektů.

V rámci povodí Labe však tento vývoj nebyl následován i v ostatních částech povodí, které se tak dodnes potýkají nejen s celkově vysokou úrovní zátěže toků, především však s nepříznivým trendem vývoje, který nedává možnosti rychlého zlepšení situace bez přijetí radikálních opatření.



Obr. 7 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn N-NH_4
Fig. 7 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in N-NH_4 parameter

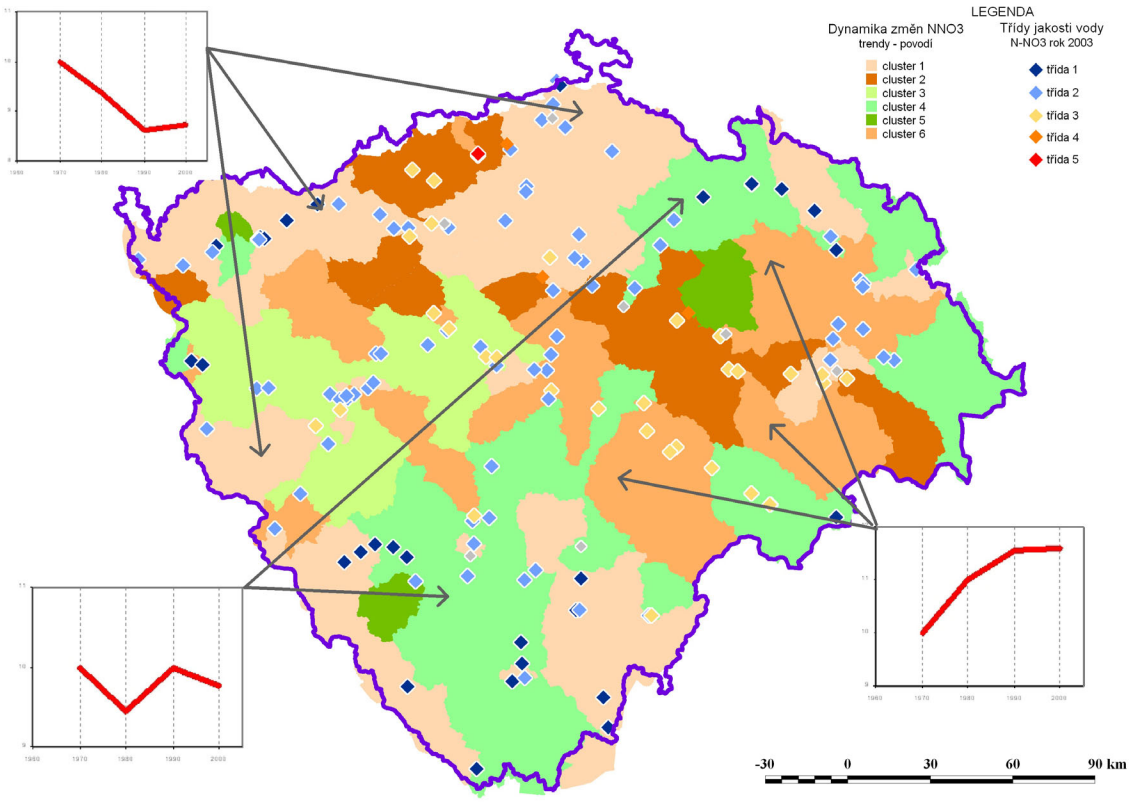
Podíly ploch dílčích povodí s analogickou dynamikou vývoje zátěže v ukazateli N-NH_4 (obrázek 7) potvrzují výše uvedený mechanismus vývoje. Pouze necelá čtvrtina plochy povodí Labe zaznamenává pokles úrovně zátěže, na více než dvou třetinách plochy povodí dochází ke kontinuálnímu nárůstu koncentrací, dalších 10 % plochy povodí potom zaznamenává nárůst zátěže v 90. letech. I v případě znečištění amoniakálním dusíkem jsou patrné obrovské rezervy pro řízení kvality vody, stejně jako je zřejmá efektivita výběru lokalit pro sanační opatření v 90. letech.

3.2.3 Dusičnanový dusík (N-NO_3^-)

Zátěž povrchových toků dusičnanovým dusíkem vyjadřuje oproti předchozím ukazatelům odlišný mechanismus znečišťování. Zatímco u ukazatelů BSK_5, $CHSK_{Cr}$ a N-NH_4 jsou primárním zdrojem emisí bodové zdroje znečištění, u dusičnanového dusíku jde především o znečištění z plošných zdrojů, zejména zemědělství.
Výsledky klasifikace dynamiky vývoje zátěže vodních toků dusičnanovým dusíkem (viz tabulka 1) i jejich prostorového rozložení mají proto odlišný charakter.
Vygenerované clustery, popisující dynamiku změn jakosti vody v povodí Labe bylo možno přiřadit do tří hlavních skupin vývoje jakosti vody, konstatovaným pro povodí Labe:

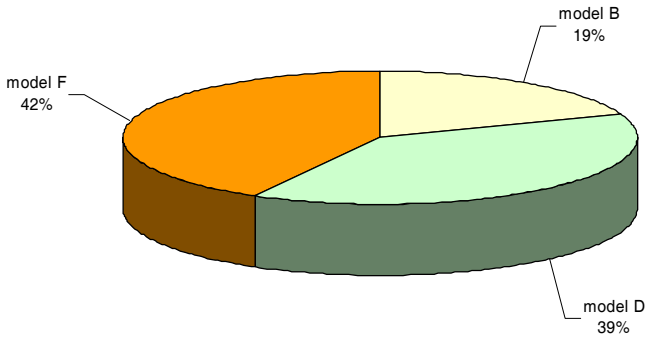
- *Model B* – kontinuální nárůst zátěže (cluster 6, celkem 24 profilů)
- *Model D* – pokles zátěže v 90. letech (clustery 3, 4 a 5, celkem 59 profilů)
- *Model F* – nárůst zátěže v 90. letech (clustery 1 a 2, celkem 77 profilů)

Změny zátěže povrchových vod povodí Labe dusičnany jsou ze statistického i prostorového hlediska nepříznivé. Statisticky nejčetnější charakter změny představuje typ F, reprezentující nárůst zátěže v průběhu 90. let, do kterého můžeme řadit clustery 1 a 2, tj. celkem 77 jakostních profilů. Jde o prostorově rozsáhlé oblasti okrajových částí povodí v severozápadních Čechách, střední a dolní tok Labe, a oblasti jižních a jihovýchodních Čech (obrázek 8).
Celkem 24 profilů patří do typu B, ukazujícího na kontinuální nárůst zátěže toku v daném ukazateli. Jmenovitě jde o zemědělské oblasti Vysočiny, stejně jako o oblasti v povodí Berounky a střední Vltavy.
Oba modely, které odrážejí velice negativní trend aktuálního nárůstu znečištění, jsou pozorovány na téměř dvou třetinách profilů – celkem 101 profilů ze 160 hodnocených.
K poklesu zátěže v 90. letech po předchozím nárůstu znečištění naopak došlo na 59 dílčích povodí, představujících 39 % rozlohy českého povodí Labe. Jde o povodí, soustředěná do oblasti středního povodí Vltavy, povodí Jizery a do oblasti severovýchodních Čech. Na celkem 15 jakostních profilech (cluster 3) je přitom konstatovaný pokles zátěže velmi mírný. Z dlouhodobého hlediska je zde celková úroveň zátěže stabilní a současný pokles tak nemusí indikovat pozitivní trend.



Obr. 8 Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli N-NO_3
Fig. 8. Spatial distribution of trends of water quality changes in parameter N-NO_3

Z prostorového hlediska je pro vývoj v ukazateli N-NO_3 příznačný nárůst zátěže v okrajových oblastech povodí Labe, zachování trendu kontinuálního nárůstu úrovně koncentrací v tradičních zemědělských oblastech a pokles zátěže v oblasti jižních a části severovýchodních Čech.
Dlouhodobý nárůst zátěže pozorujeme především v oblastech středního Polabí, Vysočiny a částečně i v západních Čechách. Jde o oblasti s intenzivní zemědělskou výrobou, přičemž při hodnocení časové dynamiky změn je pozitivním faktem zmírnění dynamiky růstu zátěže v posledních deseti letech. Snížení intenzity zemědělské výroby představuje hlavní faktor poklesu úrovně zátěže toků dusičnany v oblastech jižních Čech, horní Sázavy či Jizery.
Nárůst zátěže povrchových vod dusičnanovým dusíkem pozorujeme v rozsáhlých okrajových oblastech povodí Labe – v severozápadních Čechách, pokrývajících prakticky celé povodí Ohře, v oblastech Šumavy, jihovýchodních Čech či horního a středního Labe. Pro interpretaci těchto změn je důležité brát v úvahu heterogenitu prostředí jednotlivých povodí. Jde o oblasti s výrazně odlišnými fyzickogeografickými charakteristikami, rozdílnou intenzitou antropogenních aktivit a v neposlední řadě i s odlišnou mírou stávající zátěže toků.



Obr. 9 Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn N-NO_3
Fig. 9 Shares of basin area corresponding to the main water quality change models in N-NO_3 parameter

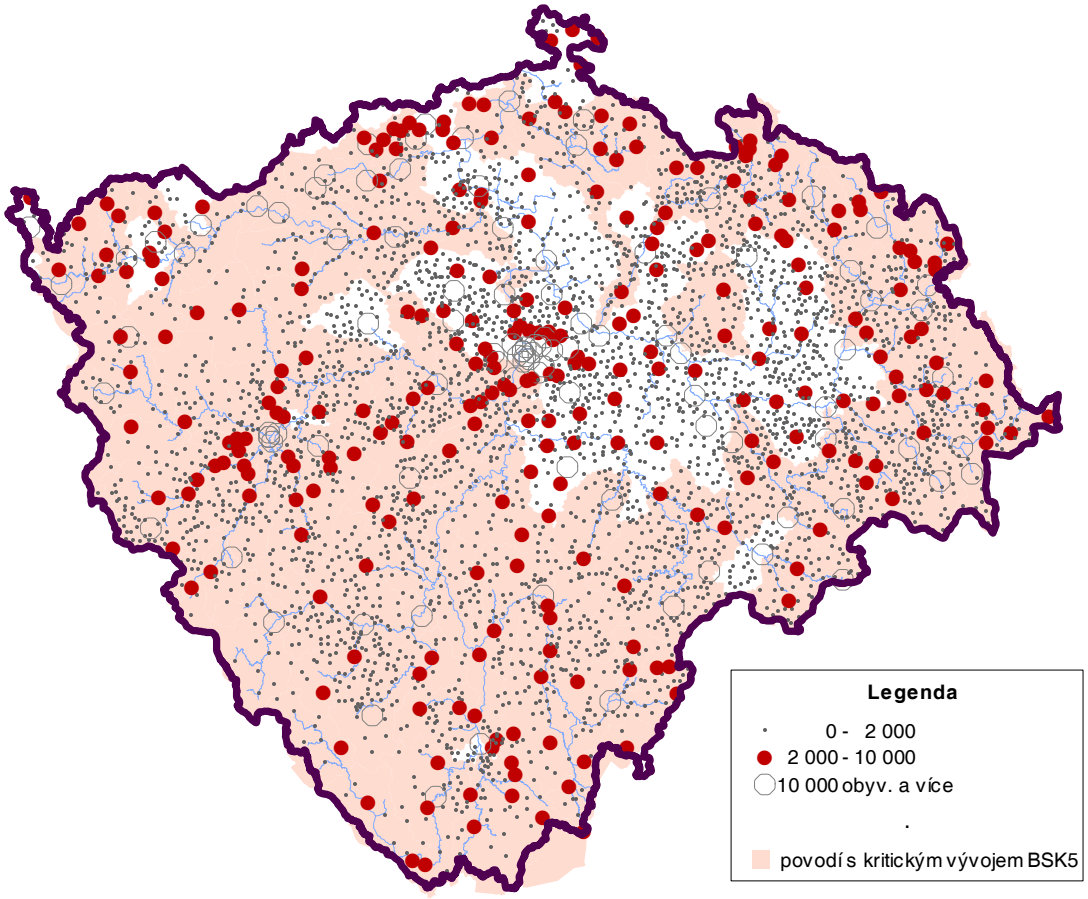
Z hlediska podílu plochy povodí posle příslušnosti k danému modelu dynamiky vývoje kvality vody (obrázek 9) je zřejmý celkově nepříznivé prostorové rozložení. pouze 29 % plochy povodí Labe patří do oblastí, ve kterých dochází k poklesu koncentrací dusičnanového dusíku v toku. Na zbylých oblastech dochází k více či méně intenzivnímu nárůstu, přičemž na celých 42 % rozlohy povodí českého povodí Labe pozorujeme nárůst zátěže v průběhu 90. let.

4 ZMĚNY KVALITY VODY V POVODÍ LABE V KONTEXTU IMPLEMENTACE ENVIRONMENTÁLNÍ LEGISLATIVY EU

Pro řízení kvality vody v prostředí environmentální legislativy EU představuje zásadní dokument Rámcová směrnice o vodě (Water Framework Directive, dále WFD). WFD, schválená Parlamentem a Radou Evropy v roce 2000 zastřešuje dílčí směrnice, které byly pro jednotlivé oblasti vodního hospodářství v EU od 70. let postupně přijímány.
Celkovým cílem WFD je dosáhnout "dobrého stavu" všech vod do roku 2015, přičemž "dobrý stav" je určen dobrým ekologickým a dobrým chemickým stavem. Tento integrální přístup představuje v českém pojetí ochrany vodního prostředí významný posun, zejména díky posunu vnímání povrchových vod směrem k holistickému pojetí. Konečná podoba směrnice je však výsledkem kompromisu v průběhu dlouhodobého procesu diskuse a konfliktů mezi odbornými hledisky a politickými zájmy. WFD jako nejvýznamnější nástroj, který u nás v současné době upravuje environmentální politiku v oblasti ochrany vod, tak sice mimořádně komplexní dokument, který je však v řadě oblastí obecný a nekonkrétní a pozitiva, plynoucí z jeho striktní aplikace jsou pro jednotlivé členské země navíc oslabena existencí výjimek a přechodných období.
Pro ochranu a vývoj jakosti povrchových vod v ČR ve střednědobém horizontu představuje klíčový moment přijetí přechodného období pro implementaci směrnice 91/271/EHS o čištění městských odpadních vod. Jmenovitě jde o posun termínu splnění některých požadavků směrnice, konkrétně pro výstavbu čistíren městských odpadních vod a kanalizačních systémů v sídlech velikostní kategorie 2 000 – 10 000 EO a na intenzifikaci (odstraňování dusíku a fosforu) čistíren městských odpadních vod u sídel s velikostí nad 10 000 EO v tzv. citlivých oblastech do roku 2010.
Přestože u tohoto přechodného období jsou zřejmé ekonomické důvody, vycházející z rozložení investic do výstavby ČOV do delšího časového horizontu, jeho dopad na vývoj kvality vody v ČR je jednoznačně negativní. Z prostorových trendů vývoje (viz kap. 3.3) je zřejmé, že k negativnímu vývoji kvality vody v tocích dnes dochází právě v těch oblastech, kde je uplatňováno toto přechodné období na čištění komunálních odpadních vod – v oblastech drobných vodních toků, které jsou pod vlivem zátěže z malých a středních sídel, lokálního průmyslu a zemědělství.
GIS analýza (viz. Obr.10, Tab. 2) porovnala prostorové rozložení povodí s kritickým vývojem v ukazateli BSK_5 (model B a F), odrážející zátěž z komunálního znečištění a rozložením sídel velikostních kategorií, spadajících do přechodného období. Z výsledků vyplývá, že z obcí s počtem obyvatel mezi 2-10 tis. obyvateli, kterých se odklad aplikace legislativy EU v oblasti čištění komunálních odpadních vod týká, leží přes 73 % v oblastech s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5 a žije v nich bezmála 75% obyvatel této velikostní kategorie sídel. U obcí s velikostí do 2 tis. obyvatel, u kterých je vybavenost kanalizací a ČOV nejnižší, tento poměr stále přesahuje 70 %.
Odklad aplikace environmentálních cílů WFD formou přechodného období na čištění komunálních odpadních vod z drobných a středních zdrojů se tak na vývoji kvality vody projeví nejvíce negativně zejména v těch oblastech, které jsou z hlediska potřeby ochrany před znečištěním prioritní.

Tab. 2 Podíl obyvatel v sídlech ležících v oblastech s kritickým vývoje kvality vody v ukazateli BSK_5
Tab. 2 Shares of inhabitants in communities in regions with critical water quality trend in BOD-5 parameter

	sídla s 2-10 tis. obyv.		sídla pod 2 tis. obyv.	
	počet sídel	počet obyvatel	počet sídel	počet obyvatel
všechna sídla v dané kategorii	275	1154994	3665	1528595
sídla v povodích s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5	202	861507	2641	1082645
podíl	73.5%	74.6%	72.1%	70.8%



Obr. 10 Rozložení obcí v povodích s kritickým vývojem kvality vody v ukazateli BSK_5
Fig. 10 Spatial distribution of communities in basins with critical water quality trend in BOD-5 parameter

Charakter změn v kontextu aplikace evropské environmentální legislativy a evropského shrnuje SWOT analýza, hodnotící základní rysy dynamiky časového a prostorového vývoje jakosti povrchových vod v povodí Labe a jejich význam s ohledem na cíle a závazky, vyplývající z evropského integračního procesu a aplikace environmentální legislativy EU. Cílem analýzy je identifikace *silných stránek*, představujících pozitivní aspekty vývoje, a naopak *slabých stránek*. Tyto dva aspekty hodnotí proběhlý vývoj a současný stav procesu. Potenciál směrem do budoucna je potom shrnut v kategorii *příležitosti*, promítnutí negativních aspektů změn a možných rizik vývoje v oblasti *ohrožení*. Z analýzy jsou patrné hlavní obrysy možných přístupů k následnému managementu a ochraně jakosti vody v povodí Labe.

Silné stránky

- Realizace koncepčních opatření na ochranu vod v 90. letech.
- Radikální snížení emisí znečištění u velkých průmyslových a komunálních zdrojů na hlavních tocích průběhu 90. let.
- Pokles objemu aplikovaných umělých hnojiv na zemědělské plochy v 90. letech.
- Pokles zátěže toků v oblasti středního a dolního Labe a Vltavy v 90. letech.
- Pokles podílu délky toků zařazených do nejhorších stupňů jakosti vody.

Slabé stránky

- Převažující celkový podíl povodí s trendem kontinuálního nárůstu úrovně zátěže v průběhu hodnoceného období.
- Koncentrace pozitivního vývoje pouze do prostorově omezené oblasti středního a dolního toku Labe a Vltavy, Bíliny a střední Berounky.
- Velmi pomalé pozitivní změny kvality vody v okrajových částech povodí.
- Neklesající zátěž z difúzních a plošných zdrojů znečištění.

Příležitosti

- Možnost snížení zátěže z difúzních zdrojů, zejména drobných sídel a malých průmyslových zdrojů.
- Prostor pro intenzifikaci stávajících ČOV u komunálních a průmyslových zdrojů na drobných a středních tocích.
- Prostor pro implementaci dlouhodobých systémových ochranných programů v zemědělské krajině.
- Využití zkušeností z oblastí, které prošly podobnými změnami.

Ohrožení

- Pokles celkového objemu investic do oblasti ochrany vod před znečištěním.
- Nárůst zátěže v důsledku ekonomického oživeni bez předchozích systémových opatření na ochranu vod před znečištěním.
- Omezené možnosti pozitivního řízení emisí z oblasti plošných zdrojů znečištění.
- Odklad aplikace legislativních norem EU v oblasti čištění odpadních vod z drobných a středních komunálních zdrojů.

5 DISKUSE

Zkušenosti z analogického vývoje ve velkých evropských povodích, zejména v povodí Rýna (Behrendt, 1996, De Wit, 1999, Thyssen, 2001, Langhammer, 2002b, aj.), ukazují, že komplexní změny jakosti povrchových vod v celku povodí představují dlouhodobý proces. Odstranění prioritních zdrojů znečištění, které v české části povodí Labe proběhlo v poslední dekádě minulého století je přitom pouze počátečním krokem, za kterým musí následovat řada systémových, méně viditelných, ale z dlouhodobého hlediska nevyhnutelných opatření v celé ploše povodí (Jurča, 1997, Mohaupt et al., 1998, Rosendorf et al., 1998, Janský, 2002, Langhammer, 2002a).

Poznání časové a prostorové dynamiky vývoje celého systému, které přináší provedená analýza, umožňuje přesněji definovat strukturu priorit v řízení ochrany vod před znečištěním a nalézt odpovídající nástroje pro řešení jednotlivých problémů.

Zkušenosti z analogického vývoje v evropském prostoru, zejména v povodí Rýna, ukazují, že proces změn kvality vody je dlouhodobý a že opatření, realizovaná v povodí Labe, jakkoli byla mimořádná svoji intenzitou a rychlostí, představují pouze první krok k dlouhodobému zlepšení kvality vodní složky prostředí povodí.

Za sanací klíčových bodových zdrojů znečištění musí následovat řada systémových, méně efektních, ale z dlouhodobého hlediska nevyhnutelných opatření v celé ploše povodí.

V tomto procesu budou vedle přímých opatření, zaměřených na zprovoznění a intenzifikaci ČOV u malých a středních zdrojů emisí, hrát významnou úlohu zejména nepřímé nástroje, vycházející z legislativy a programů EU. Na základě zkušeností z analogického vývoje v evropských povodích by se budoucí opatření měla opírat o tři hlavní pilíře:

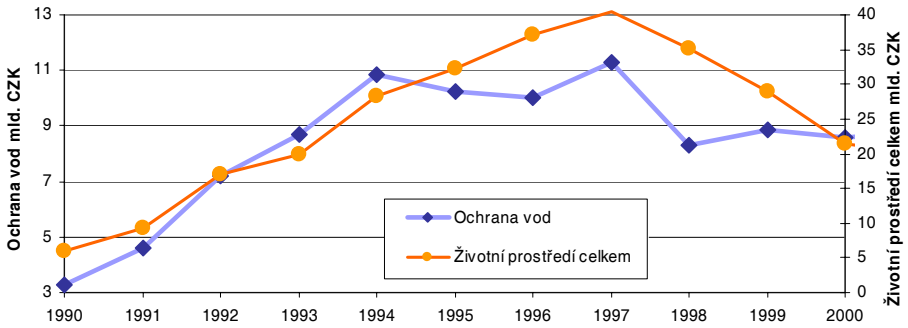
- legislativní nástroje
- ekonomické nástroje
- vzdělávací programy

V oblasti *legislativních nástrojů* je díky harmonizaci národní legislativy se systémem environmentálních norem a cílů EU položen kvalitní základ. Pro účinnost těchto nástrojů je však nezbytná rychlejší a důslednější aplikace jednotlivých legislativních nástrojů a jejich účinnější vymahatelnost.

Pro efektivnější zainteresování podnikatelských subjektů a investorů do ochrany vod je nezbytné nastavení *ekonomických nástrojů* tak, aby důsledná péče o ochranu vod představovala i z ekonomického hlediska konkurenční výhodu a ne jednostrannou zátěž. Zde představuje významný prvek možnost přístupu k evropským fondům, přičemž role státu by měla vedle přímé finanční spoluúčasti spočívat mimo jiné právě v usnadnění a podpoře přístupu jednotlivých subjektů k vnějším zdrojům financování.

Rizikový faktor zde představuje setrvalý pokles objemu investic do oblasti ochrany vod, ke kterému v ČR dochází od poloviny 90. let a který se týká jak prostředků ze státního rozpočtu, tak investic ze soukromého sektoru a zahraničí. Má-li ČR zabezpečit nejen plnění stávajících cílů v ochraně vod,

plynoucích ze závazků v rámci EU a mezinárodních programů, ale i strategicky podporovat ochranu vodní složky životního prostředí, je nezbytné investice do oblasti ochrany vod systematicky podporovat. Jde jednak o stimulaci růstu celkového objemu investic, tak o strukturální změny ve složení zdrojů financování, zejména o zvýšení podílu prostředků ze zahraničních zdrojů, které v současné době mají na celkovém objemu veškerých investic do ochrany životního prostředí minimální podíl.



Obrázek 11 Investice na ochranu vod před znečištěním. Data MŽP, 2004

Nezbytným prvkem, podmiňujícím dlouhodobě udržitelný rozvoj při zachování přijatelné kvality životního prostředí jsou *vzdělávací programy*. Jejich cílem by mělo být obecné přijímání a sdílení spoluzodpovědnosti zainteresovaných jednotlivců a organizací za stav jimi ovlivňovaných složek životního prostředí. V oblasti ochrany vod před znečištěním jde o zvýšení úrovně znalostí o stavu a možnostech ochrany jakosti vody, především však o cílené šíření konkrétních poznatků, doporučení a zásad hospodaření s ohledem na charakter provozu. Přestože jde o cíl dlouhodobý s prakticky obtížně měřitelnými výsledky, zkušenosti z EU ukazují, že není možné tuto složku podcenit, protože právě dobrovolné přijímání spoluzodpovědnosti za stav životního prostředí na úrovni jednotlivce či podnikatelského subjektu je podmínkou harmonického a dlouhodobě udržitelného rozvoje vodní složky prostředí.

6 ZÁVĚR

Zkušenosti z analogického vývoje ve velkých evropských povodích, zejména v povodí Rýna ukazují, že komplexní změny jakosti povrchových vod v celku povodí představují dlouhodobý proces. Sanace prioritních zdrojů znečištění, ke které v české části povodí Labe proběhlo v poslední dekádě minulého století, přinesla mimořádně rychlý pokles zátěže povrchových vod největších toků českého povodí Labe – středního a dolního Labe a Vltavy a dalších silně zatížených toků – Bíliny, Berounky. Většina hydrografické sítě, zejména drobných a středních toků, však i v současné době trpí nadměrným znečištěním ve většině základních sledovaných ukazatelů a prostorové i časové trendy dynamiky vývoje neukazují na možnost rychlého zlepšení.
Analýza prostorové a časové dynamiky změn jakosti vody přinesla následující zjištění:

- Převažující část povodí Labe ve většině hodnocených ukazatelů zaznamenává v průběhu posledních 30 let kontinuální nárůst úrovně znečištění.
- Velká část pozitivních změn v oblasti jakosti povrchových vod je soustředěna do oblasti velkých toků jako důsledek systémových opatření u dominantních zdrojů znečištění.
- Pozitivní vývoj, který byl nastartován v první polovině 90. let a který vedl k razantnímu snížení úrovně zátěže našich největších toků se výrazně zpomalil. Systémová investiční opatření do čištění odpadních vod se v prvním období logicky soustředila na největší průmyslové a komunální zdroje znečištění. Tento trend však nebyl následován u zdrojů regionálního a lokálního významu v celé ploše povodí Labe. V řadě oblastí naopak od druhé poloviny 90.let pozorujeme opětovný nárůst zátěže.
- V řadě oblastí za dočasným poklesem úrovně zátěže na počátku 90. let stojí prostý útlum průmyslových a zemědělských aktivit bez systémových opatření na ochranu vod před znečištěním.

Současné ekonomické oživení v těchto regionech tak je provázeno nárůstem zátěže toků znečištěním.

- V organickém znečištění z komunálních zdrojů představuje závažný problém dlouhodobá absence ČOV u malých a středních sídel. Současný odklad aplikace požadavků legislativy EU na čištění odpadních vod z těchto zdrojů oddaluje možnosti efektivního zlepšení jakosti vody v povodí Labe jako celku.
- Výrazným problémem zůstává zátěž z difúzních a plošných zdrojů znečištění, kdy ani po razantním poklesu aplikace strojených hnojiv nedochází k poklesu úrovně vyvoleného znečištění recipientů.
- Odklad aplikace environmentálních cílů WFD v oblasti čištění odpadních vod u malých a středních sídel přinese zhoršení stavu kvality vody v oblastech, které byly analýzou identifikovány jako kritické z hlediska současného stavu a vývoje kvality vody.

Poznatky o kvalitativních, kvantitativních, časových a prostorových aspektech vývoje kvality vody jsou významné pro management a řízení kvality vody v povodí Labe. Ukazují nezbytnost pokračování investic do oblasti ochrany povrchových vod před znečištěním a zejména na nutnost cíleného a prostorově selektivního přístupu, který může přispět k účinnějšímu zvyšování jakosti vody v tocích i k vyšší efektivitě vynakládaných investic.

7 PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory Výzkumného záměru MSM 0021620831 „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace“.

8 LITERATURA

Behrendt, H. (1996): Inventories of point and diffuse sources and estimated nutrient loads - a comparison for different river basins in Central Europe. Water Science and Technology 33(4-5), 99-107.

ČHMÚ (2004): Databáze jakosti povrchových vod v povodí Labe v období 1970-2003.

De Wit, M. (1999): Nutrient Fluxes in the Rhine and Elbe basins. Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit.

EEA (2002a): Phosphorus concentrations in Rivers. http://themes.eea.eu.int/.

EEA (2002b): Total oxygen in river stations by river size. http://themes.eea.eu.int/.

Janský, B. (1990): Bilance specifického látkového odnosu v českém povodí Labe. Závěrečná zpráva samostatné etapy státního úkolu Bilance specifického látkového odnosu v českém povodí Labe (II-5-7/8-4). Praha: PřF UK.

Janský, B. (2002): Changing Water Quality in the Czech Part of the Elbe Catchment Area in the 1990s. Geografie – Sborník ČGS. 107 (2), 74-93.

Jurča, V., Damaška, J., Damašková, H. & Jurča, V. (1997): Látkový transport z plošných zdrojů v České republice. Praha: VÚMOP.

Langhammer J. (2000): Trends of water quality of the Elbe River. Acta Universitatis Carolinae - Geographica 35.1 127-138.

Langhammer J. (2002a): Evaluation of the non-point sources of pollution of surface water. Acta Universitatis Carolinae - Geographica 2000.2. 67-82.

Langhammer, J. (2002b). Strukturální změny kvality povrchových vod v povodí Labe. Proměny krajiny a udržitelný rozvoj, eds. Balej, M. et Kunc, K., UJEP, Ústí nad Labem. p. 41-56.

Langhammer, J. (2004): Water quality changes in the Elbe River Basin. Geografie - Sborník ČGS 109(2), 93-104.

Langhammer, J. (2005): Geostatistická klasifikace změn kvality vody v povodí Labe. Geografie - Sborník ČGS 2005(1), 7-21.

MŽP ČR (2004): Indikátory životního prostředí. http://indikatory.env.cz/

Rieder, M. a kol.(2000): Jakost vody v tocích 1998-99 – ročenka. Praha,

Rosendorf P. et al. (1998): Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR, etapová zpráva za rok 1998. Praha: VÚV TGM.

Thyssen, N. (2000): Rivers in the European Union: Water Quality, Status and Trends. River Restoration in Europe Ed. Cals, M.J.R.; Nijland, H.J. Wageningen: 63-71.

Van Dijk, P. (2001): Soil erosion and associated sediment supply to rivers. Amsterdam: University of Amsterdam.
VÚV (2000): Databáze Státní vodohospodářské bilance.

Autor

RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D.
Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Katedra fyzické geografie a geoekologie
Albertov 6, Praha 2, 128 43
langhamr@natur.cuni.cz
http://www.natur.cuni.cz/~langhamr