

JAKUB LANGHAMMER

GEOSTATISTICKÁ KLASIFIKACE DYNAMIKY ZMĚN KVALITY VODY V POVODÍ LABE

J. Langhammer: *Geostatistical classification of dynamics of water quality changes in the Elbe river basin.* – Geografie – Sborník ČGS, 110, 1, pp. 15–31 (2005). – 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 control of surface water protection against pollution.
KEY WORDS: hydrology – water quality – pollution – environment – Elbe – GIS – analysis – classification.

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

1. Úvod a cíl

V průběhu 20. století došlo k 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 byly postupně 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 Česku nastal obrat ve vývoji 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, Janský 2002a).

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. 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 (Janský 2002b.).

Príspevek se zabývá klasifikací dynamiky vývoje kvality vody v povodí Labe z kvalitativního, časového a prostorového hlediska. Cílem prezentovaného výzkumu byla definice metodiky, která umožňuje objektivní diferenciaci povodí Labe na oblasti s odlišnou dynamikou a trendy změn kvality vody. Pomocí této metodiky byla provedena klasifikace dílčích povodí podle identifikovaných hlavních modelů dynamiky vývoje a byly vymezeny oblasti s kritickým charakterem vývojem jakosti vody v jednotlivých ukazatelích.

2. Materiál a metody

Pro klasifikaci dynamiky vývoje kvality vody byla v rámci výzkumného projektu autorem vytvořena nová metodika klasifikace dynamiky změn jakosti vody. Metodika vychází z využití kombinace metod statistické a prostorové analýzy za využití nástrojů GIS a navazuje na předchozí analýzy změn jakosti vody v toku Labe a jeho povodí za využití metod matematického modelování a prostorové analýzy (Langhammer, 1997, 2000, 2002). Hodnocení je prováděno na komplexním souboru profilů kvality vody v české části povodí Labe v období hodnocení pokrývající hlavní etapy změn jakosti vody.

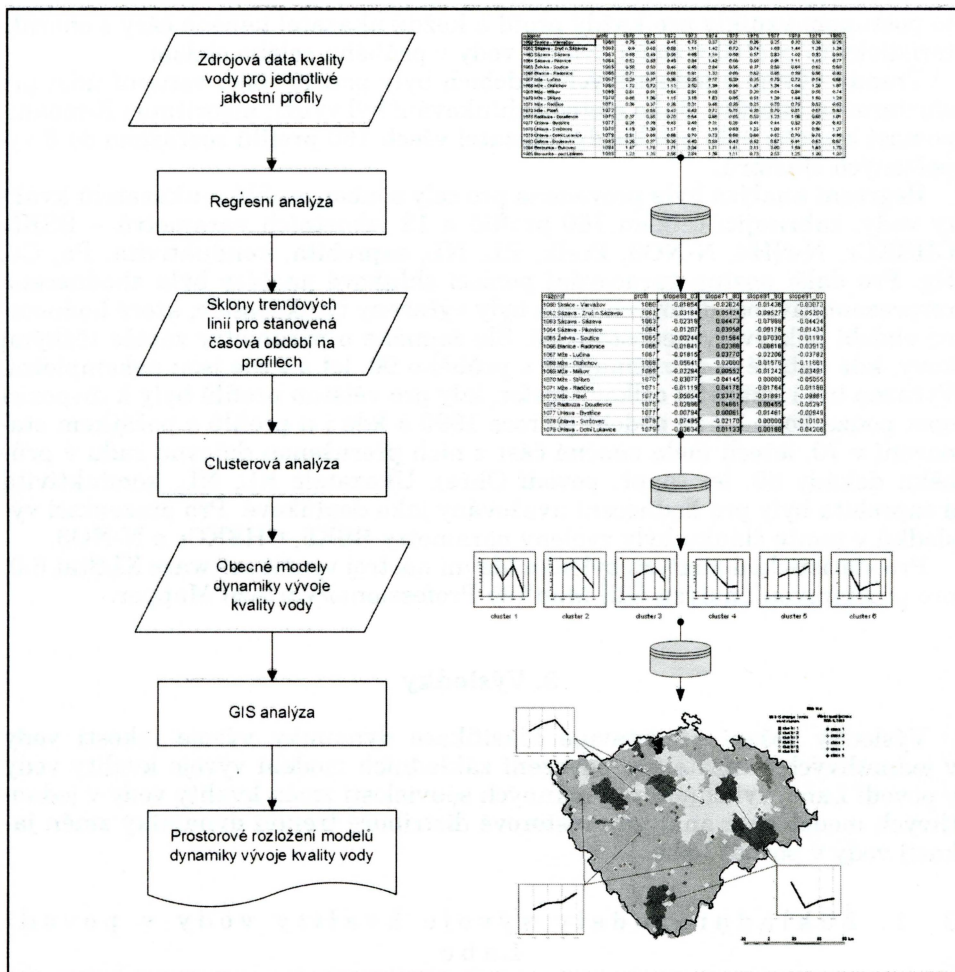
2. 1. Metodika hodnocení

Metodika analýzy trendů vývoje kvality vychází z aplikace geostatistické analýzy na datech dlouhodobých záznamů koncentrací vybraných ukazatelů kvality vody. Princip metodiky spočívá v odvození charakteristik trendů vývoje kvality vody na všech hodnocených profilech, následné identifikaci příbuzných rysů vývoje a jejich seskupení do základních modelů (viz obr. 1). Za tímto účelem jsou využity metody regresní a shlukové analýzy.

Časové řady ročních průměrných koncentrací vybraných ukazatelů pro jednotlivé profily jsou nejprve 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.

2. 2. Aplikace na povodí Labe

Jako vstupní data byly použity údaje o průměrných ročních koncentracích vybraných ukazatelů jakosti vody ze 160 profilů sítě ČHMÚ v rámci povodí



Obr. 1 – Metodika analýzy prostorových změn kvality vody v povodí Labe

Labe v časovém období od roku 1970 do roku 2002 (ČHMÚ 2004, Rieder a kol 2000).

Časová řada byla rozdělena do tří období, která jsou v české části 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, odrážející jak systémová opatření (výstavba ČOV u velkých zdrojů znečištění), tak změny v ekonomickém a sociálním prostředí (uzavírání řady výrobních podniků a budování nových provozů, rozvoj sídel, změny v zemědělství).

Pro tato období byly z hodnot průměrných ročních koncentrací jednotlivých ukazatelů pro všechny profily vypočteny směrnice trendů lineární regrese, ukazující na trend změn kvality vody v daném ukazateli pro toto období. Tím-

to postupem vznikly pro každý profil a každý ukazatel lomené čáry s charakteristickými průběhy změn kvality vody v průběhu celého období.

Trendy vývoje v jednotlivých obdobích byly použity jako vstupní údaj pro clusterovou analýzu. Jako metoda shlukování byl využit algoritmus K-means, pomocí kterého bylo pro každý ukazatel všech 160 profilů rozřazeno do 6 vytvořených clusterů.

Regresní analýza byla provedena pro celý soubor profilů a ukazatelů kvality vody, zahrnující celkem 160 profilů a 12 jakostních parametrů – BSK5, CHSKCr, N-NH₄, N-NO₃, Pcelk, RL, NL, saprobita, konduktivita, Pb, Cd, Hg. Pro další postup zpracování pomocí shlukové analýzy byla zhodnocena reprezentativnost datových řad a byly vyřazeny 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 nekompletní. Vyřazen byl i ukazatel celkový fosfor, kdy pro většinu profilů byly k dispozici opět pouze hodnoty za období po roce 1990 a kde i u profilů s počátkem stanovení v 70. letech měla značná část z nich přerušenu datovou řadu v průběhu dekády 80. let (např. povodí Ohře). Ukazatele RL, NL, konduktivita a saprobita byly pro hodnocení uvažovány jako doplňkové. Pro prezentaci výsledků v tomto článku byly zvoleny parametry BSK5, CHSKCr a N-NO₃.

Pro statistickou analýzu byl jako hlavní nástroj využit software XLStat 6.0, pro prostorovou analýzu GIS MapInfo Professional/Vertical Mapper.

3. Výsledky

Výsledky řešení představuje klasifikace dynamiky vývoje jakosti vody v jednotlivých ukazatelích, odvození základních modelů vývoje kvality vody v povodí Labe, vyhodnocení příčinných souvislostí změn kvality vody v jednotlivých modelech a analýza prostorové distribuce trendů dynamiky změn jakosti vody v povodí Labe.

3. 1. Základní modely vývoje kvality vody v povodí Labe

Pomocí regresní analýzy byly pro všech 160 jakostních profilů a celý soubor uvažovaných jakostních ukazatelů odvozeny směrnice změn jakosti vody v hodnocených hlavních obdobích, čímž vzniklo celkem 1 920 modelových typů průběhu změn kvality vody. Tato vstupní data byla použita jako vstup pro následnou shlukovou analýzu.

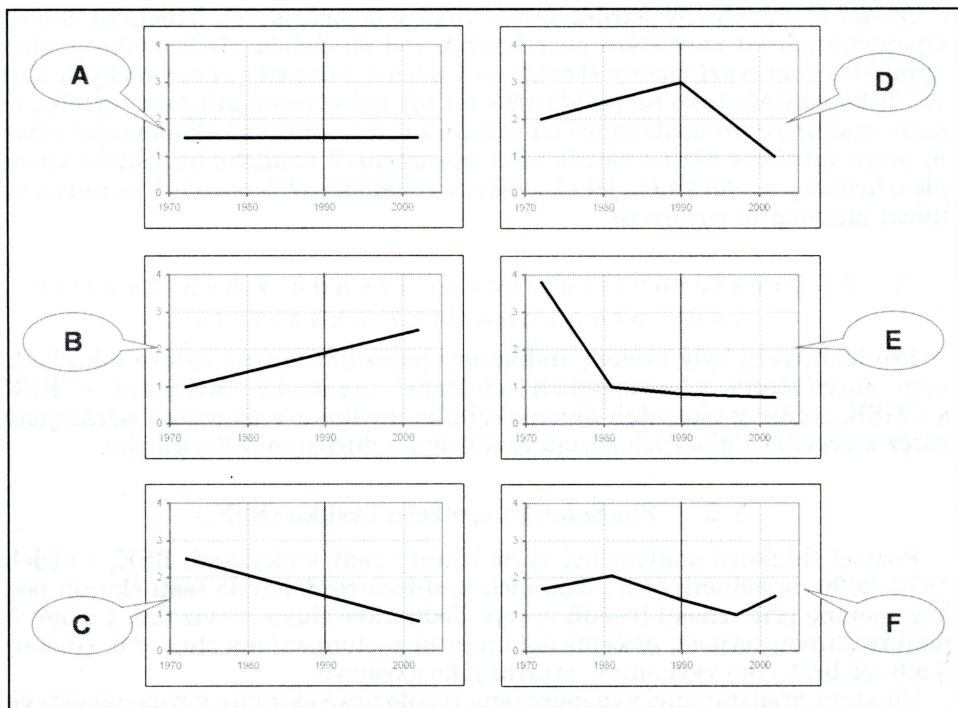
Na základě analýzy trendů vývoje kvality vody pomocí clusterové analýzy bylo pro jednotlivé hodnocené ukazatele vymezeno 6 základních modelů trendu vývoje kvality vody. Celkem bylo vygenerováno 24 typů dynamiky změn kvality vody v hlavních ukazatelích, doplněné o dalších 24 typů v ukazatelích doplňkových (tab. 1).

Z jednotlivých typů průběhu časových změn kvality vody, vygenerovaných shlukovou analýzou pro jednotlivé jakostní parametry, bylo odvozeno 6 hlavních modelů vývoje kvality vody, vyskytujících se napříč spektrem hodnocených ukazatelů (viz obr. 2).

Jednotlivé modely, označené A–F, popisují základní schémata dynamiky změn kvality vody v povodí Labe, odrážejí hlavní příčinné faktory změn a navzájem se liší jak prostorově – pro různá povodí a vodní toky, tak strukturně – pro jednotlivé ukazatele znečištění.

Tab. 1 – Výsledky clusterové analýzy klasifikace změn kvality vody pro jednotlivé ukazatele

	BSK ₅				CHSK _C				N-NO ₃				N-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	71-80	81-90	91-00	Počet profilů
Cluster 1	-5,47	4,51	-7,83	1	-0,33	0,86	-4,89	2	-0,62	-0,75	0,10	61	0,08	0,27	-1,64	9
Cluster 2	1,49	-4,15	-4,51	2	0,74	-0,45	-1,97	11	0,43	-0,38	1,94	16	0,27	0,17	0,39	105
Cluster 3	0,31	0,16	-0,65	34	0,34	0,15	0,59	86	1,84	0,36	-1,53	15	0,17	0,19	-0,37	29
Cluster 4	-4,16	-3,25	0,28	4	-4,13	-5,11	0,34	4	-0,55	0,53	-0,23	41	-5,25	-5,11	-4,75	4
Cluster 5	0,22	0,07	0,34	109	0,09	0,12	-0,25	43	0,55	3,85	-1,78	3	-0,56	0,44	0,12	7
Cluster 6	-1,56	0,42	0,13	10	-1,69	0,38	-0,71	14	1,01	0,54	0,02	24	-1,43	-1,40	0,45	6



Obr. 2 – Hlavní modely změn kvality vody v povodí Labe

Model A – vývoj bez výrazných změn 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 – postupný nárůst zátěže v celém hodnoceném období. Ze statistického a prostorového hlediska je jednoznačně nejčtenějším 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 – 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 – 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 – pokles znečištění před rokem 1990. Výrazné změny kvality vody na tocích v 70. a 80. letech jsou důsledkem výstavby čistíren odpadních vod u velkých průmyslových a komunálních zdrojů, kde často docházelo k vypouštění nečištěných nebo pouze minimálně upravených odpadních vod do vodních toků.

Model F – opětovný nárůst zátěže toků v devadesátých letech 20. století. Opětovný nárůst znečištění povrchových vod po období předchozího poklesu zpravidla doprovází změny struktury a nárůst intenzity ekonomických aktivit. Pokles zátěže toku na počátku 90. let zde byl vyvolán útlumem výroby, nikoliv systémovými opatřeními na ochranu vod a současné ekonomické oživení proto vyvolává nárůst zátěže toků znečištění. Z hlediska budoucího vývoje jde o kritický model změn, jehož výskytu v hodnocených povodích je nutno věnovat maximální pozornost.

3. 2. Prostorové rozložení trendů změn kvality vody pro jednotlivé ukazatele

Pro hodnocení byly zvoleny indikátory popisující změny zátěže toků bodovým znečištěním v ukazatelích odrážející organické znečištění – BSK₅ a CHSK_{Cr}, dále v ukazateli amoniakálního dusíku a v ukazateli odrážejícím zátěž z převážně plošných zdrojů znečištění – dusičnanového dusíku.

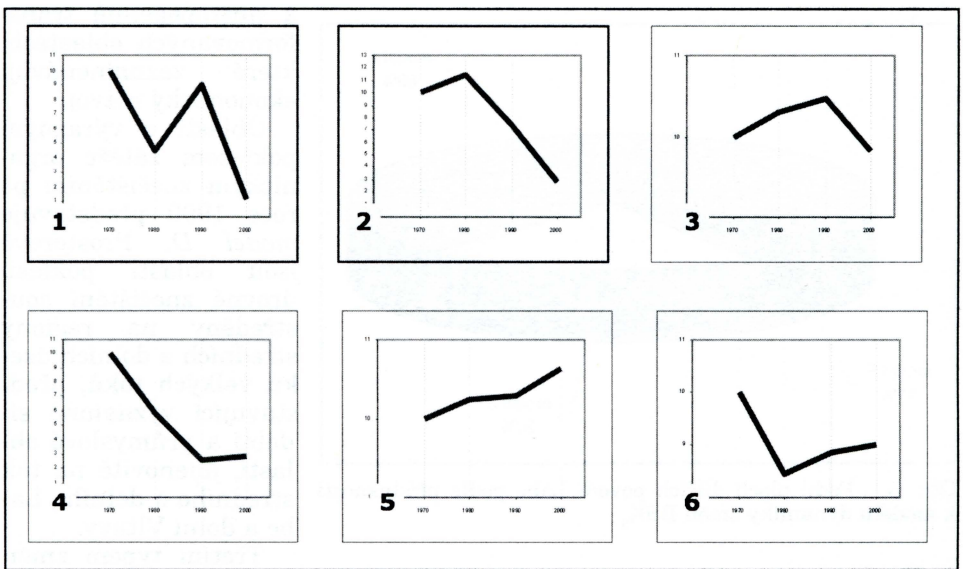
3. 2. 1. Biochemická spotřeba kyslíku (BSK₅)

Pomocí shlukové analýzy byl vývoj kvality vody v ukazateli BSK₅ v období 1970–2000 na jednotlivých jakostních profilech rozdělen do šesti skupin podle vzájemné příbuznosti trendů vývoje. Jednotlivé cluster (viz tab. 1 a obr. 3) mají rozdílnou četnost, přičemž dominantní zastoupení má cluster 5, cluster 3 a 6 lze brát jako významné, ostatní jako okrajové.

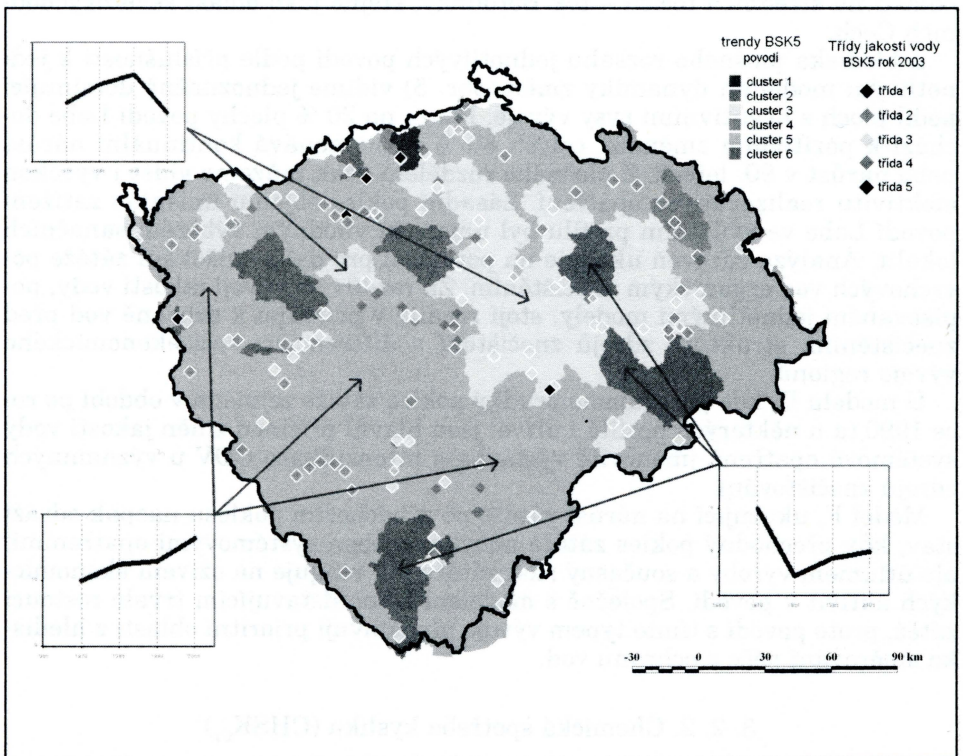
Cluster představující vygenerované typologické skupiny vývoje jakosti vody můžeme následně podle četností zastoupení a podle charakteru průběhu trendů změn zredukovat do tří skupin, odpovídajících hlavním modelům vývoje (viz kap. 3. 1.):

- *model B*, charakterizující kontinuální nárůst zátěže v celém hodnoceném období (cluster 5, celkem 109 profilů)
- *model D*, reprezentující pokles koncentrací BSK₅ po roce 1990 (cluster 3, 2, 1, celkem 37 profilů)
- *model F*, představující nárůst zátěže po předchozím poklesu (cluster 6 a 4, celkem 14 profilů).

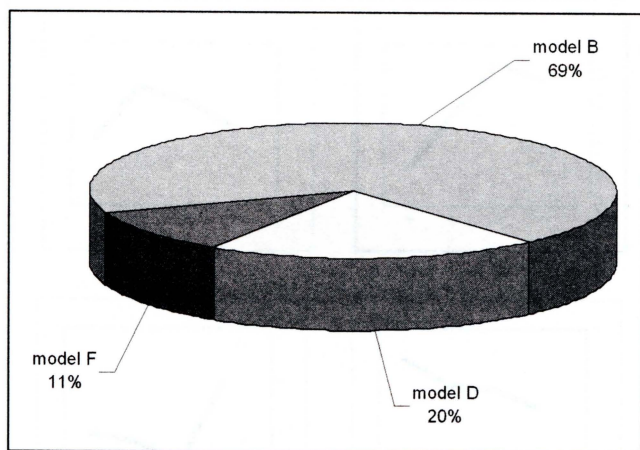
Prostorové rozložení skupin vývoje kvality vody v ukazateli BSK₅ je v rámci povodí Labe výrazně diferenciované (obr. 4). Nejčtenějším zastoupeným typem vývoje je *model B*, zobrazující kontinuální nárůst zátěže organického znečištění v celém hodnoceném období. Tento typ vývoje převažuje v oblasti jihozápadních a severozápadních Čech – v povodí Vltavy, Otavy, Berounky a Ohře. K nárůstu zátěže toků v ukazateli BSK₅ dochází na převážné většině území. Jedná se zpravidla o drobné až středně velké toky v urbanizovaných



Obr. 3 – Vypočtené clustery typů změn kvality vody v povodí Labe pro ukazatel BSK₅



Obr. 4 – Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli BSK₅. V legendě vlevo: trendy BSK₅ povodí (cluster 1–6), vpravo: třídy jakosti vody BSK₅, rok 2003 (třída 1–5).



Obr. 5 – Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn BSK₅

a antropogenně transformovaných oblastech, které zaznamenávají ekonomický rozvoj.

Oblasti s výrazným poklesem zátěže organickým znečištěním po roce 1990 představuje *model D*. Prostorově jsou oblasti poklesu úrovně znečištění soustředěny na regiony středních a dolních úseků velkých toků, představující významné sídelní a průmyslové oblasti, jmenovitě na tok středního a dolního Labe a dolní Vltavy.

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.

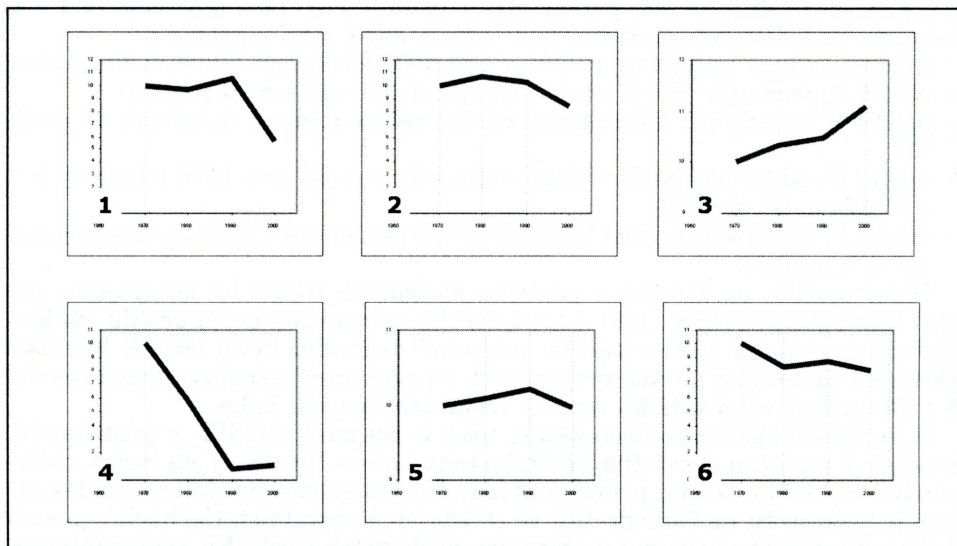
Z hlediska plošného rozsahu jednotlivých povodí podle příslušnosti k jednotlivým modelům dynamiky změn (obr. 5) vidíme jednoznačně dominující podíl ploch s negativními rysy vývoje. Pouze na 20 % plochy povodí Labe dochází k pozitivním změnám, celých 80 % zaznamenává kontinuální nárůst nebo nárůst v 90. 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. Za rozdíly ve vývoji jakosti vody, popisovaném jednotlivými modely, stojí rozdíly v přístupu k ochraně vod před znečištěním, struktuře zdrojů znečištění a diferenciaci socioekonomického vývoje regionů.

U modelu D, kde pozorujeme prudký pokles zátěže zejména v období po roce 1990 (a u některých profilů i dříve) jsou hlavní příčinou změn jakosti vody systémová opatření, jmenovitě výstavba a intenzifikace ČOV u významných zdrojů znečišťování.

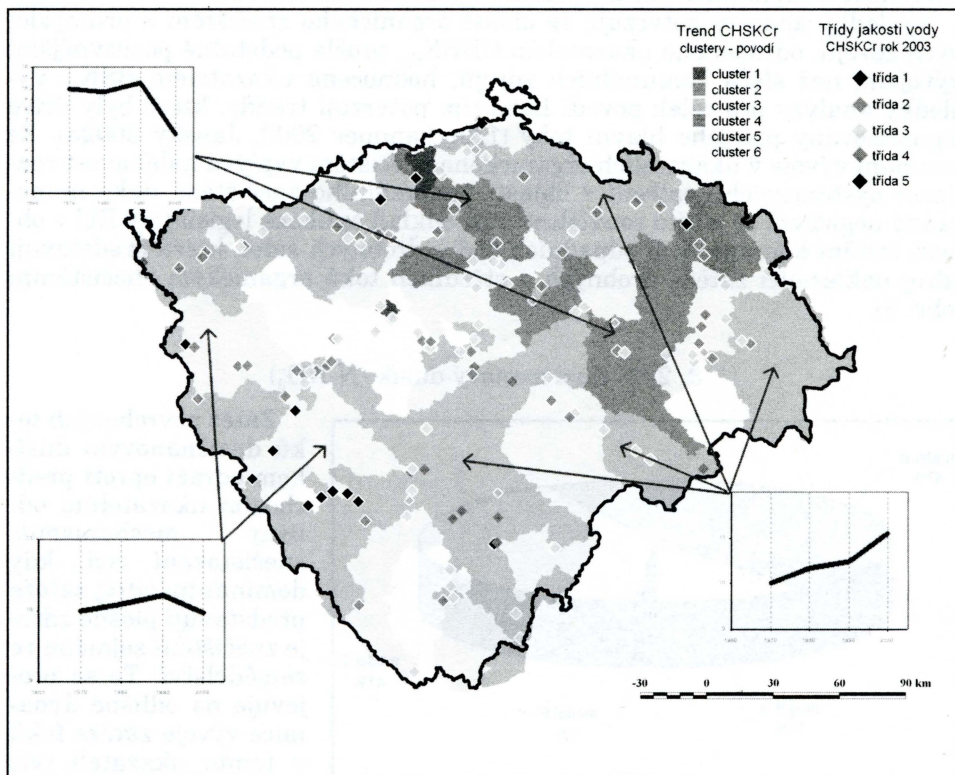
Model F, ukazující na nárůst zátěže po předchozím poklesu naopak odráží stav, kdy přechodný pokles zátěže nebyl způsoben systémovými opatřeními, ale útlumem výroby a současný růst zátěže tak reaguje na oživení ekonomických aktivit v povodí. Společně s modelem B, představujícím trvale rostoucí zátěž, proto povodí s tímto typem vývoje představují prioritní oblasti z hlediska směřování péče o ochranu vod.

3. 2. 2. Chemická spotřeba kyslíku (CHSK_{C_r})

Trendy vývoje znečištění vod v ukazateli CHSK_{C_r}, odrážejícím především zátěž z průmyslové výroby, jsou ze statistického hlediska i prostorového rozložení od předchozího ukazatele výrazně odlišné. Z šesti clusterů (viz tab. 1



Obr. 6 – Vypočtené clustery typů změn kvality vody v povodí Labe pro ukazatel CHSK_{Cr}



Obr. 7 – Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli CHSK_{Cr}. V legendě vlevo: trendy CHSK_{Cr} povodí (cluster 1–6), vpravo: třídy jakosti vody CHSK_{Cr}, rok 2003 (třída 1–5).

a obr. 6) jsou dva typy jsou převažující (cluster 3 a 5), další dva (cluster 1 a 4) můžeme hodnotit jako okrajové typy vývoje, zbylé jako doplňkové.

Můžeme z nich vydělit typy vývoje, odpovídající čtyřem hlavním skupinám:

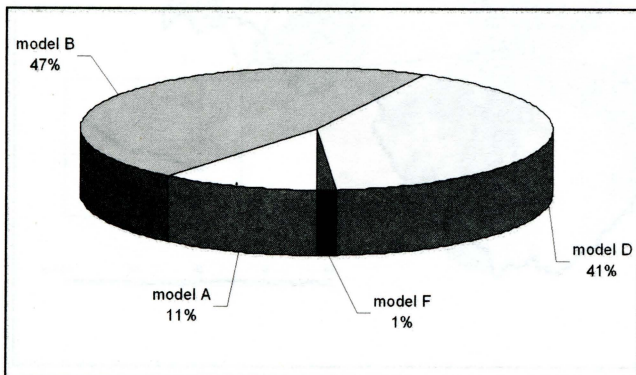
- *model A*, popisující nevýrazný vývoj (cluster 6, celkem 14 profilů)
- *model B*, vyjadřující kontinuální nárůst zátěže (cluster 3, celkem 86 profilů)
- *model D*, odrážející pokles zátěže toku zejména po roce 1990 (clustery 1, 2 a 5, celkem 66 profilů)
- *model F*, zahrnující nárůst koncentrací po předchozím poklesu zátěže (cluster 4, 4 profily).

Počet profilů, na kterých v průběhu posledních třiceti let pozorujeme nárůst koncentrací $CHSK_{Cr}$ (86) je totiž zhruba rovnocenný počtu profilů, na kterých konstatujeme pokles zátěže, případně neutrální vývoj (80). Z hlediska plošného zastoupení představují povodí s pozitivními aspekty vývoje (*model A a D*) nadpoloviční většinu rozlohy české části povodí Labe.

K nejvýraznějšímu poklesu zátěže toků v ukazateli $CHSK_{Cr}$ v průběhu 90. let došlo v prostoru středního a dolního toku Labe a Vltavy, tj. na tocích, ovlivněných největšími zdroji přímého průmyslového znečištění. Mírný pokles zátěže je pozorován na řadě profilů ve středních a západních Čechách v povodí Berounky, Vltavy, Sázavy i v oblastech východních Čech. Ke kontinuálnímu nárůstu znečištění dochází v okrajových částech povodí v horských oblastech severních a západních Čech, Vysočiny i jižních Čech (obr. 7).

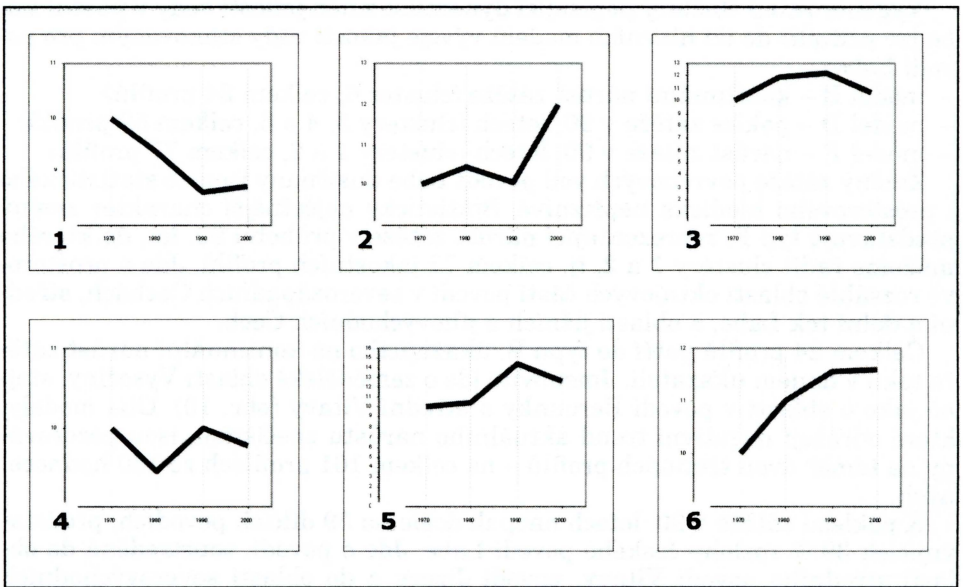
Výsledky analýzy potvrzují, že oblast organického znečištění z průmyslových zdrojů, odráženého ukazatelem $CHSK_{Cr}$, prošla podstatně pozitivnějším vývojem, než sféra komunálních zdrojů, hodnocená ukazatelem BSK_5 . Výsledky analýzy pro celek povodí Labe tím potvrzují trendy, které byly dříve signalizovány pro jeho hlavní toky (Langhammer 2000, Janský 2002a). Ze srovnání vývoje v ukazatelích organického znečištění vyplývá naléhavost realizace systémových opatření v oblasti komunálního znečištění. Jako mimořádně negativní se v této souvislosti jeví odklad aplikace legislativy EU v oblasti čištění komunálních odpadních vod u drobných sídel, která představují zdroj neklesající zátěže drobných a středních toků organickým znečištěním (obr. 8).

3. 2. 3. Dusičnanový dusík ($N-NO_3$)

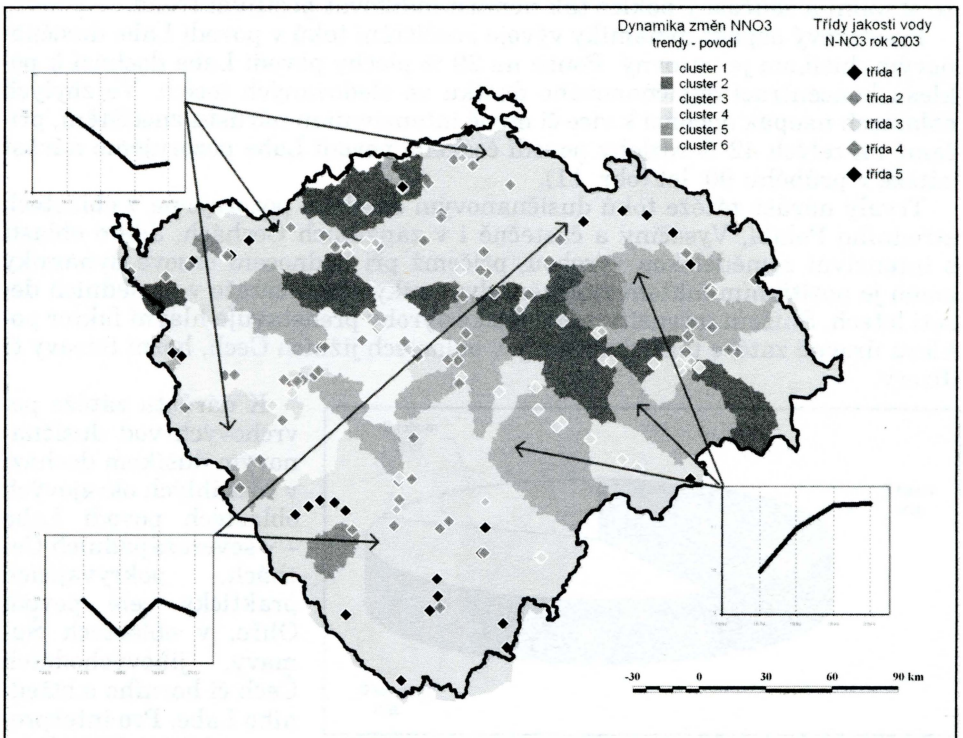


Obr. 8 – Podíl ploch dílčích povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn $CHSK_{Cr}$

Zátěž povrchových toků dusičnanovým dusíkem odráží oproti předchozím ukazatelům odlišný mechanismus znečišťování vod, kdy dominantní zdroj zátěže představují plošné zdroje znečištění zejména ze zemědělství. To se projevuje na odlišné dynamice vývoje zátěže toků v tomto ukazateli (viz tab. 1 a obr. 9) prostorovém rozložení tendí změn.



Obr. 9 – Vypočtené clustery typů změn kvality vody v povodí Labe pro ukazatel N-NO₃



Obr. 10 – Prostorové rozložení trendů změn kvality vody v povodí Labe v ukazateli N-NO₃. V legendě vlevo: trendy N-NO₃ povodí (cluster 1–6), vpravo: třídy jakosti vody N-NO₃, rok 2003 (třída 1–5).

Vygenerované clustery popisující dynamiku změn jakosti vody v povodí Labe lze přiřadit do tří hlavních modelů vývoje jakosti vody stanoveným pro povodí Labe:

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

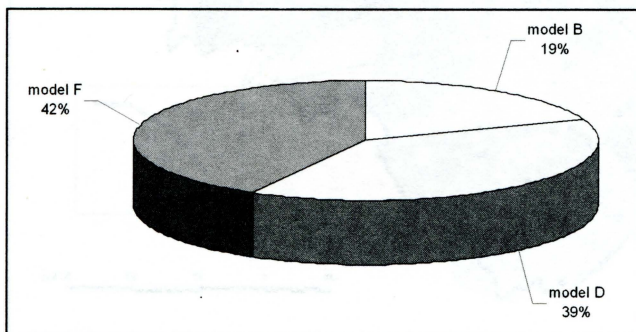
Změny zátěže povrchových vod povodí Labe dusičnany jsou ze statistického i prostorového hlediska nepříznivé. Statisticky nejčtenější charakter změny představuje typ F, reprezentující nárůst zátěže v průběhu 90. let, do kterého můžeme řadit cluster 1 a 2, tj. celkem 77 jakostních profilů. Jde o prostoro- vě rozsáhlé oblasti okrajových částí povodí v severozápadních Čechách, střední a dolní tok Labe, a oblasti jižních a jihovýchodních Čech.

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 (obr. 10). Oba modely, které odrážejí negativní trend aktuálního nárůstu znečištění, jsou pozorovány na téměř dvou třetinách profilů – na celkem 101 profilech ze 160 hodnocených.

K poklesu zátěže v 90. letech naopak došlo na 59 dílících povodích, 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.

Prostorový aspekt dynamiky vývoje znečištění toků v povodí Labe dusičnanovým dusíkem je varovný. Pouze na 29 % plochy povodí Labe dochází k poklesu koncentrací dusičnanového dusíku ve sledovaných tocích. Ve zbylých oblastech naopak dochází k více či méně intenzivnímu nárůstu znečištění, přičemž na celých 42 % rozlohy povodí českého povodí Labe pozorujeme nárůst zátěže v průběhu 90. let (obr. 11).

Trvalý nárůst zátěže toků dusičnanovým dusíkem pozorujeme v oblastech středního Polabí, Vysočiny a částečně i v západních Čechách. Jde o oblasti s intenzivní zemědělskou výrobou, přičemž při hodnocení časové dynamiky změny 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.



Obr. 11 – Podíl ploch dílících povodí Labe podle příslušnosti k modelu dynamiky změn N-NO₃

K nárůstu zátěže povrchových vod dusičnanovým dusíkem dochází 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.

4. Diskuse

Zkušenosti z analogického vývoje ve velkých evropských povodích, zejména v povodí Rýna (Behrendt 1996, De Wit 1999, Thyssen 2001, Langhammer 2002 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, Langhammer 2002, Janský 2002b).

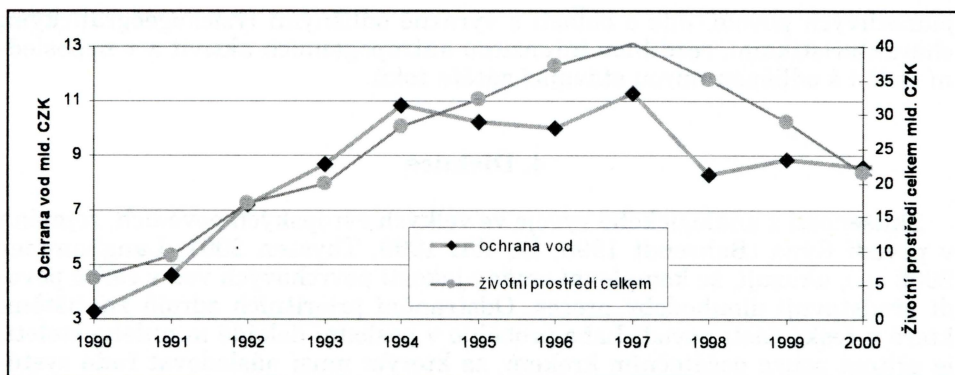
Poznání časové a prostorové dynamiky vývoje celého systému, které přináší provedená analýza, umožňuje přesněji definovat strukturu priorit v řízení ochrany vod před znečištěním a nalézt odpovídající nástroje pro řešení jednotlivých problémů. Při realizaci naléhavých a prioritních opatření v polovině 90. let hrála klíčovou roli přímá opatření – investiční dotace a výzkumná a organizační podpora národních a nadnárodních struktur. V následném procesu probíhajícím na ploše povodí jako celku budou vedle přímých opatření, směřovaných zejména na zprovoznění a intenzifikaci ČOV u malých a středních zdrojů, hrát významnou úlohu zejména nepřímé nástroje. Na základě zkušeností z analogického vývoje v západoevropských povodích by se tato opatření měla opírat o tři hlavní pilíře:

- legislativní nástroje
- ekonomické nástroje
- vzdělávací programy.

V oblasti *legislativních nástrojů* má Česko za sebou významný kus cesty v podobě přijetí evropských environmentálních norem EU a jejich harmonizaci se stávajícím systémem národní legislativy. Nezbytná však bude důslednější aplikace a vymahatelnost jednotlivých legislativních nástrojů a předpisů.

Z hlediska 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.

Pro úspěch realizovaných opatření, ať již přímých nebo nepřímých, bude jedním z hlavních činitelů celková úroveň investic do ochrany vod před znečištěním. Zde je jako rizikový faktor nutné vnímat setrvalý pokles objemu investic do oblasti ochrany vod, ke kterému dochází od poloviny 90. let a který se týká jak prostředků ze státního rozpočtu, tak investic ze soukromého sektoru a zahraničí. Má-li Česko 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



Obr. 12 – Investice na ochranu vod před znečištěním. Data MŽP 2004.

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 (obr. 12).

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 ze zahraničí 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.

5. Závěr

Článek představuje novou metodiku hodnocení dynamiky změn kvality vody, která umožňuje jak kvalitativní, časový, tak zejména prostorový pohled na vývoj jakosti vody v komplexním povodí. Pomocí této metodiky byly odvozeny základní modely změn kvality vody v povodí Labe v období 1970–2002. Změny byly kvantitativně a prostorově vyhodnoceny pro jednotlivé ukazatele. Na základě analýzy v prostředí GIS byly identifikovány regiony s analogickým vývojem kvality vody v jednotlivých ukazatelích.

Analýza dynamiky změn jakosti vody ukázala na následující skutečnosti:

- 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

ho 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 je tak provázáno nárůstem znečištění toků.
- 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 znečištění recipientů.

Pro management a řízení jakosti vody v povodí Labe jsou poznatky o kvalitativních, kvantitativních, časových a prostorových aspektech vývoje kvality vody významné. Ukazují, že jakkoliv lze z bilančního hlediska považovat současný vývoj za pozitivní, je nezbytné podporovat a cíleně řídit další investice do ochrany povrchových vod před znečištěním. Zároveň výsledky analýzy ukazují kritické aspekty změn jakosti vody a identifikují geografické oblasti, do kterých by do budoucna měla směřovat prioritní pozornost a opatření.

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, č. 4-5, s. 99-107.
- COUSTEAU EQUIPE (1993): *The Danube... For Whom and for What?* London, European Bank for Reconstruction and Development.
- 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. (2002a): Changing Water Quality in the Czech Part of the Elbe Catchment Area in the 1990s. *Geografie – Sborník ČGS*, 107, č. 2, ČGS, Praha, s. 74-93.
- JANSKÝ, B. (2002b): Einfluss der Landwirtschaft auf die Gewässergüte im tschechischen Elbe – Einzugsgebiet. In: *Elbe – neue Horizonte des Flussgebietsmanagements*. B.G. Teubner Verlag, Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden, s. 349-351.
- JURČA, V. a kol. (1997): *Látkový transport z plošných zdrojů v České republice*, VÚMOP Praha.
- LANGHAMMER, J. (1997): Matematické modelování jako metoda hodnocení jakosti vody. *Geografie – Sborník ČGS*, 102, č. 4, ČGS, Praha, s. 241-253.
- LANGHAMMER J. (2000): Trends of water quality of the Elbe River. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, XXXV, č. 1, UK, Praha, s. 127-138.
- LANGHAMMER J. (2002): Evaluation of the non-point sources of pollution of surface water. *Acta Universitatis Carolinae – Geographica*, XXXVII, č. 2, UK, Praha, s. 67-82.
- LANGHAMMER, J. (2004): Water quality changes in the Elbe River Basin. *Geografie – Sborník ČGS*, 109, č. 2, ČGS, Praha, s. 93-104.
- MOHAUPT, V. et al. (1998): Diffuse Sources of Heavy Metals in the German Rhine Catchment, 3rd International IAWQ-Conference on Diffuse Pollution, Edinburgh.
- MŽP ČR (2004): *Indikátory životního prostředí*. MŽP ČR, Praha, <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*. VÚV TGM, Praha.
- THYSSEN, N. (2000): Rivers in the European Union: Water Quality, Status and Trends. In:

Summary

GEOSTATISTICAL CLASSIFICATION OF DYNAMICS OF WATER QUALITY CHANGES IN THE ELBE RIVER BASIN

The article presents new methods of evaluation of dynamics of water quality changes enabling a qualitative, chronological and mainly spatial view on water quality development in the complex basin. These methods helped to derive the basic models of water quality changes in the Elbe basin in the period 1970-2002. Changes were both quantitatively and spatially analysed for individual indices. With the help of analysis in GIS environment, regions with analogical development of water quality in individual indices were identified.

The analysis of dynamics of water quality changes has shown the following:

- During the last thirty years, the prevailing part of the Elbe basin has manifested, for the majority of evaluated indices, a continuous increase of pollution level.
- A great part of positive changes in the field of surface water quality is concentrated in the biggest watercourses as a result of system measures concerning major pollution sources. The positive development started in the first half of the 1990's and leading to a rapid decrease of pollution load of our biggest streams, has sensibly slowed down. System investment measures concerning wastewater purification logically concentrated in the first period on the most important industrial and communal pollution sources. Nevertheless, this trend has not been followed by sources of regional and local significance in the whole area of the Elbe basin. On the contrary, in number of fields a new increase of load has been observed since the second half of the 1990's.
- In number of fields, the temporary decrease of pollution load at the beginning of the 1990's was due to a simple recession of industrial and agricultural activities not accompanied by water protection system measures. The present economic stimulation in these regions is thus accompanied by an increased pollution of water streams.
- In organic pollution from communal sources, a serious problem consists in long-term absence of wastewater treatment plants in small and middle settlements. The current postponing of implementation of EU legislation on treatment of wastewater from these sources delays the chance of an effective improvement of water quality in the Elbe basin as a whole.
- A serious problem remains the load from diffuse and area pollution sources when even after a rapid decrease of artificial fertilizers application the pollution level of recipients has not decreased.

Findings on qualitative, quantitative, chronological and spatial aspects of water quality development are important for water quality management and control. They show that although the present development can be considered as positive from the balance perspective, it is necessary to support and purposefully control further investments into protection of surface water from pollution. At the same time, the results of our analysis show critical aspects of water quality changes and identify the geographical regions, to which the main attention should be paid in the future.

Fig. 1 – Methods of analysis of spatial changes in water quality in the Elbe basin. From above from left: source data of water quality for individual quality profiles, regression analysis, tendencies of trend lines for fixed time periods on profiles, cluster analysis, general models of dynamics of water quality development, GIS analysis of spatial distribution of models of dynamics of water quality development.

Fig. 2 – Principal models of water quality changes in the Elbe basin.

Fig. 3 – Calculated clusters of types of water quality changes in the Elbe basin for the BOD₅ index.

Fig. 4 – Spatial distribution of trends of water quality changes in the Elbe basin in the BOD₅ index. Key left: BOD₅ trends of the basin (cluster 1–6), right: BOD₅ water quality classes, year 2003 (class 1–5).

- Fig. 5 – Part of areas of partial Elbe basins according to the models of dynamics of BOD_5 changes.
- Fig. 6 – Calculated clusters of types of water quality changes in the Elbe basin for the COD index.
- Fig. 7 – Spatial distribution of trends of water quality changes in the Elbe basin in the COD index. Key left: COD_t trends of the basin (cluster 1–6), right: COD water quality classes, year 2003 (class 1–5).
- Fig. 8 – Part of areas of partial Elbe basins according to the models of dynamics of $CHSK_{Cr}$ changes.
- Fig. 9 – Calculated clusters of types of water quality changes in the Elbe basin for the $N-NO_3$ index.
- Fig. 10 – Spatial distribution of trends of water quality changes in the Elbe basin in the $N-NO_3$ index. Key left: $N-NO_3$ trends of the basin (cluster 1–6), right: $N-NO_3$ water quality classes, year 2003 (class 1–5).
- Fig. 11 – Part of areas of partial Elbe basins according to the models of dynamics of $N-NO_3$ changes.
- Fig. 12 – Investments into protection against water pollution. Axis y left: water protection (in billions of CZK), right: environment in total (in milliards of CZK). Key from the top: water protection, environment in total.

(Pracoviště autora: katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: langhamr@natur.cuni.cz.)

Do redakce došlo 8. 2. 2005