

Jakost vody a transport polutantů v českém Labi

JOSEF K. FUKSA

Klíčová slova: Labe – Vltava – dusík – fosfor – eutrofizace – čistírny odpadních vod – zdraví – farmaka

ABSTRAKT

V příspěvku byla zpracována data o jakosti vody v českém dolním Labi a Vltavě za období 1961–2020 a srovnána s archivními daty (referenční období 1880–1913). Transport dusíku a celkového fosforu povodím byl porovnán s produkcí čistíren odpadních vod (ČOV). Obecně platí, že jakost vody v dolním toku českého Labe se významně zlepšila a od období 1995–2020 je stabilní.

Proti referenčním datům obecně vzrostly koncentrace chloridu, síranu a celkového fosforu. Amoniakální dusík je dnes na úrovni roku 1900, ale znovu zmizel až po roce 1990, místo něj ovšem nyní řeky nesou do oceánu významná množství dusičnanu, dříve prakticky neznámého. Podstatná část dusičnanu pochází z nebudových zdrojů.

Fosfor (stanovený jako P_{celk}) je v řekách stále v nadbytku a jeho zásadním zdrojem jsou komunální ČOV. Vysoká primární produkce fytoplanktonu v nádržích a dolních tocích řek je dnes kontrolována spíše jen sezonním cyklem a hydromorfologickými podmínkami pro růst fytoplanktonu.

Objevily se nové polutanty typu pesticidů a farmak. Přisun farmak je celoroční a naděje na jejich stoprocentní odstranění v ČOV jsou zatím malé.

S postupující klimatickou změnou očekáváme delší období s vyšší teplotou vody a s nízkými průtoky a se změnou režimu srážek také vyšší frekvenci odlehčení kanalizačních systémů. To významně zvýší dopady na říční ekosystémy a zároveň sníží efektivnost současných monitorovacích systémů. Legislativa na to není připravena a můžeme snad spoléhat na implementaci nové směrnice 2024/3019 EU.

ÚVOD

V současnosti máme k dispozici data o jakosti vody v českých řekách za více než 50 let a můžeme prohlásit, že jakost vody v českých a moravských řekách se za posledních 30 let významně zlepšila. I když proces začal už o něco dříve, stojí za ním především „konec socialismu“, který v praxi znamenal konec řady firem produkujících znečištění, dále mezinárodní přístup k velkým povodím (mezinárodní komise pro ochranu Labe, Dunaje a Odry – MKOL, MKOD, MKOOpZ), evropskou podporu výstavby a vylepšení čistíren odpadních vod atd. Zásadní je také aplikace Rámcové směrnice pro vodní politiku EU (2000/60/ES), jež přinesla do hodnocení stavu vod zásadní změnu: považuje vodstvo především za dědictví, které je třeba chránit, a hodnotí řeky a stojaté vody (klasifikované jako vodní útvary)

komplexně, tj. nejen z hlediska jakosti vody, ale i z hlediska jakosti biotopů, resp. odchylky hydromorfologických charakteristik od přírodního stavu. Dnes vidíme, že kolem roku 2005 se jakost vody v řekách v naprosté většině tradičně sledovaných profilů a podle tradičních ukazatelů významně zlepšila a od té doby je celkem stabilní. To ovšem také na první pohled znamená, že se už významně nezlepšuje. Můžeme si tedy položit otázku, je-li už jakost vody stabilní, nebo zlepšování stagnuje, a zřejmě dospějeme k závěru, že tradiční přístup k hodnocení jakosti vody založený na „stálém zlepšování“ je nutno přehodnotit a více zkoumat zdroje znečištění a mechanismy antropogenních změn jakosti vody. Po již uvedeném zvládnutí problému ČOV se objevily především dva „nové aspekty“: (1) Nové polutanty, zčásti opravdu nové a zčásti jenom „objevené“ díky pokroku analytických technik a (2) významné změny srážkoodtokového režimu, související s klimatickou změnou. V další části se budeme zabývat českým povodím Labe od soutoku s Vltavou, reprezentovaným profily Obříství, Zelčín a Hřensko.

JAKOST VODY A JAK SE HODNOTÍ

Jakost (či kvalita) vody je souhrn fyzikálních, chemických a biologických vlastností „konkrétní vody“, vždy vztažený k nějakému standardu. Standard je buď její využitelnost (pitná, užitková apod.), nebo odchylka od přírodního stavu. Přírodní stav je dán především geologií krajiny a srážkami a odchylka je obecně antropogenního původu, tedy znečištění. Stanovení jakosti je založeno na navazující řadě činností – na vzorkování a měření, včetně analýz vzorků, a následném hodnocení výsledků – souhrnně se tomu říká monitoring. Výsledkem jsou tabulky dat pro jednotlivé sledované profily, uložené v primárních databázích. Až tady začíná vlastní hodnocení, k němuž lze ovšem přistupovat různě. Další krok je totiž prezentace výsledků, která může být:

- (1) obecná, tj. zpracování naměřených hodnot,
- (2) „na limit“ – vztažená k standardně respektovaným limitům,
- (3) klasifikace do tříd (tříd jakosti, kategorií ekologického stavu apod.).

V prvním případě dostáváme datové řady a statisticky zpracované údaje (např. průměry) vyjádřené v absolutních jednotkách v soustavě SI (koncentrace v mg/l, látkové toky profilem v g/s nebo t/den), v druhém případě je výsledkem pouhé konstatování „v mezích limitu“, který ani nemusíme znát a jenž může být kdykoli změněn, resp. „aktualizován“. Ve třetím případě dostaneme jen „třidu“ zahrnující komplikované společné hodnocení řady faktorů (a vymezení třídy může být v čase také „aktualizováno“). Všechny tři základní typy mají své výhody i nevýhody. První případ je „jediný správný“, protože jeho publikované výsledky jsou a budou použitelné a srovnatelné i v dlouhých časových řadách, budou dále zpracovatelné atd. Je však problematický pro jednoduché hodnocení, jelikož laický uživatel neví, „co je správně“. Druhý případ dává informaci v kontextu současnosti, protože dokud není překročen (dnes uznávaný) limit, není kvalifikovaný důvod činit nějaká opatření. Třetí případ – klasifikace do tříd – má bohatou historii. V současnosti jsou u nás aktuální dva typy.

Máme unikátní národní normu *ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace povrchových vod* podle vybraných „ukazatelů kvality“, fyzikálních, chemických a biologických. Vody jsou pak klasifikovány do pěti tříd od „Neznečištěná“ po „Velmi silně znečištěná“. Pro základní ukazatele (BSK₅, CHSK_{Cr}, N-NH₄, N-NO₃, P_{celk.} a saprobní index makrozoobenthosu) se třída určí podle nejnepríznivějšího zařazení jednotlivých ukazatelů, podle tabulky mezních hodnot ve třídách. Dále lze dle potřeby použít i řadu „dalších“ ukazatelů, v souladu s předepsanými postupy. V závěru zařazení se dané úseky vodních toků zanesou do mapy s příslušnou barvou (od světle modré po nejhorší červenou). Podle nich lze po dvouletých obdobích srovnávat změny barevných úseků na mapě a hodnotit „zlepšování“. Pro laického uživatele nebo souhrnnou informaci je to téměř dokonalé, pro nezaujatého profesionála již méně. První problém spočívá ve stanovení pevných limitů tříd na kontinuu výsledků, to je ovšem problém každé kategorizace. Druhý problém je závažnější: norma byla již několikrát aktualizována – k roku 1989, 1998 a 2017. To samozřejmě vždy změnilo zařazení stejných říčních úseků, aniž se na nich cokoli stalo – obecně to tedy může vést až k mylným představám čili k dezinformacím – pro laiky směrem „zlepšuje se“ a pro část odborné veřejnosti k nepřiměřenému optimismu „zlepšujeme, protože čistíme dobře“. Jiný přístup k zařazení je součástí hodnocení kvality vodních útvarů pro účely Rámcové směrnice. Pro tu je jakost vody pouze součástí hodnocení ekologického stavu vodních útvarů, definovaných jako části povodí, nejen jako úseky vodních toků. Úroveň základních fyzikálně-chemických ukazatelů a živin (opět dusík, fosfor atd.) je zde hodnocena jako faktory podporující biologickou složku ekosystému (složky tvoří makrozoobenthos, fytoplankton a ryby). Na začátku jsou tedy opět základní tabulky naměřených dat, hodnotí se ale odchylka od stanoveného referenčního stavu pro jednotlivé typy vodních útvarů – to mj. znamená, že nikdy nesrovnáváme jakost vody u pramene a na dolním toku řeky. Filozofie Rámcové směrnice počítá obecně i s posunem referenčních podmínek. Zvlášť se hodnotí také chemický stav vodních útvarů, a to podle výskytu prioritních látek vyjmenovaných v postupně aktualizovaných přílohách. Po celé Evropě je i dnes chemický stav neuspokojivý, k roku 2021 dosáhlo jen 21 % evropských vodních útvarů úrovně dobrého chemického stavu [17]. Je to mj. proto, že s rozvojem analytických metod jsou prioritní a různě nebezpečné či rizikové látky nacházeny postupně v dalších vodách, takže „prosté zlepšování“ zde zatím nemůžeme očekávat. Vodní útvary jsou ovšem hodnoceny v šestiletých periodách Plánů povodí. To je rozdíl od pravidelného monitoringu kvality vody se základní frekvencí 12x ročně, který provozují správci vodních toků (státní podniky Povodí), jehož data zde používáme.

Dále budeme využívat jen první typ práce s výsledky, tj. výsledky pravidelného monitoringu s frekvencí 12x ročně, prezentované jako roční průměry, nebo jako roční cykly, a „hodnotit“ budeme pouze změny a jejich možné příčiny a souvislosti. Za data děkujeme státním podnikům Povodí Vltavy a Povodí Labe.

ZDROJE DAT A METODICKÝ PŘÍSTUP

Už Kosmas věděl a napsal hned v úvodu své kroniky [1], že Čechy jsou odvodňovány jedinou řekou, zvanou Labe. Vltavu Kosmas zmiňuje o pár řádků dále a líčí, jak se u ní – v prý pusté krajině – zastavili

lidé a dali jí název podle svého náčelníka. Sever Čech je sice odvodňován Nisou a Smědou do Odry, my však zůstaneme u povodí Labe. Můžeme jej rozdělit na tři části – (1) povodí Vltavy, (2) povodí Labe nad soutokem s Vltavou a (3) na „společný úsek“ od soutoku (Mělník) po hraniční profil Hřensko. V tomto textu pracujeme jen s daty převzatými z ročenek, databází a citované literatury. Pro srovnávání máme výborná historická data F. Ullika [2], který publikoval každodenní roční měření základních parametrů jakosti vody v Děčíně v roce 1877, a F. Schulze [3], jenž zpracoval roční měření v měsíčních intervalech nad a pod Prahou v roce 1913. Jejich analytické metody jsou spolehlivé a data byla pouze přepočítána na dnešní standard vyjadřování výsledků. V šedesátých letech minulého století začal postupně fungovat pravidelný měsíční monitoring jakosti vody v českých (československých) řekách, jehož výsledky jsou ukládány v ČHMÚ. Byly publikovány nejdříve v tištěných ročenkách, později až do roku 2009 byly veřejně přístupné na stránkách ČHMÚ, blíže je to popsáno v [4]. K roku 2010 vydala Mezinárodní komise pro ochranu Labe též poslední „Tabulky hodnot“ [5] od profilů Němčice a Zelčín až do moře, data z německých profilů jsou ale i dnes volně k použití na internetu. Novější data jsou přístupná jen na žádost a po dohodě s jejich pořizovateli – státními podniky Povodí Labe a Povodí Vltavy, kterým si zde dovoluujeme znovu poděkovat za jejich poskytnutí. V oblasti základních ukazatelů jakosti vody máme nyní tedy k dispozici měsíční data (koncentrace, průtoky atd.) za 50 a více let a můžeme i zpětně konstatovat, že jsou to data solidní, kontrolovaná evropskými analytickými normami a systémy řízení jakosti. Pro výpočet transportu jsme použili publikované denní průtoky ke dni odběrů vzorků – pro každý rok tedy máme 12 „situací“, na jejichž základě můžeme počítat roční transport a příspěvky z jednotlivých dílčích povodí. Analytické metody za celé období jsou srovnatelné. Kromě postupné modernizace – zavádění instrumentálních laboratorních metod – je nutno zmínit metodickou změnu pro stanovení amoniakálního a dusičnanového dusíku, fosforu (celkového a P-PO₄) a chlorofylu, datovanou cca k roku 1999. Jednalo se o zavedení selektivnějších metod a také o unifikaci pro celou ČR, zásadní zejména pro fosfor a chlorofyl. Podstatné je, že se změna neprojevila v časových řadách koncentrací dusíku a hodnoty koncentrací celkového a fosfátového fosforu a chlorofylu jsou od té doby zcela spolehlivé. V *tab. 1* jsou uvedeny tři základní měrné profily, reprezentující již uvedené tři říční úseky či povodí. Profily Obříství a Zelčín byly zavedeny v roce 1993 místo dříve užívaných profilů Na Štěpáně a Vepřek – šlo jen o mírný posun po proudu a časové řady byly bez problémů navázány.

Změny jakosti vody a faktory, které je kontrolují ve Vltavě nad Slapskou nádrží, byly důkladně zpracovány týmy L. Procházkové a J. Kopáčka [6–8]. My jsme se již pokusili zpracovat data z dolního úseku po soutok (kromě přehradních nádrží), významně ovlivněného Prahou, a zobecnit vývoj jakosti ve velkých řekách ČR [4, 9,10]. Nyní poprvé uvádíme přehledy celého časového vývoje do roku 2020.

Pro srovnání transportu a „zdrojů“ jsme pro základní ukazatele jakosti vody využili data o vypouštění z bodových zdrojů – ČOV. Jejich databázi je více, zde jsme použili veřejně přístupná data z Informačního systému veřejné právy (ISVS) za rok 2022 pro komunální ČOV vykazující více než 1 000

připojených obyvatel. Sumárně to představuje cca 75 % počtu obyvatel vypočtených podle registrů obyvatelstva (uvedených v *tab. 1*), nebo přes 90 % obyvatel připojených na veřejnou kanalizaci a ČOV.

Tab. 1. Měrné profily a jejich povodí

Tab. 1. Monitored profiles and their basins

Úsek	Profil	Kod	Kod ČHMÚ	Řkm	Počet obyvatel	Plocha [km ²]
(1) Vltava nad soutokem	Zelčín	ZEL	PVL_1005	4,50	3 550 347	28 043
(2) Labe nad soutokem	Obříství	OBR	PLA_1044	842,05	1 662 554	13 714
(2) Labe pod soutokem („celé“)	Hřensko	HRE	PLA_246	726,59	1 155 616	9 595
Celkem	Hřensko	HRE	PLA_246	726,59	6 368 517	51 352

Vltava se jako řeka od Labe výrazně liší, a to nejen tím, že má nad soutokem dvojnásobnou plochu povodí při stejném průměrném průtoku. Labe pramení ve vyšších horách, teče rovinatou krajinou a jsou na něm sice četné jezy, ale žádná větší přehradní nádrž. Od soutoku tak pokračuje až k moři, přes krátkou soutěsku mezi Děčínem a Pirnou. Vltava od oblasti hráze Lipenské přehrady protéká zaříznutým údolím (otevřeným v Budějovické pánvi a lehce kolem Prahy) a je na ní vybudována řada významných vodních děl – hlubokých, s dlouhou průměrnou dobou zdržení a pravděpodobně také s významnější sedimentací. Za sucha je dolní tok Vltavy dotován vypouštěním z nádrže Orlík, což ovlivňuje průtokový režim až v Hřensku, resp. v měrném profilu Děčín.

VÝSLEDKY

3.1 Vývoj jakosti vody v hraničním profilu Hřensko

Vývoj základních charakteristik jakosti vody v profilu Hřensko do značné míry odpovídá celkovému vývoji poměrů v České kotlině – jak vývoji znečištění z bodových zdrojů (komunálních i průmyslových), tak vývoji zemědělství a hospodaření v krajině, tedy přísunu znečištění z nebodových zdrojů. Přísun z bodových zdrojů lze kvantifikovat na základě údajů producentů znečištění, i když s jistou mírou nejistoty, ale pro nebodové zdroje je souhrn nejistot již velmi vysoký, zejména pro dolní toky velkých řek. Nebodové zdroje navíc „pracují“ podle aktuálního počasí (srážky, sucho atd.), u bilancování bodových zdrojů ovšem zatím nezvládáme problém odlehčení kanalizačních systémů.

Typickým příkladem historického vývoje jakosti vody je měsíční běh hodnot BSK₅ a CHSK-Cr v profilu Hřensko v letech 1961–2020, zpracovaný na *obr. 1* (CHSK bylo stanoveno až od roku 1971). Je zjevné, jak zatížení vodního toku organickým uhlíkem postupně klesalo – se zlomem kolem roku 1995 –, a dnes je celkem stálé. Na grafu je patrné sezonní kolísání a při bližší analýze (*obr. 2*) se ukazuje, že sezonní průběh BSK₅ v posledních letech významně koreluje s koncentrací chlorofylu-a neboli je kontrolován aktuální produkcí fytoplanktonu. Ještě významnější je tato korelace ve Vltavě v profilu Zelčín a nižší v profilu Obříství. Na *obr. 2* jsou zpracovány korelace za poslední desetileté období 2011–

2020 ($n = 120$), zahrnující výrazně rozdílné roky. Ve všech profilech je koncentrace fosforu (P_{celk}) celý rok v nadbytku, takže rozdílná produkce fytoplanktonu je (kromě sezonního cyklu) zřejmě určována rozdílnou morfologií vodního toku.

Obr. 1. Průběh hodnot BSK₅ a CHSK-CR [mg/l O₂] v profilu Hřensko v období 1961–2020

Fig. 1. Time course of BOD- and COD values 1961–2020

Obr. 2. Korelace BSK₅ [mg/l O₂] a chlorofylu-a [µg/l] v profilech Hřensko, Zelčín a Obříství v období 2011–2020

Fig. 2. Correlations of BOD-5 values and chlorophyll-a concentrations 2011–2020

Významné změny vykazují koncentrace amoniakálního ($N-NH_4$) a dusičnanového dusíku ($N-NO_3$ stanoven až od roku 1967). Amoniakální dusík v období 1990–1995 prakticky zmizel a v měrných profilech se dnes měřitelné koncentrace vyskytují jen sporadicky, hlavně v zimním období. Srovnání s profilem Podolí (Vltava nad Prahou) ukazuje, že v profilech Obříství, Hřensko a zčásti i Zelčín pocházel $N-NH_4$ z bodových zdrojů, zejména na Labi nejen komunálních. Teoretická spotřeba kyslíku na jeho nitrifikaci byla srovnatelná s tehdejšími hodnotami BSK₅. V současnosti je dusík v řekách přítomen téměř výhradně jako dusičnan. ČOV jej už většinou jako dusičnan vypouštějí a z bilancí vypouštění odpadních vod vyplývá, že podstatným zdrojem dusičnanu je dnes „krajina“, tedy přísun z nebodových zdrojů. To je ovšem obecný problém, protože dusičnan je stabilní a může z vodních toků zmizet jedině jako výsledek denitrifikace neboli bakteriální redukce na atmosférický dusík (s jistým podílem skleníkového plynu oxidu dusného). Při dnešním minimálním vypouštění organického uhlíku (obr. 1) jsou kyslíkové poměry ve velkých vodních tocích stabilní a dusičnan odchází do oceánu, kde pozitivně ovlivňuje primární produkci a přispívá ke globální klimatické změně. Koncentrace dusičnanů i jejich transport řekami nyní vykazují významné sezonní změny (obecně s maximy v lednu/únoru) odpovídající odnosu z krajiny, spojenému s režimem srážek a průtoků a s biologickými procesy, závislými na cyklu teplot. To by samozřejmě nemělo ubírat ČOV povinnost zbavovat odpadní vody dusíku, ale doby masivních koncentrací $N-NH_4$ jsou za námi. Fosfor se – na rozdíl od dusíku, který lze „vrátit do atmosféry“ – po vstupu do řeky už neztratí a je transportován do oceánu. A ve vegetační sezoně podporuje stálý nadbytek fosforu primární produkci fytoplanktonu, především v nádržích a v dolních tocích řek.

Obr. 3. Průběh koncentrací amoniakálního (NH_4-N) a nitrátového (NO_3-N) dusíku [mg/l] v profilu Hřensko v období 1961–2020

Fig. 3. Time course of ammonia and nitrate nitrogen concentrations 1961–2020

Koncentrace chloridu v Labi jsou v posledních letech poměrně stabilní, ale koncentrace síranu stále postupně klesají ve shodě s odezníváním periody kyselých srážek, dokumentovaným pro horní Vltavu Kopáčkem a kol. [8], včetně poklesu hnojení v povodí horní Vltavy po roce 1990. Situace v německém

Labi je dnes obdobná – publikované koncentrace v profilu Magdeburk jsou srovnatelné s profilem Hřensko, resp. Schmilka, koncentrace chloridu a síranu jsou tu ovšem ovlivněny relativně mineralizovanou Sálou.

Obr. 4. Průběh koncentrací chloridu a síranu [mg/l] v profilu Hřensko v období 1961–2020

Fig. 4. Time course of chloride and sulphate concentrations 1961–2020

3.2 Podíl přísunu z horního Labe a Vltavy

Pro srovnání přísunu je nutno přepočítat koncentrace a průtoky na transport, kvantifikovatelný v jednotkách [g/s], resp. [t/rok]. Výpočet hodnoty koncentrace násobené denním průtokem dává 12 „situací“ v roce v pravidelných intervalech, lze s nimi tedy pracovat a vypočítat roční úhrn transportu. Je ovšem nutno zdůraznit, že podstatná část vypočítaného kolísání transportu jde na vrub kolísání průtoku. Na *obr. 5* jsou zpracovány roční transporty v tunách/rok v období 2011–2020. K datům z měrných profilů je přidán součet transportu na soutoku Labe s Vltavou. Vzhledem k velikosti toku už mezi soutokem a profilem Hřensko není žádný relativně velký zdroj znečištění (podle poměru objemu vypouštěných odpadních vod k průtoku v řece), a proto jsou na rozdíl této sumy patrné výsledky biologických procesů na trati soutok – Hřensko: postupná nitrifikace amoniakálního dusíku na dusičnan a pokles zbytkového BSK s ročním cyklem odpovídajícím produkci fytoplanktonu. Na časových změnách je patrný také vliv povodně v roce 2013, která významně zvýšila transport – s výjimkou profilu Obříství, neboť jeho povodí nezasáhla. Pro většinu sledovaných konzervativních ukazatelů je na soutoku přísun Vltavou obecně mírně vyšší než Labem, ale jednoduché srovnávání je problematické, protože Vltava má v letním období pravidelně vyšší průtoky díky dotaci z Orlíka. Stejně jako na *obr. 1, 3 a 4* je i v posledním desetiletém období patrný pokles zatížení celkovým fosforem a síranem; přísun chloridu je celkem konstantní.

Obr. 5. Látkový transport [t/rok] profily Hřensko, Obříství a Zelčín v letech 2011–2020; graf OBR+ZEL představuje součet vstupů na soutoku Vltavy s Labem

Fig. 5. Transport [tons/yr] through profiles Hřensko, Obříství and Zelčín 2011–2020; OBR+ZEL means the sum of entries at the Vltava/Elbe confluence

3.3 Civilizační problém – farmaka

V předešlých dvou kapitolách jsme předvedli, že se znečištění v českém povodí Labe dostává do stacionární fáze a zůstává jen trvalý a stále řešený problém dusičnanu a fosforu, resp. eutrofizace. To ovšem platí pouze pro „klasické ukazatele“ a s pokrokem a komfortem přicházejí nové polutanty všeho druhu. Některé jsou opravdu „nové“, některé „staré“ poznáváme díky novým metodám analýz a také obecnému zájmu o kvalitu životního prostředí. Jedna důležitá skupina jsou pesticidy používané v zemědělství, druhá jsou tzv. PPCP neboli „farmaka a prostředky osobní péče“, tj. např. doplňky stravy, kosmetika atd. Pesticidy přicházejí z nebudových zdrojů, farmaka a PPCP se do vodních ekosystémů

dostávají výhradně po použití, přes kanalizaci a komunální ČOV, tedy z bodových zdrojů. Jsou to organické látky, jež lze stanovit jako chemická individua nebo úzké skupiny, a vztahují se na ně různé normy na ochranu životního prostředí, včetně povinnosti stanovit jejich toxicitu v životním prostředí. Zejména u farmak je však problém v tom, že se různé typy toxicity projevují až u významně vyšších koncentrací, než se vyskytují v přírodě, resp. v řekách. Tyto „zbytkové“ koncentrace nepůsobí toxicky, nýbrž jako biologicky aktivní látky, které ovlivňují obecně chování akvatických společenstev (jejich rozmnožovací cykly, úniky před predátory apod.). Navíc působí společně a kumulativně a představují také významné riziko pro užívání vody. Farmaka nelze zakazovat a jejich spotřeba ve světě obecně roste. Podle veřejných přehledů (SÚKL) dnes průměrný obyvatel ČR (a Evropy) spotřebuje zhruba 650 DDD („definovaných denních dávek“) farmak ročně, přičemž přehledy nezahrnují dermatologická použití typická např. pro relativně toxický diklofenak. Před 15 lety to bylo jen cca 500 DDD [4], ačkoli se asi změnilo i výkaznictví. Pro nejužívanější farmaka je transport (2017–2020, n = 48) Vltavou přes Prahu a do Hřenska zpracován na *obr. 6*, převzatém z publikace [11]. Důležitá je *tab. 2*, kde jsou uvedeny teoretické spotřeby v povodí měrných profilů, propočtené podle celkové spotřeby v ČR a počtu obyvatel v dílčích povodích. Sezonní změny transportu lze prokázat jen u některých případech (léčiva pro záněty horních cest dýchacích). Rozsah tohoto příspěvku nedovoluje analyzovat farmakologické studie o úrovni vylučování sledovaných farmak přímo jejich uživateli. Z dat transportu bylo proto pouze propočítáno procento spotřeby farmak, jež odchází do řek. Maximální je pro Allopurinol/Oxypurinol a pak následují „psychofarmaka“ Karbamazepin, Gabapentin, Tramadol a antibiotikum Trimethoprim. Z *obr. 6* je patrné, že rezistentní farmaka přicházejí už do Prahy – jako zásadního zdroje z povodí Vltavy – i přes nádrže Orlik a Slapy s celkovou průměrnou dobou zdržení přes 100 dní. Graf i tabulka platí pro „mateřské látky“, nikoli pro metabolity farmak, ať už vylučované přímo pacientem, nebo transformované v ČOV, případně až ve vodním toku. Některé metabolity jsou známy a stanovují se (např. metabolity ibuprofenu), ve většině případů jsou však analýzy z různých důvodů vzácné.

Další analýzu lze provést s použitím dat WHO o exkreci použitých farmak, nejistota spekulací při tom ovšem narůstá. Pro Metformin a Gabapentin se např. udává stoprocentní exkrece původní látky, stejně jako pro Allopurinol exkrece aktivního metabolitu Oxypurinolu. Zásadní problém je ovšem v tom, že efektivní technologické procesy pro odstraňování „veškerých“ farmak v ČOV zatím nejsou k dispozici a již zaváděné dočišťování pitné vody vyráběné z povrchových vod sice chrání uživatele, avšak nejde tu o podstatu problému. Opět musíme spoléhat na novou směrnici 2024/3019 [12], která chce problém postupně řešit. O dalším osudu farmak na trati od Hřenska k moři můžeme pouze spekulovat na základě omezených dat ze serverů FGG Elbe [18]. V současné době jsou pro srovnání k dispozici jen data za rok 2023. Koncentrace obecně odpovídají datům z ČR, rozdíl je ale v tom, že na 315 km dlouhé trati Schmilka (hraniční) – Magdeburk nejsou přímo položeny relativně velké zdroje (produkce ČOV proti průtoku v řece). Koncentrace Metforminu na trati klesají, koncentrace Karbamazepinu naopak stoupají. Spotřeba farmak a úroveň ČOV jsou jistě srovnatelné.

Tab. 2. <i>Transport a spotřeba farmak v povodí</i>

Tab. 2. *Transport and consumption of pharmaceuticals in the whole basin*

DISKUZE

V předešlé kapitole jsme na výsledcích předvedli, že znečištění dolního toku českého Labe a Vltavy se stále snižuje, nicméně zůstává problém eutrofizace a přicházejí nové polutanty. To předpokládá další vývoj v oblasti sledování jakosti vody – jak v analýzách, tak v hodnocení jejich výsledků. Kromě hledání a sledování dalších polutantů je zásadní i snižování citlivosti metod stanovení „klasických“ polutantů, protože ty nezmizely, jen se jejich koncentrace posunuly pod meze citlivosti současných metod. Kromě farmak, kde je to zásadní, to však platí např. i pro rtuť nebo amonný dusík. Analýzu těchto problémů a obecné návody, jak je řešit (včetně způsobů stanovení limitů), podává např. evropská norma ČSN ISO EN 5667-20 [13], dále ovšem zůstává problém celkového hodnocení, popsany v úvodu článku.

Zdroje znečištění jsou dvojího typu a významně se liší jak povahou produkovaných látek, tak svými vlastnostmi. Nebodové zdroje jsou zásadně závislé na ročním cyklu (včetně cyklu zemědělských činností) a na srážkách. Bodové zdroje sice představují stálý (nebo předvídatelný) přísun z hlediska obsahu látek i jejich „produkce“, ovšem vypouštějí standardně vyčištěnou odpadní vodu do proměnlivých řek/recipientů. Osud znečištění už ve vodních tocích dále závisí na transformačních pochodech *in situ*, závislých na teplotě a také na průtoku (ředění a podélný transport). Cyklus teplot zásadně ovlivňuje transformace dusíku (nitrifikaci, případně denitrifikaci a úniky do atmosféry), organického uhlíku (BSK 5 a CHSK) a produkci fytoplanktonu (koncentrace chlorofylu-a), protože fosfor jako základní složka eutrofizace je ve velkých řekách obecně v nadbytku. Naopak konzervativní složky jako chlorid a síran se již ve vodním toku nemění. Pokud počítáme transport (koncentrace $\times$ průtok), obecně platí, že koncentrace jsou poměrně konzervativní složka a významnější složkou rozdílů je kolísání průtoků. Co platí pro vývoj koncentrací „standardních ukazatelů“ jakosti vody: koncentrace amoniakálního dusíku se po maximu kolem roku 1985 snížily na úroveň reportovanou v Labi Ullikem v roce 1887, i „pod Prahou“ v roce 1913 [2, 3], ale nyní máme stálé koncentrace kolem 4 mg/l dusičnanového dusíku, který byl v jejich době celkem neznámý anion. V současnosti tedy musíme vzít na vědomí „dusíkový paradox“ [14], jenž v podstatě praví, že čím čistší (velká) řeka, tím vyšší má koncentrace dusičnanového dusíku. Vzhledem k podílu přísunu z nebodových zdrojů je možnost snížení vzdálená. Na rozdíl od fosforu ve vnitrozemských vodách je pro moře problémem dusík a riziko eutrofizace oceánu se v příbřežních mořích již aktuálně projevuje [15]. Rovněž dnes máme významně vyšší koncentrace chloridu a síranu a také fosforu, i když problém eutrofizace celé říční sítě je „starý“ teprve 50 let.

Fosfor – na rozdíl od uhlíku a dusíku – nemůže opustit řeku a vrátit se do atmosféry a je postupně transportován po proudu k moři. Můžeme tedy srovnávat jeho transport s bilancí přísunů do povodí. K dispozici máme několik „výkazů“ ročních výkonů komunálních ČOV, nejkompletnější a nejpřístupnější je Informační systém veřejné správy (ISVS). Roční sumy vypouštění fosforu z ČOV v letech 2018, 2020 a 2022 (podle ISVS 2022) v povodí profilu Hřensko se pohybovaly v rozmezí 450–540 tun/rok. Transport profilem Hřensko vykazoval podstatně vyšší variabilitu (díky rozdílům v průtocích), a to 580–1 070 tun/rok. Účinnost odstraňování fosforu v ČOV byla cca 87 %, což je mj. účinnost, kterou nová směrnice UWWTD [12] požaduje „až“ v roce 2039. Celkově tedy vychází podíl transportu fosforu profilem Hřensko v jednotlivých letech na 50–77 % jeho vypouštění vykázaného komunálními ČOV v povodí. Do výpočtu byly zahrnuty jen ČOV s více než 1 000 připojenými obyvateli. Z hlediska celkové bilance fosforu je však údaj o vypouštění z ČOV významně podhodnocen, jelikož nepočítá s odlehčením kanalizací. Pokud bychom uvažovali, že odlehčením se během roku do recipientů dostane jenom 10 % nečištěných odpadních vod, představuje při současné účinnosti odstraňování fosforu 85 % už suma zatížení z ČOV a kanalizací dalších více než 50 % vykázaného vypouštění. Odlehčení je dnes předmětem intenzivního zkoumání, a tak zde uvedené spekulace jistě budeme brzy schopni upřesnit. Data o vypouštění ovšem máme pouze pro fosfor celkový, nikoli fosfátový, který významně koreluje s koncentrací chlorofylu-a, tedy měřítkem biomasy fytoplanktonu. Debata o tom, jak nízké koncentrace fosforu musíme dosáhnout a udržet, se vede a bude se ještě vést dlouho. Avšak z bilance se zdá, že nežádoucí produkci fytoplanktonu lze opravdu limitovat významným snížením vypouštění fosforu z komunálních zdrojů, ovšem nejen technologiemi odstraňování v ČOV, nýbrž i zlepšením funkce kanalizací. To je ve shodě s postupně uplatňovanými požadavky danými novou Evropskou směrnicí pro čištění komunálních odpadních vod (2024/3019 EU).

Jak již bylo zmíněno, zatím nejsou k dispozici technicky přijatelné postupy pro systematické odstraňování farmak (a dalších PPCP) v komunálních ČOV. Farmaka jsou soubor velmi rozdílných organických látek, jež pro mikrobiální společenstva v ČOV nepředstavují vedle nespecifického znečištění nějaký zásadní substrát (zdroj uhlíku), a proto ani signál k selekci specifických metabolických drah. Jejich degradace tedy probíhá spíše jako kometabolismus se standardním obsahem splašků na bázi nepříliš specifických bakteriálních oxidáz, navíc jen postupný a na ne vždy známé produkty/metabolity. Pokrok tedy bude pomalý a musí začít podporou systematického monitoringu farmak v ČOV i vodních tocích.

ZÁVĚR

Zpracovali jsme archivní data o jakosti vody v českém dolním Labi a Vltavě – profilu Hřensko a profilech Obříství a Zelčín na soutoku Labe a Vltavy.

Jakost vody v dolním toku českého Labe se významně zlepšila a od období 1995–2020 je stabilní.

Amoniakální dusík po maximu v osmdesátých letech minulého století téměř zmizel, avšak nahradily jej stálé a vysoké koncentrace dusíku dusičnanového, který odchází do oceánu. Bilance transportu dusíku řekami je komplikována vazbou na výměnu s atmosférou (denitrifikace s produkcí oxidu dusného). Podstatná část dusičnanového dusíku v současnosti pochází z nebudových zdrojů.

Fosfor (stanovený jako P_{celk}) je v řekách stále v nadbytku a jeho zásadním zdrojem jsou komunální ČOV – sumy vypouštění celkového fosforu v povodí odpovídají >> 50% transportu měrnými profily. Eutrofizace je stále obecně vysoká a vysoká primární produkce fytoplanktonu v nádržích a dolních tocích řek je monitorována spíše jen sezonním cyklem a hydromorfologií vodních toků. Na rozdíl od minulých časů je dnes roční cyklus hodnot BSK₅ ve sledovaných profilech významně kontrolován produkcí fytoplanktonu. Objevily se také nové polutanty typu pesticidů a farmak. Přísun farmak je celoroční a naděje na jejich stoprocentní odstranění v ČOV jsou zatím malé.

Je nutno počítat s ovlivněním vodních toků klimatickou změnou. Ta obecně vede ke vzrůstu maximálních letních teplot vody (následkem jsou vyšší respirační aktivity a nižší rozpustnost kyslíku), k dlouhým obdobím sucha (velmi nízkých průtoků) a intenzivním přívalovým srážkám (standardně aktivujícím odlehčení kanalizace). Současné předpisy kontrolující vypouštění odpadních vod s takovou situací zatím příliš nepočítají a požadavky na kontrolu odlehčení a zahrnutí „vlastností recipientu“, tj. podílu vypouštěných odpadních vod v průtoku v místě vypouštění (sledován pět let), se objevuje až v již zmiňované nové UWWTd [12]. V ČR je téměř 1 000 komunálních ČOV vykazujících (podle ISVS) přes 1 000 připojených obyvatel a nejméně 60 z nich vypouští za sucha přes 50 % průtoku v recipientu [16]. Pracovní databázi (výkony ČOV vs. průtoky v místě vypouštění) stále upřesňujeme. V české legislativě se od roku 2000 dokonce nepodařilo splnit ani literu paragrafu 36 Vodního zákona – o minimálním zůstatkovém průtoku a jeho stanovení. Na tento institut přitom navazují požadavky na „ekologický průtok“ obsažené i v UWWTd a dalších evropských dokumentech. Pokud je pokrok v oblasti degradace farmak pomalý z důvodu reálných technických problémů, může být pokrok v legislativě ještě pomalejší?

Poděkování

Zpracování textu bylo možné díky projektům Technologické agentury ČR, č. SS 02030018 „Centrum pro krajinu a diverzitu, WP C3 (DivLand)“ a č. SS02030008 „Centrum environmentálního výzkumu, WP 2A“ (CEVOOH). Možnost propočítat transport farmak, rámcově již publikovaný [14], je výsledkem spolupráce s kolegy ze státních podniků Povodí Vltavy a Povodí Labe.

Literatura

- [1] KOSMAS. *Kosmova kronika česká*. Praha: Svoboda, (1125, resp. 1974). 262 s.
- [2] ULLIK, F. Bericht über die Bestimmung der während eines Jahres im Profile von Tetschen sich ergebenden Quantitätsschwankungen der Bestandtheile des Elbewassers und der Mengen der von letzterem ausgeführten löslichen und unlöslichen Stoffe. *Pojednání Královské české společnosti nauk*. 1880, VI(10), s. 1–58.
- [3] SCHULZ, F. O čistotě a chemickém složení vod v Království českém. Díl I. Labe u Roudnice, Vltava u Prahy, Berounka u Radotína, Botič, Šárecký potok. *Zprávy ústavu ku podpoře průmyslu obchodní a živnostenské komory v Praze*. 1915, 31, s. 1–81.
- [4] FUKSA, J. K., SVOBODA, J., SVOBODOVÁ, A. Bolí vás něco? Kolik léčiv od nás přiteče do ČOV? *Vodní hospodářství*. 2010, 60(1), s. 16–19.
- [5] MKOL. *Mezinárodní komise pro ochranu Labe: Tabulky hodnot fyzikálních, chemických a biologických ukazatelů mezinárodního programu měření Labe 2010*. Magdeburg: MKOL/IKSE, 2011, s. 1–504.
- [6] PROCHÁZKOVÁ, L., BLAŽKA, P. Long-Term Trends of Water Chemistry of the Vltava River (Czechoslovakia). *Limnologica*. 1986, 17(2), s. 263–271.
- [7] PROCHÁZKOVÁ, L., BLAŽKA, P., KOPÁČEK, J. Impact of Diffuse Pollution on Water Quality of the Vltava River (Slapy Reservoir), Czech Republic. *Water Science and Technology*. 1996, 33 (4-5), s. 145–152. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00224-7](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00224-7)
- [8] KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., PORCAL, P., ZNACHOR, P. Biogeochemical Causes of Sixty-Year Trends and Seasonal Variation of River Water Properties in a Large European Basin. *Biogeochemistry*. 2021, 154(1), s. 91–98. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10533-021-00800-z>
- [9] FUKSA, J. K. Jakost vody v tocích ČR v roce 2013. *Vodní hospodářství*. 2016, 67(1), s. 4–8.
- [10] FUKSA, J. K., SMETANOVÁ, L. Vliv pražské aglomerace na jakost vody ve Vltavě. *Vodní hospodářství*. 2020, 70(11), s. 46–51.
- [11] FUKSA, J. K., KOŽELUH, M., FERENČÍK, M. Pharmaceuticals in the Elbe. Production and Transport in the Czech Part of the Elbe Basin. In: *Magdeburský seminář o ochraně vod 2023, Magdeburger Gewässerschutzseminar 2023*. 11.–12. 10. 2023. *Extrémní hydrologické jevy a jejich dopady v povodí Labe. Extreme hydrologisch Ereignisse und deren Folgen in Einzugsgebiet der Elbe. Sborník. Tagungsband*. Chomutov: Povodí Ohře, státní podnik, 2023, s. 87–90. ISBN 978-80-11-03292-0. Dostupné z: <https://www.ikse-mkol.org/cz/themen/magdebursky-seminar-o-ochrane-vod/mgs-2023>
- [12] ANON. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2024/3019 ze dne 24. listopadu 2024 o čištění městských odpadních vod. *Úřední věstník Evropské unie*, CS. 2024, řada L, 59 s.
- [13] ČSN ISO 5667-20: 2018 *Jakost vod – Odběr vzorků – Část 20: Návod pro použití údajů, získaných při odběru vzorků, k rozhodování – Shoda s limity a systémy klasifikace*.
- [14] STRAŠKRABOVÁ, V. Dusíkový paradox. *Vesmír*. 1995, 74(1), s. 11–12.
- [15] SEITZINGER, S. P., MAYORGA, E., BOUWMAN, A. F., KROEZE, C., BEUSEN, A. H. W., BILLEN, G., VAN DRECHT, G., DUMONT, E., FEKETE, B. M., GARNIER, J., HARRISON, J. A. Global River Nutrient Export: A Scenario Analysis of Past and Future Trends. *Global Biogeochemical Cycles*. 2010, 24(4), GB0A08. Dostupné z: <https://doi.org/10.1029/2009GB003587>
- [16] FUKSA, J. K. Sucho a vliv čistíren odpadních vod na řeky. *Vodní hospodářství*. 2020, 70(5), s. 4–7.

- [17] European Environment Agency. *Europe's State of Water 2024 – The Need for Improved Water Resilience*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024. 108 s. ISBN 978-92-9480-653-6.
- [18] River Basin Community Elbe. *Elbe-Datenportal* [en]. Dostupné z: <https://www.fgg-elbe.de/elbe-datenportal-en.html> (citováno 2025-05-27)

Autor

RNDr. Josef K. Fuksa, CSc.

josef.fuksa@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (Česká republika)

Příspěvek prošel recenzním řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2025.05.004

WATER QUALITY AND TRANSPORT OF POLLUTANTS IN DOWNSTREAM PART OF THE CZECH ELBE

JOSEF K. FUKSA

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague (Czech Republic)

Keywords: Elbe – Vltava – nitrogen – phosphorus – eutrophication – wastewater treatment plants – health – pharmaceuticals

Temporal changes of water quality in the period 1961–2020 were elaborated and compared with reference data from 1880–1913. Transport of nitrogen and phosphorus was compared with production of wastewater treatment plants. In general, quality of water of the Czech Elbe had significantly improved and the situation is stable from the 1995–2000 period.

Concentrations of chloride, sulphate and phosphorus increased substantially. Ammonia nitrogen fell to the 1900 level, but only after 1990. Nevertheless, rivers transport significant amounts of (formerly unknown) nitrate to the ocean, today. Substantial part of nitrate originates from non-point sources.

Phosphorus (determined as P_{total}) is still in excess in rivers and its basic source are communal wastewater treatment plants. High primary production in reservoirs and lowland rivers is controlled now more by seasonal cycle and hydromorphology of watercourses.

New pollutants, especially pesticides and pharmaceuticals, appeared. Load of pharmaceuticals is year-round and a hope for their full abatement by wastewater treatment plants is low as yet.

With progressing climatic change, following changes are to be expected: longer periods of higher water temperatures and of low flow values, and a change in precipitation regime leading to higher frequencies of sewerage system overflows. The legislation is not prepared to control it, and we should rely on the new EU directive 2024/3019(EU) implementation.

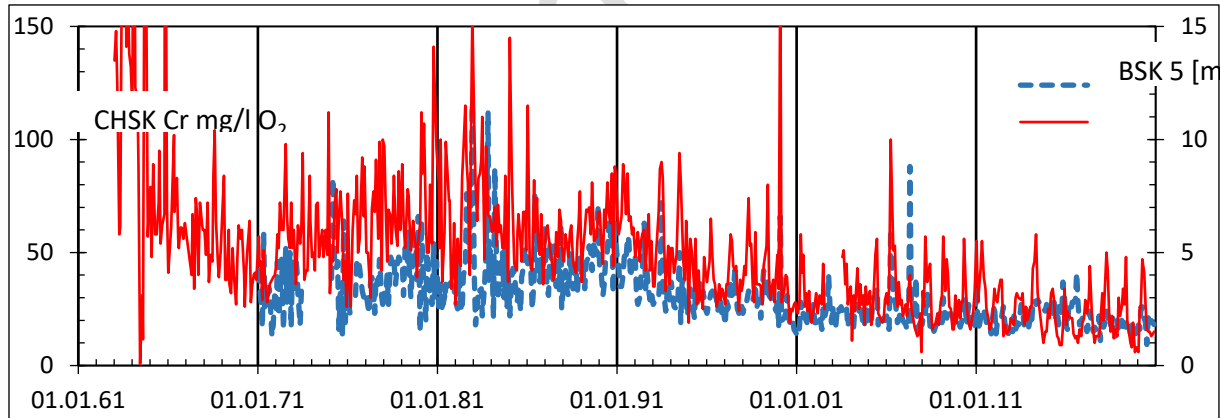
Accepted for print

Tabulky a obrázky:

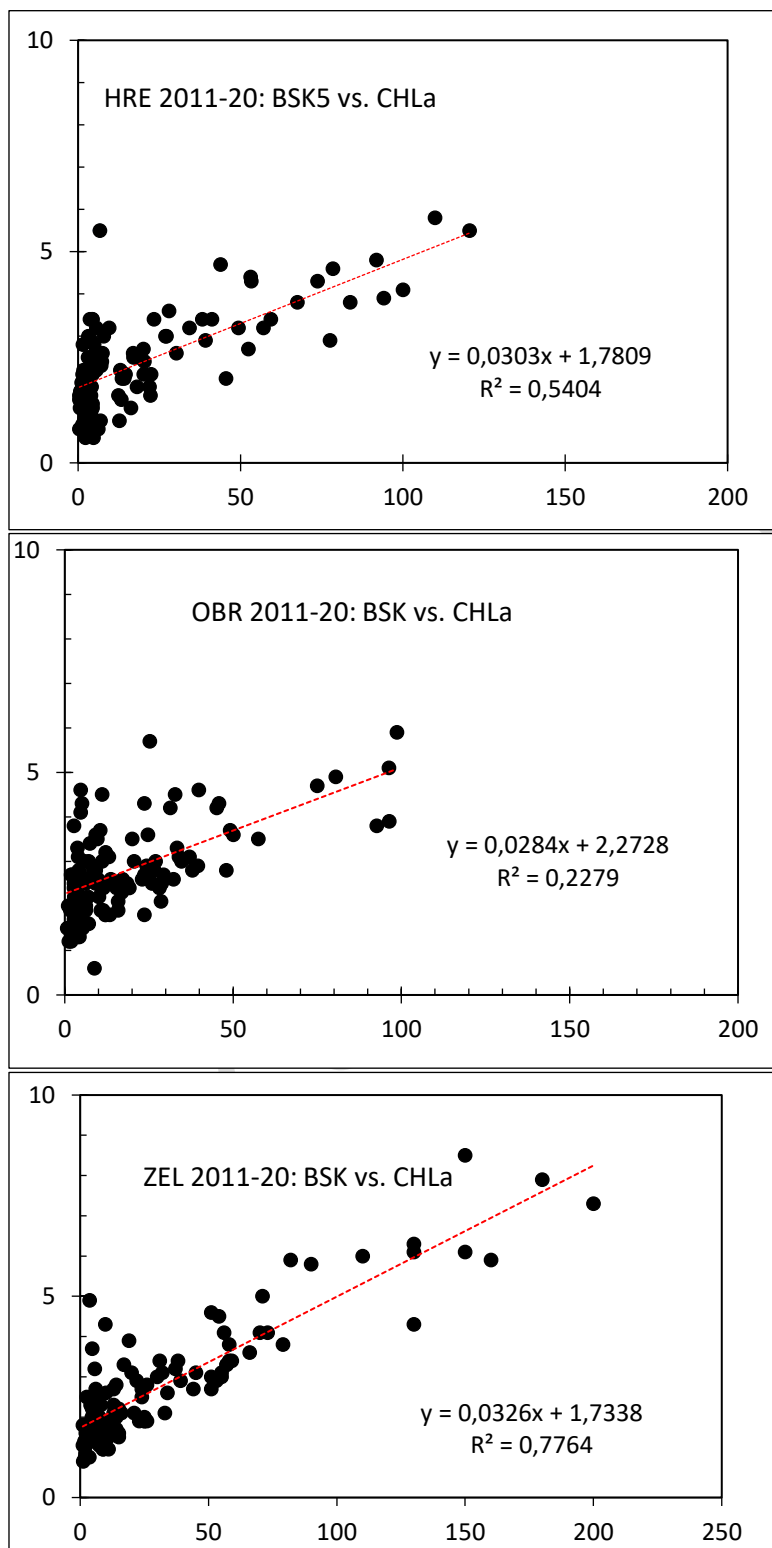
Tab. 2: Spotřeba nejfrekventovanějších farmak, přepočtená podle počtu obyvatel na povodí měrných profilů a podíl spotřeby transportovaný měrnými profily.

Farmakum	Spotřeba [kg/rok]:				TRANSPORT [kg/rok]:			Transport v % spotřeby:		
	CR total	POD	ZEL	HRE	POD	ZEL	HRE	POD	ZEL	HRE
METFORMIN	221 539	37 662	70 892	128 493	1 603	2 012	5 249	4,3	2,8	4,1
OXYPURINOL	19 956	3 393	6 386	11 574	1 527	3 044		45,0	47,7	
GABAPENTIN	14 159	2 407	4 531	8 212	490	958	1 939	20,4	21,1	23,6
IBUPROFEN	135 679	23 065	43 417	78 694	136	243	349	0,6	0,6	0,4
CARBAMAZEPIN	3 427	583	1 097	1 988	66	123	257	11,3	11,2	12,9
TRAMADOL	3 166	538	1 013	1 836	61	144	278	11,3	14,2	15,1
SULFAMETOXAZOL	5 597	951	1 791	3 246	48	124	278	5,0	6,9	8,6
METOPROLOL	11 496	1 954	3 679	6 668	38	147	266	1,9	4,0	4,0
PARACETAMOL	90 835	15 442	29 067	52 684	35	63	285	0,2	0,2	0,5
TRIMETHOPRIM	1 119	190	358	649	34	53	74	17,9	14,8	11,4
VENLAFAXIN	2 570	437	822	1 491	29	57		6,6	6,9	

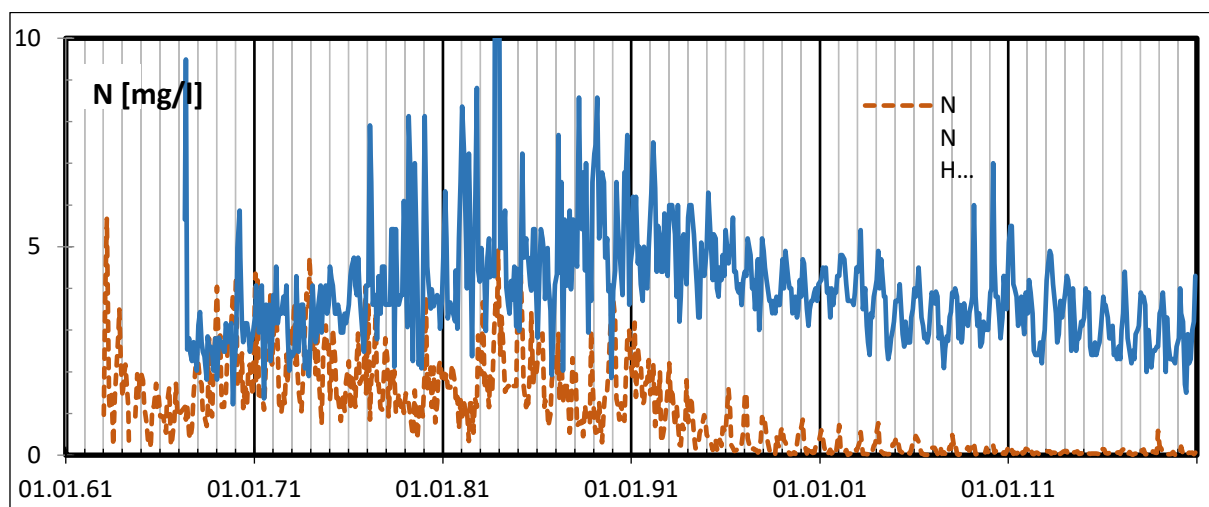
Obr. 1: Průběh měsíčních hodnot BSK 5 (pravá stupnice) a CHSK Cr v profilu Hřensko



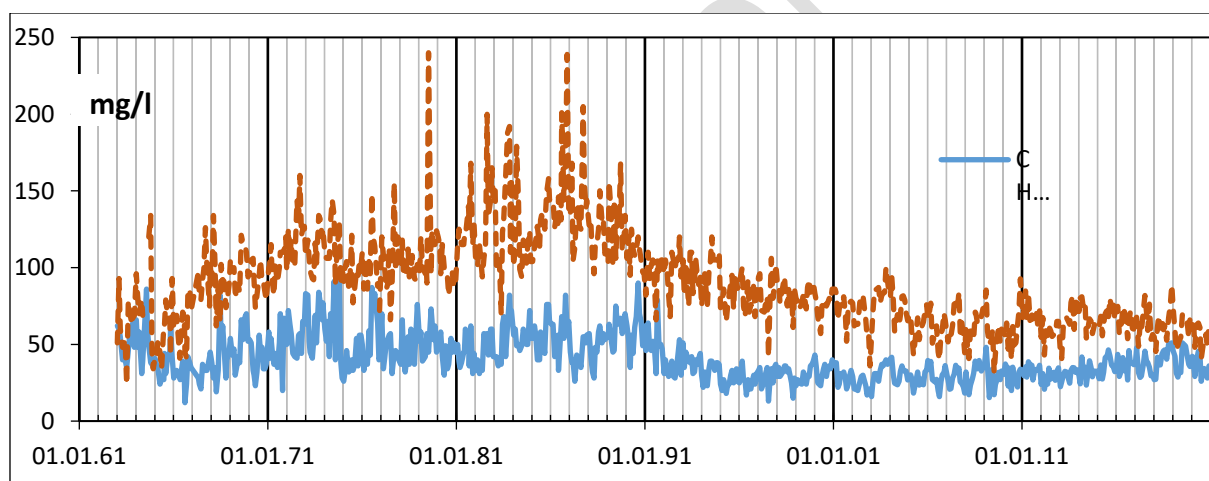
Obr 2: Korelace hodnot BSK5 [mg/l O₂] a koncentrace chlorofyl-a [μg/l] v sezonních cyklech 2011–2020. (Grafy by měly být vedle sebe.)



Obr. 3: Průběh koncentrací dusičnanového a amoniakálního dusíku v profilu Hřensko.



Obr. 4: Průběh koncentrací chloridu a síranu dusíku v profilu Hřensko.



Obr. 5: Transport povodím [t/rok].

