

PŘÍSPĚVEK K POZNÁNÍ EKOLOGIE DROBNÝCH TOKŮ ZNEČIŠTĚNÝCH DŮLNÍMI VODAMI OBSAHUJÍCÍ VYSOKÉ KONCENTRACE ŽELEZA A MANGANU.

**Contribution on knowledge of ecology of small creeks polluted by
mine waters with high contents of iron and manganese.**

Jan Helešic¹, Daniela Scheibová¹ a Josef Zeman²

¹*Laboratoř biologie tekoucích vod, Katedra zoologie a ekologie,*

²*Katedra mineralogie, petrologie a geochemie*

Masarykova univerzita v Brně, Kotlářská 2, 611 37 Brno.

E-mail: helesic@sci.muni.cz

Abstract: Small streams in the area of closing uranium mining in the Czech-Moravian Highlands (Czech Republic) were affected by mine waters with high contents of iron and manganese. These elements have a direct toxic or inhibit effect to the bottom biota. After decreasing of contents of metals in water (under 0.2 mg.l⁻¹ Fe and 0.05 mg.l⁻¹ Mn) there is main effect of change of bottom habitats. Bottom of stream is hard incrustated by iron and manganese hydroxides to the dept about 10 – 15 cm. Free surface layer is very thin – only about 1 – 2 cm.

Communities of bottom organisms react in firsts seasons on higher contents of metals and now predominantly on changes of habitats. Many species disappeared from affected stretches (about 150 – 250 m long), for example planarids, oligochaets, mayflies *Baetis*, *Ephemerella*, blackflies, midges etc. Some populations are very small with not normal distributions of age's steadies (*Gammarus fossarum*). On the other hand, permanent biota of these stretches was consisting mainly of insect's larvae stoneflies (*Nemouridae*) and caddisflies (*Hydropsychidae*). Stoneflies are probably good adapted on higher contents of iron and they have in this stretch good bid of CPOM. Larvae of net spinning caddisflies have good bid of drift of small specimens there, which have not possibility to use deeper and hyporheic zone of creek.

This situation is very good example of importance of bottom layers permeability and connectivity to hyporheic zone. Incrustation of bottom is very hard ecological disturbances, which totally change quality and structure of macroinvertebrate communities and the effect is very similar as in the case of concrete panel work of bottom.

Úvod

V oblasti útlumu těžby uranu na Českomoravské vrchovině se objevil nový problém týkající se znečištění vod a následného poškození biocenózy toků. Při odstávce důlního díla dojde k postupnému zatopení podzemních prostor a po dosažení určité výšky hladiny musí být tato voda řízeně odčerpávána. Voda obsahuje významné koncentrace radionuklidů a kovů. Na výtakovém objektu odstaveného důlního díla se vždy buduje dekontaminační stanice. Dekontaminace vody se provádí fyzikálně chemickými postupy (řízená osmóza) a těmito postupy jsou sníženy obsahy radionuklidů hluboko pod limitní koncentrace, dokonce i pod hodnoty koncentrací v okolních tocích. Zároveň se při tomto procesu úspěšně snižují obsahů těžkých kovů (Cd, Pb atd.), technologie ale zcela propouští rozpuštěné sloučeniny železa a manganu. Tyto se potom velmi rychle oxidují ve vodotečích za vzniku silného zákalu a inkrustací dna toků.

Problém se poprvé objevil v roce 1991 u důlního díla Pucov (nedaleko Velké Bíteše), kde došlo k významnému narušení přírodních rovnováh v chovném pstruhovém toku Jasinka (povodí Oslavy). V současné době se tato problematika

řeší na toku Hadůvka u obce Drahonín (povodí Loučky) a v budoucnosti se bude týkat toků Rožínka a Nedvědička v povodí Svatky v okrese Žďár nad Sázavou. Následují práce se týká toku Hadůvka v k.ú. obce Drahonín ovlivněného důlními vodami odstaveného důlního díla Olší ($Q_{\text{prům.}} = 0,019 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_1 = 2,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $Q_{100} = 16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Geologie, geochemie oblasti a hydrochemie toků

Sledovaný územní celek leží v oblasti krystalinika, které je zastoupeno kyselými horninami ze skupiny žul, ortorulami, pararulami a svory. Z mladších hornin se zde vyskytují svahoviny z převážně kyselého materiálu, případně nevápnité nivní uloženiny.

Pararuly vznikly přeměnou sedimentů. Jsou tvořeny z křemene, živce a slídy. Zvětráváním se na nich tvoří půdy převážně lehčí zrnitosti, s různě vysokým obsahem skeletu. Kyselé svahoviny obsahují podíl eolitického materiálu a uplatňují se u nich zvětraliny z okolích hornin, které se posouvají z vyšších míst do nižších.

Z doby před započítím těžby se dochovala zpráva o kvalitě vody v Hadůvce. Podle provedeného chemického rozboru (z období před zahájením prací na lokalitě - říjen 1958) se jednalo o vodu velmi měkkou, s převážným podílem tvrdosti přechodné a podružnou tvrdostí stálou. Voda měla poměrně vysoké množství volné kyseliny uhličitě a jevila se jako agresivní. Mangan byl zjištěn pouze v neměřitelných stopách a koncentrace rozpuštěných sloučenin železa ve vodě byla zanedbatelná. Voda byla označena jako velmi čistá. Jiná zpráva o hydrogeologickém průzkumu v roce 1957, archivovaná u o.z. GEAM, dokumentuje zvýšené obsahy uranu jak v toku Hadůvka, tak i v některých vývěrech podél toku.

Pro minerální složení neovlivněných dnových sedimentů Hadůvky (HAD 3) je charakteristický nízký obsah karbonátů a oxidů manganu (desetiny %). Obsah oxidů železa se dlouhodobě pohybuje kolem 3 - 4%, jílových minerálů kolem 6%.

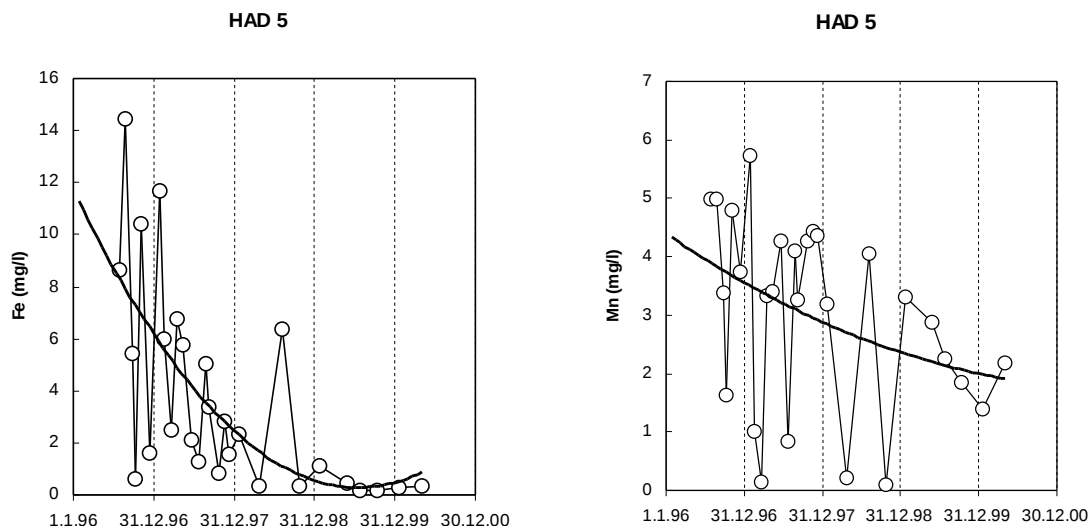
Vtok čištěné důlní vody z dekontaminační stanice se projeví prudkým nárůstem obsahů oxidů železa ve dnovém sedimentu až na hodnoty 20 - 30% na profilu HAD 4 (asi 70m pod vtokem), který je způsoben rychlou oxidací dvojmocného železa na trojmocné a jeho srážením. Od tohoto profilu obsah hydro-oxidů železa ve dnovém sedimentu rychle klesá. Přímý kontakt důlní vody s atmosférickým oxidem uhličitým způsobí také rychlé vypadávání karbonátů, jejich obsah opět vzrůstá až na hodnoty 20 - 30%, maxima je však obvykle dosaženo níže než u hydro-oxidů železa tj. na profilu HAD 5 (250m). Tím ztrácí ovlivněná voda Hadůvky značnou část svého minerálního obsahu již v prvních několika stovkách metrů.

Obsah jílových minerálů se obvykle pohybuje mezi 5 a 10%, jejich kolísání souvisí především se sezónními výkyvy srážek („propláchnutí“, dnových sedimentů srážkovou vodou způsobuje jejich snadný transport do nižších částí toku). Vysoký obsah manganu v důlních vodách způsobí také mírné zvýšení obsahu oxidů manganu, vzhledem k pomalejší oxidaci Mn^{II} na Mn^{IV} je maxima dosahováno až ve střední části Hadůvky (obvykle mezi profily HAD 5 a HAD 7 – 250-500m).

Zvýšené obsahy železa a manganu způsobují v současné době po 4 letech vypouštění důlních vod především inkrustaci dnových sedimentů vyloučenými oxidačními produkty tj. především minerály goethitem a pyrolusitem. Sraženiny jsou v hloubce 2 cm pod povrchem dna a dosahují mocnosti až 0,5 m dnového sedimentu. V oblasti, kde dochází ke zvýšené oxidaci manganu je silně inkrustována i povrchová vrstva. Tato situace se nyní nachází v useku toku dlouhém asi 600 m. Je

zde zcela znemožněna komunikace z hlubšími vrstvami dna a hyporealem. Jen na několika místech jsou patrné vývěry podzemních vod přímo do toku.

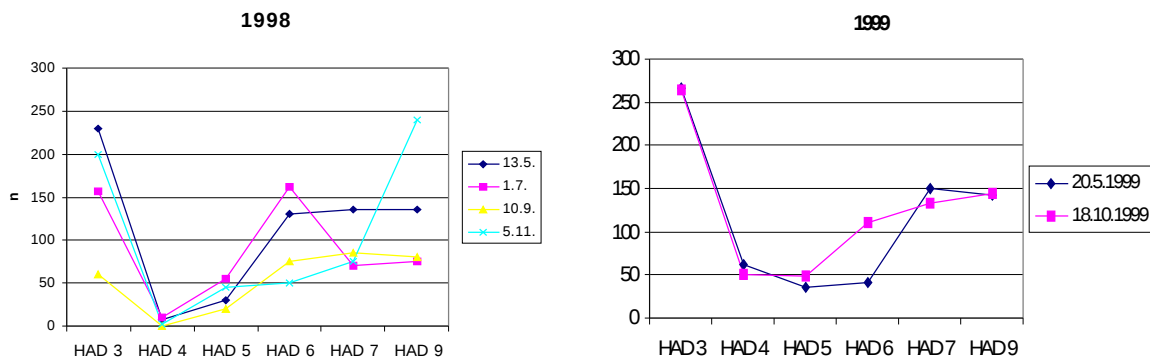
Vlastní obsahy železa a manganu v rozpuštěné formě se postupně snižují i vzhledem ke změnám technologie dekontaminace. V roce 1996 byly vysoce nad toxickými limity, které se podle různých zdrojů pohybují v rozmezí $0,2 - 2 \text{ mg.l}^{-1}$. V současné době jsou již obsahy podlimitní.



Graf. 1 Trendy v koncentracích železa a manganu na profilu 250m pod výtokem důlních vod

Odezva bioty

Oživení toku reagovalo v počátku vypouštění důlních vod především na vysoké obsahy železa a manganu. Typickou reakcí bylo vymizení všech řasových nárostů a makrofyt ze zasaženého úseku. Dle stavu a rychlosti rozkladu hrubé organické hmoty (listů aj.) byla silně inhibována i bakteriální kultury. V toku se



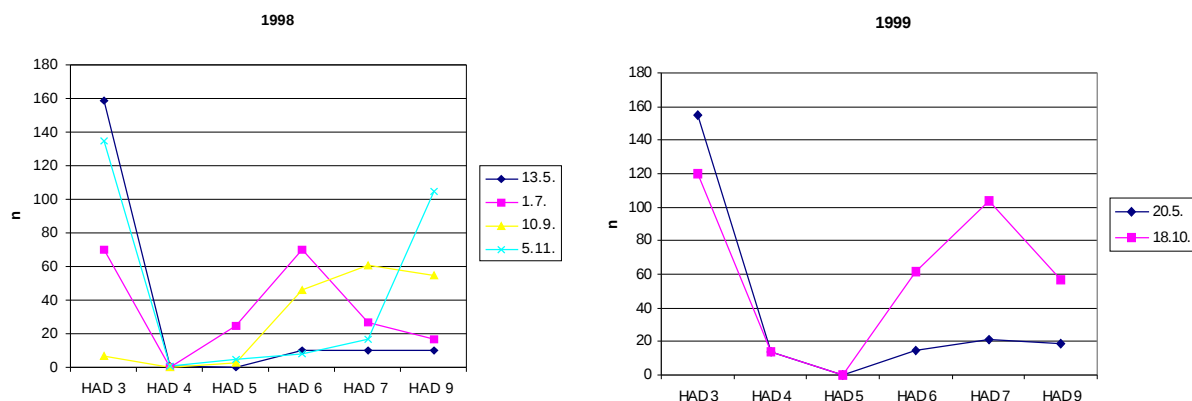
Graf. 2. Celková abundance makrozoobentosu na profilech v roce 1998 a 1999.

nacházely kousky organického materiálu pokrytého silnou vrstvou rezavých kalů po velmi dlouhou dobu, které byly prakticky jen mechanicky drceny a splavovány do nižších partií toku.

Profil 70 m pod vyústěním důlních vod byl i velmi chudý na makrozoobentos. Z grafů (Graf. 2) vyplývá, že na pozadovém profilu bylo společenstvo složeno z více jak 50 druhů o početnosti od 60 do 250 ks na vzorkovací jednotku. V prvním profilu pod důlními vodami se pak vyskytovalo jen max. 5 druhů v početnosti od 0 do 10 ks.

V dalších letech docházelo k postupnému zlepšování situace především v přímém působení železa a manganu. Ke konci roku 1999 a letos (2000) již jednoznačně převažuje vliv změny biotopu dna. Koncentrace rozpuštěných sloučenin železa a manganu jsou již trvale nízké viz. graf 1. Reakce bioty je tedy na inkrustaci a neprostupnost dna.

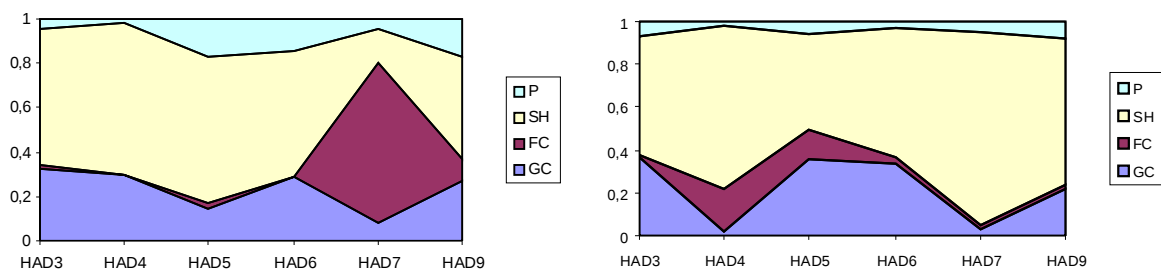
Jako indikátorový organismus jsme si zvolili v tomto případě blešivce potočního (*Gammarus fossarum*). Z jednoduché analýzy populace vyplynulo, že tento druh velmi dobře reagoval na změny v toku v ukazateli celková početnost (Graf



Graf 3. Celková abundance populace *Gammarus fossarum*.

3), a v ukazateli velikostní (věková) struktura populace.

Další významná změna byla zjištěna v poměrném zastoupení potravních specialistů (trophic guilds).



Graf 4. Potravní skupiny zoobentosu – jaro 1999 a podzim 1999. (P – predátoři, SH – kouskovači, FC – filtrující sběrači, GC – obecní sběrači)

Na jaře 1999 byl patrný přímý vliv sraženin železa a manganu na skupinu filtrátorů, kteří se vyskytovali jen na profilech bez sraženin na dně. Na podzim 1999 došlo k vypláchnutí koryta a tak se populace filtrátorů přesunula na vyšší profily. Tato skupina byla reprezentována chrostíky *Hydropsyche instabilis*, *H. fulviceps*,

Plectrocnemia conspersa. Zcela chyběly larvy muchniček. Zvýšený výskyt filtrujících larev chrostíků byl zjištěn i na jaře 2000.

Vysvětlení tohoto jevu jsme odvodili podle výsledků analýzy populací *Gammarus fossarum* a *Baetis rhodani*. U obou taxonů se v úsecích se silnými inkrustacemi dna vůbec nevyskytovali malí jedinci (první instary), kteří se neměli kde v takto změněném prostředí zachytit. Jednoznačně přecházeli do driftu a tím tvořili významnou nabídku pro filtrující sběrače a predátory.

Diskuze a závěry

Problematikou vlivu kalů obsahujících významné koncentrace kovů se zabývá poměrně široké spektrum autorů. Tak např. GREENFIELD & IRELAND (1978) zkoumali v letech 1974-75 vliv těžby uhlí v okolí Lancashire na znečištění přilehlých řek. Oblasti studovaných řek vykazovaly silnou depozici $\text{Fe}(\text{OH})_3$, který pokrýval substrát. Společenstva makrozoobentosu nad místem znečištění měla vysokou diverzitu, zahrnovala hlavně skupiny Oligochaeta, Plecoptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Coleoptera, Diptera a Mollusca. V místě depozice sloučenin Fe byla diverzita redukována na Oligochaeta a larvy Chironomidae. Nejdůležitějším faktorem se zde zdál být "pokryvný" efekt sloučenin železa.

LETTERMAN & MITSCH (1978) studovali fyzikálně - chemické parametry a společenstva ryb a makrozoobentosu v malém horském toku. Tok byl znečišťován důlními vodami již přes 50 let. Nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím bentická společenstva a populace ryb se zdála být depozice $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Rozsah depozice během sucha byl od 3,00 do 0,01 g.m⁻².den⁻¹. Biomasa makrozoobentosu se snížila z přibližně 14,0 na 0,1-1,5 g mokré hmotnosti na m² uvnitř oblasti depozice. Diverzita bezobratlých se významně snížila, ale ze 75% se opět obnovila. Trvalá produkce ryb se snížila z přibližně 228 na 11 kg na ha.

UZUNOV & KOVACHEV (1987) se zabývali modelem distribuce makrozoobentosu v řece Struma (Bulharsko), která byla znečištěna inertními suspendovanými částicemi. Během periody vysokého zatížení suspendovaným materiálem byla bentická společenstva ochuzena. V úseku nad místem znečištění byla běžná Amphipoda, Ephemeroptera, v prvním ovlivněném úseku dominovaly skupiny Tubificidae a Diptera. V místech pod bodem znečištění během periody uvolňování suspendovaného materiálu dominovali *Tubifex tubifex*, *Platycnemis pennipes*, *Haptagenia flava* a *Asellus aquaticus*. Bezprostředně po eliminaci dopadu začali dominovat pasivní imigranti jako jepice *Paraleptophlebia submarginata*, *Baetis scambus* a *Baetis tricolor*. Po pěti letech byly tyto druhy nahrazeny z velké části aktivní imigrací jepic *Baetis lutheri* a *Ecdyonurus venosus*.

NEWCOMBE & MAC DONALD (1991) se zabývali predikcí efektů znečištění na vodní biotu a považují suspendované látky za důležitou proměnnou ovlivňující kvalitu vod. Odpověď bentických bezobratlých na zatížení suspendovanými částicemi je tedy závislá na koncentraci částic a na době expozice. Dochází ke snížení diverzity bentických společenstev (v důsledku redukce biomasy a abundance) a především citlivých druhů. Vymizelé druhy nahrazují hrabavé formy, typické pro jemné substráty.

RASMUSSEN & LINDEGAARD (1988) zkoumali vliv sloučenin železa na společenstva bezobratlých v dánském nížinném říčním systému. Nalezli 67 druhů v takových množstvích, že mohly být stanoveny korelace mezi koncentrací Fe a

výskytem fauny. Byla zjištěna velká variabilita v přítomnosti různých druhů organismů a koncentrací železa.

V místech s koncentrací nižší než $0,2 \text{ mg Fe}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$ bylo nalezeno velké množství druhů (67). Mezi $0,20 - 0,25 \text{ mg Fe}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$ klesl náhle počet asi na 53 druhů. Vymizelé druhy náležely k čeledi Naididae (2 druhy), k řádům Ephemeroptera (5) a Plecoptera (3) a k čeledi Chironomidae (5). Všechny tyto druhy jsou škrabači a kouskovači povrchových biofilmů. Dalších 10 druhů bylo eliminováno od $0,25$ do $0,50 \text{ mg Fe}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$. Pokles pokračoval v dosti konstantním rozsahu do $10 \text{ mg Fe}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$, kde zbylo jen 10 druhů. Tato eliminace se vyskytovala ve všech hlavních taxonomických skupinách. 7 druhů přetrvalo až do koncentrace $30 \text{ mg Fe}^{2+} \cdot \text{l}^{-1}$. Náležely k čeledím Tubificidae (2 druhy) a Chironomidae (3 druhy: *Macropelopia nebulosa*, *Prodiamesa olivacea* a *Chironomus thummi*). Do této skupiny byly zahrnuty i *Lymnaea peregra* a *Sialis lutaria*. Společenstva bezobratlých v toku také silně ovlivňovaly parametry jiné než koncentrace železa, např. typ substrátu, rychlost proudění a organické znečištění.

MIGLIORE & GIUDICI (1990) zkoumali vliv sloučenin železa na korýše *Asellus aquaticus* (beruška vodní). Zjistili, že druh je k Fe^{3+} extrémně citlivý, přičemž samečci mají nižší přežívací schopnost než samičky a juvenilní stadia nevykazují významně vyšší citlivost než dospělci. Řád *Izopoda* patří mezi nejvíce citlivé vodní bezobratlé, srovnatelné s druhy rodu *Gammarus* (Amphipoda) a *Daphnia* (Cladocera).

GERHARDT (1992) zkoumal vliv subakutních dávek železa na jepici *Leptophlebia marginata*. Uvádí, že železo se zdá být více toxické při neutrálním pH než při nízkém pH, pravděpodobně je to způsobeno srážením železa na žábrách a těle organismů a na povrchu sedimentů, což brání růstu řas a následně klesá dostupnost potravy pro škrabače. Při pokusech byla pozorována snaha živočichů odstranit povlak sraženin z povrchu těla a žaberního aparátu.

Obecně lze konstatovat že, změny způsobené suspendovanými látkami (železitými kaly) mohou mít jeden nebo více vlivů:

- Malé znečištění je realizováno především zvýšením turbidity – zákalu vody. Je především ovlivněna fotosyntetická aktivita řas a ponořené vegetace. Tato změna ovlivňuje také živočichy, které jsou závislé na rostlinách jako zdroji potravy, úkrytu a ochrany. Turbidita může také ovlivnit přenos a radiaci tepla.
- Suspendované látky mohou přímo uplatnit mechanický efekt na organismy zvýšenou abrazí, ucpáváním respiračního povrchu žáber, zásahem do výživy díky nedokonalému zachycování potravy na přívěscích nebo sítěch filtrátorů.
- Suspendované látky mění podmínky habitatů v důsledku změny charakteru substrátu. Zvýšené množství jemného substrátu vstupuje do prostor ve štěrku a naplaveninách a mění charakter dna (kolmatace). Mnoho bezobratlých a některé druhy ryb jsou závislé na prostupnosti dna a komunikaci vody toku s vodou hyporhealu a aqiferem podzemních vod. Akumulace jemných kalů může fyzikálně zabránit normálnímu pohybu živočichů uvnitř substrátu a v extrémních případech mohou zmizet prostory pro živočichy (inkrustace dna).
- Poměr inertních (anorganických) a organických komponent může být změněn tak, že hrabavé formy bezobratlých, filtrátoři nebo povrchoví detritovoři jsou zaplaveni nepoživatelným materiálem, a habitat je prakticky sterilní.

Zcela novým poznatkem je, že změna habitatu dna změní strukturu populací (chybí malí jedinci využívající intersticiální prostory), mění strukturu driftu a ten má

pak vliv na zvýšený výskyt filtrujících makrosběračů i v usecích toků, kde se normálně nevyskytovali.

Ze zasaženého úseku toku zcela zmizeli Oligogochaeta (*Stylodrilus*, *Limnodrilus*, *Nais*), ploštěnky (*Dugesia gonocephala*), mlži (*Pisidium personatum*) a nižší instary larev hmyzu (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera).

Nepřímo se tak prokázal význam struktury a propustnosti dna pro oživení toku a stabilitu ekosystému. Výsledky jsou velmi podobné závěrům z naší práce která řešila vliv tvrdě opevněných (betonové tvárnice) drobných toků na strukturu společenstva makrozoobentosu (KUBÍČEK, HELEŠIC & KOMÁREK 1995)

Literatura (u autora).