

## VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

### VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA POSTIHLA POVODEŇ

Povodeň v srpnu 2002 specifickým způsobem zasáhla nejen vybavení pražského pracoviště Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, ale do jisté míry i celkový pohled ústavu na povodně. V ústavu lze, obdobně jako v dalších odborných institucích, právem očekávat poměrně detailní a letité znalosti a postřehy z nejrůznějších povodňových epizod doma i ve světě – tudíž určitý profesionální odstup.

Kulminace Vltavy na území hlavního města Prahy a úplné zaplavení areálu v Podbabě ovšem přineslo poněkud jiná, autentická fakta a také zkušenosti platné přímo pro ústav. Snad jako malou náplast na to, co voda na majetku a vybavení ústavu naopak odnesla.

Důkladná analýza a vyhodnocení povodně 2002 teprve přijde. Ten, kdo zažil jakoukoli povodeň, potvrdí, že bezprostřední postřehy takřkajíc z „žabí“ perspektivy jsou velmi těžko sdělitelné. Mohou však mít obecnější platnost a jsou nedílnou součástí celkového obrazu.

Co tedy lze – zatím bez odstupe – říci k povodni 2002 v areálu ústavu, který se ponořil do vln, aby se z nich opět vynořil sice pošramocený, ale s odhodláním a předpoklady pracovat dál? Pokusme se přistoupit i k této otázce s trochou neúčastné profesionality. Možná to bude poučné i pro ostatní.

Předně je nutné zdůraznit a podtrhnout, že opatření ve VÚV T.G.M., a to před, během i po povodni zabránila škodám největším – na životech, zdraví i dlouhodobému poškození životního prostředí, a tím tedy splnila svůj účel stoprocentně.

Další úvahy se proto týkají věcných a majetkových škod a vlivu na odborný potenciál ústavu. Tyto dopady jsou již rámcově známé a budou ještě upřesňovány. Obecně lze konstatovat, že bilance ztrát je neradostná, nikoli však kritická. Bilanční pohled také dovoluje odlišit, které ze škod mohou být považovány za „osudové“ (vyplývající z dispozice, charakteru činnosti a umístění ústavu) a kterým bude možné „za rozumnou cenu“ v budoucnosti předejít. Takový chladnokrevný kalkul je na místě. Práce spojené s obnovou již zacelují největší a nejzřetelnější



rány. Je ovšem nanejvýš nutné, aby v jejich průběhu byly v maximální míře zohledněny zkušenosti záplav.

Jaké „šance a rizika“ VÚV T.G.M. lze v souvislosti s katastrofální povodní v srpnu 2002 rozpoznat? Pokud hledáme odpověď na tuto otázku, nelze zůstat pouze u dramatického okamžiku, kdy kolem poledne 14. srpna 2002 povodeň zaplavila při odhadovaném průtoku 5 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> areál VÚV T.G.M. do výše kolem 6 m. Pokusme se jen letmo rozdělit poznámky do několika okruhů.

**Historie a dispozice ústavu** – První objekty pražského pracoviště dnešního VÚV T.G.M. na břehu vltavského ramene, které vytváří Trojský ostrov, byly budovány jako specializované hydrologické pracoviště „na vodě“, a to doslova. Střední, nejstarší budovou A prochází po celé délce tárovací žlab, který je vlastně kanálem shora i zdola zaústěným do Vltavy. Také původní „horizontální“ dispozice jednotlivých provozů vycházela z předpokladu, že ústav může být občas zasažen větší vodou. Stojí za povšimnutí, že během téměř sta let existence ústavu se postupně „horizontální“ dispozice a organizace jednotlivých úseků zkombinovala s „vertikální“, kdy související provozy se ocitly nad sebou (kupř. pomocné provozy, laboratoře, pracovní).

Souhrnně lze říci, že poloha ústavu spolu s dalšími faktory, tj. velikostí a průběhem povodně, pochopitelně zásadním způsobem ovlivnila dopad této živelní pohromy. Ústav v jádru nicméně obstál. Průběh povodně ukázal, že do budoucna bude nutné provést jednak některé organizační úpravy – rozmístění složitých a cenných provozů do vyšších pater, jednak nutná technická protipovodňová opatření – zejména ve směru poměrně rychlé a bezpečné evakuace přízemních partií.

**Některé momenty povodně** – Preventivní opatření ve VÚV proběhla v souladu s povodňovým plánem postaveným, obdobně jako v řadě dalších organizací, na stoletou vodu. Stále hrozivější prognózy se promítly v zesílených opatřeních, zaměřených zejména na výpočetní a mobilní techniku. Opět stejně jako u dalších organizací šlo o improvizaci přesahující rámec povodňového plánu, která se nicméně vyplatila. Podle předpokladů se ukázalo, že jakákoli následná činnost v zatopeném areálu – pokud by ji orgány krizového řízení vůbec připustily – by byla prakticky zbytečným a velmi nebezpečným dobrodružstvím. Ostatně stanoviště „na Babě“ umožňovalo komplexní přehled a naprosto bezpečnou dokumentaci obrazu povodně. Lze připustit, že pravidelné pozorování zaplaveného areálu, ačkoli bylo zprvu spíše atrakcí, se stalo – včetně fotodokumentace – cenným zdrojem poznatků a ihned po ústupu povodňové vlny i východiskem prvních odhadů škod.



**Činnost VÚV během povodní** – Dramatické události v podbabském pracovišti VÚV by neměly zastínit fakt, že pobočky v Brně a Ostravě pracovaly během povodně bez jakéhokoli přerušení. Kromě dokumentace povodně ve vlastním areálu probíhaly i práce na dokumentování povodní v jiných místech. Za nejcennější lze považovat výsledky leteckého a satelitního snímkování průběhu povodňové vlny na území ČR, které jsou neopakovatelným zdrojem poznatků čekajících na celkové vyhodnocení.

**Opatření k zachování výkonu a potenciálu VÚV** – Prakticky od roku 2001 byl v odborných činnostech ústavu kladem soustředěný důraz na určité zkrácení termínů řešení nebo přinejmenším zavedení interních kontrolních dnů, s cílem získat přehled o stavu řešení v jednotlivých čtvrtletích běžného roku a vytvořit určitou rezervu pro eventuální doplnění úkolů právě během posledního čtvrtletí. Je přirozené, že toto opatření není možné uplatnit paušálně a zejména ne u úkolů, u kterých měření závisí na ročním časovém cyklu. Přesto se v souvislosti s hodnocením dopadu povodně projevil – sice neplánovaně – určitý „preventivní“ efekt uvedených opatření. Povodně tedy v mnohých případech zastihly řešitele již na prahu sice nejběžnější, ale přesto spíše „komorní“ etapy prací, tj. vypracování závěrečných zpráv.

Udržení ústavu v chodu se stalo prioritou okamžitě po skončení první etapy prací, věnovaných prakticky zpřístupnění VÚV a odstranění nejkritičtějších rizik (mechanických, hygienických atp.). Tato etapa probíhala zhruba v dekadě následující těsně po opadnutí vody. Poděkování za její zvládnutí patří jak pracovníkům ústavu, tak i obětavým pomocníkům z řad dobrovolníků. Dalším naléhavým úkolem bylo zajistit ales-

poň elementární pracovní podmínky pro odborné pracovníky postižené následky povodně. Za cenu ústupků a sebezapření se i to v zásadě podařilo. Přestože si VÚV váží všech nabídek odborné pomoci, můžeme již nyní s velkou pravděpodobností konstatovat, že zadané úkoly splníme, i když drobné dílčí úpravy nebo časové posuny mohou nastat, ostatně jako i v jiných letech.

**Poznatky z povodně a poučení k budoucnu** – Povodeň 2002 zasadila VÚV těžké rány. Prostředky potřebné k obnovení všech částí zničeného majetku (v dnešních cenách) lze odhadovat na ca 200 mil. Kč. Téměř stovku pracovníků VÚV připravila povodeň o pracovní prostory i základní vybavení a budou muset čekat týdny nebo v některých případech i měsíce na řádné definitivní umístění. Poznatky z povodně se staly východiskem pro řadu detailních zlepšení již v etapě likvidace následků a obnovy areálu – ať již jde o technická nebo „pouze“ organizační opatření. V některých případech lze konstatovat, že povodeň uspíšila obnovu nejvíce zastaralých částí areálu, kde se počítalo v budoucnu se zásadní přestavbou. Rekonstrukční práce se však nakumulovaly. Pražské pracoviště VÚV bude proto ještě nějaký čas pracovat ve stížených podmín-



kách. Základním předpokladem pro překonání následků povodní je však jeho fungování na plný výkon. Hledání technických a dalších opatření a jejich postupná realizace je klíčové pro obnovu zázemí odborné činnosti, ale ne důvodem k jejich přerušení.

VÚV je veřejnoprávní instituce a lze proto předpokládat finanční příspěvek z veřejných zdrojů. Existuje však jedna oblast služeb, k jejíž obnově mohou VÚV přispět partnerské výzkumné a vzdělávací instituce, zainteresovaní jednotlivci i soukromé organizace v oboru. Během povodní přišel ústav o podstatnou část své odborné knihovny. Určitě neodmítneme nabídky, které umožní obnovit knihovní fond, nahradit ztracené zprávy a poskytnout i obnovit informační fondy již v elektronické podobě. Byla by to pomoc nejen pro VÚV, ale pro celou odbornou veřejnost, která služeb naší knihovny využívá. Pokud by totiž někde hrozila nenahraditelná ztráta, pak především v souvislosti s omezením služeb oborového informačního střediska. Pevně věříme, že tato obava se nenaplní.

VÚV děkuje všem, kteří projevili účast, nabídli nebo poskytli pomoc v těchto pro ústav těžkých dobách. Je pro nás důležité vědět, že se svými problémy nejsme sami.



Autory fotografií jsou Lubomír Petružela a Josef Fuksa.

Ing. Lubomír Petružela, CSc.  
ředitel

# ANALÝZA MOŽNOSTÍ BILANČNÍHO HODNOCENÍ NA ZÁKLADĚ POVOLENÍ K NAKLÁDÁNÍ S VODAMI

Václav Bečvář

## Klíčová slova

bilanční hodnocení, vodoprávní povolení, množství povrchových vod

## Souhrn

V článku je popsán pokus o posouzení stavu bilanční napjatosti v kontrolních profilech množství povrchových vod za předpokladu, že by byly plně využity limity uváděné v povoleních nakládání s vodami. Postup byl doplněn „rekonstrukcí“ chybějících i velmi pravděpodobně chybně evidovaných vodoprávních povolení. Výsledkem je, že bilanční hodnocení podle vodoprávních povolení provádět lze, algoritmus výpočtu není složitý a rozsáhlý. Otázkou zůstává racionální využití získávaných výstupů.

## Úvod

O bilančním hodnocení tzv. „podle vodohospodářských či vodoprávních povolení“ se v určitých časových intervalech opakovaně uvažuje, vyskytovaly se o něm zmínky v různých verzích návrhu vyhlášky o sestavování vodohospodářské bilance i v návrhu metodického pokynu pro tutéž činnost a také je skutečně uvedeno i ve schválené vyhlášce č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci. Je tedy nanejvýš pravděpodobné, že v nějaké podobě se k takové variantní formě posouzení (alespoň z hlediska množství povrchových vod) v následném období zpracovávání vodohospodářské bilance přistoupí. Podstata tohoto záměru je vcelku srozumitelná – posoudit stav bilanční napjatosti v kontrolních profilech za předpokladu, že by byly plně využity či využívány limity uváděné v povoleních nakládání s vodami. Smysl takového záměru lze již formulovat obtížněji, resp. s několika otázkami:

- Je cílem zjistit, kolik vody navíc by bylo nutné v konkrétních lokalitách zabezpečit, aby byly uspokojovány i takto definované potřeby?
- Je naopak cílem zjistit, zda vydaná povolení k nakládání s vodami (a která?) neobsahují tak vysoké limity, že jejich zabezpečení je ne-reálné, popř. tak nákladné, že je nezbytné hledat cestu k revizi těchto povolení?
- Je cílem ověřit, zda kombinace odběrů a vypouštění vod se i při zvýšení až k povoleným limitům vzájemně vyrovná alespoň natolik, že bilanční stav v kontrolních profilech se nezmění nikterak dramaticky?
- Je cílem posoudit vůbec racionálnost, koordinovanost, jednotnost a zodpovědnost v existující praxi vydávání povolení?
- Je naopak cílem vytvořit systém, který bude trvale ovlivňovat povolování nakládání s vodami v ideální provázanosti s možnostmi konkrétních vodních útvarů i s dlouhodobou vodohospodářskou politikou, která bude vyjadřovat regionální, národní i nadnárodní zájmy a cíle, především pak trvale udržitelné využívání vody za souběžného zlepšování stavu vodních útvarů?

Vzhledem k tomu, že stejně obtížné se jeví i stanovit postup takového výpočtu, přistoupilo se při zpracování Zprávy SVHB MR 2001, resp. její části nazvané Hodnocení období 1996–2000, k pokusu ověřit, zda je takováto analýza vůbec možná a k jakým rámcovým výsledkům povede za současného stavu vydaných vodoprávních povolení. Jediným důvodem byla snaha posunout poznání v tomto směru alespoň o kousek dále.

## Postup řešení

### Analýza disponibilních údajů z vodoprávních povolení

Vzhledem k tomu, že se údaje o limitech z vodoprávních povolení k nakládání s vodami zatím systematicky dále nevyhodnocovaly ani jinak nezpracovávaly, a to nejen v rámci státní vodohospodářské bilance, ale zřejmě ani nikde jinde, jsou disponibilní údaje ve značně špatném stavu. Je tomu tak i přesto, že jsou již dlouhou dobu součástí údajů, které společ-

ně s informacemi o odběrech a vypouštění správci povodí evidují či sbírají a postupují každoročně zpracovateli vodohospodářské bilance. V principu by měly být k dispozici tyto údaje, které jsou jako položky obsaženy v předávaných datových souborech: vodoprávně povolené množství v  $m^3/s$  a v tis.  $m^3$  za rok i za měsíc, číslo vodoprávního rozhodnutí, datum jeho vydání, doba platnosti a název orgánu, který povolení vydal. Pro uvedenou analýzu bylo sledováno pouze roční povolené množství odebrané či vypouštěné vody [tis.  $m^3/rok$ ], pro přípravu variantních verzí hypotetických odběrů a vypouštění pak bylo využíváno i měsíční povolené množství vody [tis.  $m^3/měs.$ ]. V tabulce 1 jsou uvedeny kvantifikované informace o disponibilních ročních limitech – bližší vysvětlení položek je v následujícím textu.

V období 1996–2000 bylo evidováno 6 720 různých odběrů a vypouštění (2 783 odběrů podzemních vod, 1 098 odběrů povrchových vod a 2 839 vypouštění do povrchových vod). U významného počtu uživatelů vody (37,4 %) nejsou uvedeny vůbec žádné údaje o povolení, z uvedených údajů část působí velmi nedůvěryhodně jako řádové chyby, u jiné nemalé části vzbuzuje podezření teoreticky nepřipustná relace – údaje o skutečně odebraném či vypuštěném množství vody za rok (RM) významně převyšují hodnoty uvedených limitů (na základě údajů za rok 2000, resp. za rok posledního uskutečněného odběru nebo vypouštění). Za průměrné lze nepochybně považovat limity až do hodnoty 1,3 RM, výjimečně až do 1,5 RM, ale tomu se značná část údajů vymykala. Míra významnosti těchto nedostatků je patrná z tabulky 1.

Z pozice zpracovatele na centrální úrovni lze jen doufat, že sami správci mají tyto údaje v lepším stavu, resp. jsou schopni je relativně snadno soustředit a sjednotit.

### Rekonstrukce chybějících ročních limitů pro konkrétní uživatele vody

Aby bylo možné pokračovat v analýze možností bilančního hodnocení podle vodoprávních povolení, byl proveden pokus rekonstruovat tyto údaje u těch uživatelů, u kterých chyběly, resp. kde se jeví jako nevěrohodné. Postup rekonstrukce byl založen na předpokladu podobnosti vztahu těchto ročních limitů a skutečných odběrů a vypouštění u různě specifikovaných skupin uživatelů – poměr mezi limitem a skutečným ročním množstvím byl zjištěn u existujících údajů a následně použit k výpočtu u těch uživatelů, kde chyběl vůbec nebo byl jako nevěrohodný neuvažován. Kromě toho nebyly do těchto rekonstrukčních výpočtů zahrnuty aktivity typu „převod“ a „rybník“, a to z důvodu neúplnosti a nejednotnosti v přístupu jednotlivých správců povodí k jejich uvádění. Stejně tak nebyly do výpočtu „koeficientu rekonstrukce“ zahrnuty případy, kdy skutečné roční množství (RM) převyšovalo hodnotu ročního limitu méně než 5násobně, popř. 10násobně – nicméně tyto případy nebyly ani dále opraveny a bylo s nimi v dalším počítáno v nezměněném stavu.

V prvním kroku – výpočtu „koeficientu rekonstrukce“ – byly ve dvou variantách jako nevěrohodné roční limity označeny, a tudíž neuvažovány:

- ve variantě 5 limity, které byly 5krát větší nebo menší než konkrétní odběr či vypouštění, a to v roce 2000 nebo v roce posledního uskutečněného odběru nebo vypouštění,
- ve variantě 10 obdobně limity 10krát větší nebo menší.

V obou variantách však byla pro „větší“ nevěrohodné limity rekonstrukce (výpočet nového limitu na základě hodnoty RM a příslušného koeficientu rekonstrukce) provedena, nevěrohodné „menší“ limity byly pro bilanční výpočty použity v původní výši.

Poměry ročního limitu a skutečného ročního množství (koeficienty rekonstrukce) byly stanoveny samostatně pro odběry podzemní vody, povrchové vody a vypouštění v obou variantách (5 a 10) a navíc v následujících verzích definice samostatných skupin:

Tabulka 1. Informace o disponibilních ročních limitech

	Povodí, s. p.					ČR celkem
	Labe	Vltava	Ohře	Odra	Morava	
Celkový počet uživatelů	1 668	1 619	1 174	660	1 599	6 720
Chybějící údaje o limitu [ $m^3/rok$ ]	302	365	341	101	1 406	2 515
RM (roční množství skutečné) je > roční limit	153	137	129	74	22	515
Limit je >10 * RM nebo < 10 * RM	86	68	53	40	25	272
Limit je > 5 * RM nebo < 5 * RM	193	139	112	91	52	587
Počet rekonstruovaných ročních limitů ve var. 10	388	433	394	141	1 431	2 787
Počet rekonstruovaných ročních limitů ve var. 5	495	504	453	192	1 458	3 102
Rekonstruované roční limity [%] var. 10	23,26	26,74	33,56	21,36	89,49	41,47
Rekonstruované roční limity [%] var. 5	29,68	31,13	38,59	29,09	91,18	46,16

- koeficient byl jednotný pro všechny rekonstruované odběry a vypouštění,
- koeficient se zjišťoval a uplatňoval ve skupinách podle základních odvětví klasifikace ekonomických činností (vodovody-kanalizace, zemědělství, energetika, průmysl, ostatní),
- koeficient se zjišťoval a uplatňoval ve skupinách podle velikostních skupin celkového ročního odběru nebo vypouštění (< 50, 50–100, 100–500, 500–1 000, 1 000–5 000, > 5 000 tis. m<sup>3</sup>).

Pomocí těchto koeficientů a konkrétních množství byly rekonstruovány roční limity (povolená množství) pro všechny odběry a vypouštění v pětiletí 1996–2000. Pro variantu 5 bylo doplněno celkem 3 102 limitů, to je 46,2 % z celkového počtu uživatelů vody (podzemní vody 1 554, povrchové vody 560, vypouštění 988), pro variantu 10 to bylo 2 787 limitů, to je 41,5 % (podzemní vody 1 443, povrchové vody 461, vypouštění 883). Podle způsobu rekonstrukce ročních limitů bylo tedy nadále rozlišováno šest různých variant:

**Varianta 5R:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 5krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to pro celý soubor uživatelů s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

**Varianta 10R:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 10krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to pro celý soubor uživatelů s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

**Varianta 5V:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 5krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to ve skupinách uživatelů podle velikosti jejich skutečných ročních odběrů a vypouštění, s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

**Varianta 10V:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 10krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to ve skupinách uživatelů podle veli-

kosti jejich skutečných ročních odběrů a vypouštění, s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

**Varianta 50d:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 5krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to ve skupinách uživatelů podle jejich příslušnosti do základních odvětví klasifikace ekonomických činností, s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

**Varianta 100d:** pro výpočet koeficientu rekonstrukce nebyly uvažovány známé roční limity, pokud byly více než 10krát větší nebo menší než skutečný odběr či vypouštění, a to ve skupinách uživatelů podle jejich příslušnosti do základních odvětví klasifikace ekonomických činností, s rozlišováním odběrů povrchové vody (POV), odběrů podzemní vody (POD) a vypouštění do povrchových vod (VYP).

Koeficienty se v jednotlivých případech pohybovaly v přibližném rozmezí 1,2 až 3,5. Jistě lze předpokládat, že rekonstruované hodnoty ročních limitů se nemohou od reálné stanovených lišit natolik, aby nebylo možné na jejich základě analýzu toho, jak by mohlo bilanční hodnocení podle vodoprávních povolení přibližně vypadat, dále provádět.

#### Výpočet hypotetických měsíčních hodnot odběrů a vypouštění

V uvedených šesti variantách byl proveden výpočet takových měsíčních hodnot odběrů a vypouštění vody, které reprezentují vstupní předpoklad – odpovídají plnému využití ročních i měsíčních limitů uvedených, popř. rekonstruovaných pro jednotlivé uživatele vody. Za tím účelem byly vypočítány pro všechny jednotlivé uživatele koeficienty rozdělení ročních množství do jednotlivých měsíců, a to průměrně vždy za předcházející tři roky, aby se minimalizoval vliv jednorázově nestandardního rozdělení.

Rozdělení rekonstruovaných ročních limitů pak bylo provedeno výpočtem, ve kterém bylo přihlíženo k několika možnostem vstupních údajů:

- při současné existenci ročního i měsíčního limitu
  - byli-li měsíční limit větší než roční (v zadaných hodnotách limitů se takové případy vyskytují), byl tento měsíční limit zanedbán a výpočet probíhal podle schématu ad b),
  - byli-li roční limit větší než dvanáctinásobek měsíčního limitu, byla všem měsíčním hodnotám přiřazena velikost měsíčního limitu s tím, že roční limit nelze plně využít,
  - v ostatních případech byly měsíční hodnoty vypočítány nejprve rozdělením ročního limitu podle koeficientů rozdělení a posléze popř. upravovány tak, aby byl dodržen měsíční i roční limit. V případě, kdy součet vypočítaných měsíčních hodnot byl menší než roční limit, byly v sestupném pořadí podle velikosti koeficientu zvyšovány měsíční hodnoty až do úrovně měsíčního limitu do té doby, než se jejich součet a roční limit rovnaly. V opačném případě byly vypočítané měsíční hodnoty ve zestupném pořadí podle velikosti koeficientu snižovány až na nulu, opět až do rovnosti jejich součtu a ročního limitu;
- při existenci pouze ročního limitu byly měsíční hodnoty vypočítány jednoduše rozdělením ročního limitu podle koeficientů rozdělení.

#### Rekonstrukce průměrných měsíčních průtoků v kontrolních profilech

Pro budoucí bilanční posouzení bylo nezbytné ještě rekonstruovat průměrné měsíční průtoky v kontrolních profilech množství povrchových vod. Šlo o doplnění výpočtu rekonstrukce neovlivněných měsíčních průtoků, která je stabilní součástí výstupů SVHB (předáváno ČHMÚ), jejich následným „zátěžením“ odběry a vypouštěním, vypočítanými podle výše popsaného postupu. Vzniklo tak šest variant rekonstruovaných průtoků, odpovídajících zmíněným variantám rekonstrukce ročních limitů – pro další práci je pro ně použito i stejného označení.

#### Dílčí výsledky řešení

Výsledky bilančního hodnocení pro jednotlivé varianty jsou v plném rozsahu (bilanční stavy ve všech kontrolních profilech i jejich souhrnné hodnoty pro různé územní celky, výběr

**Tabulka 2.** Výsledky analýzy bilančního hodnocení podle vodoprávních povolení

Číslo stanice	Název kontrolního profilu	Tok	Povodí, s. p.	RM	5R	10R	50d	100d	5V	10V
0310	ČASTOLOVICE	Bělá	Labe	+	+	+	+	+	+	+
0390	MITROV	Dědina	Labe			+		+		+
0610	VELETOV (1010-J)	Labe	Labe						+	+
0665	VRCHLICE	Vrchlice	Labe		+	+	+	+	+	+
0700	NOVÝ BYDŽOV	Cidlina	Labe	+	+	+	+	+	+	+
0750	SÁNY	Cidlina	Labe		+	+	+	+	+	+
0800	NYMBURK	Labe	Labe							+
0900	BOHUŇOVSKO-JESENÝ	Kamenice	Labe		+	+	+	+		
1040	BRANDÝS NAD LABEM	Labe	Labe		+	+	+	+	+	+
1130	ŘÍMOV	Malše	Vltavy	+	+	+	+	+	+	+
1140	PAŠÍNOVICE-KOMARČICE	Stropnice	Vltavy	+	+	+	+	+	+	+
1150	ROUDNÉ	Malše	Vltavy		+	+	+	+	+	+
1330	BECHYNĚ	Lužnice	Vltavy	+	+	+	+	+	+	+
1632	SOUTICE	Želivka	Vltavy	+	+	+	+	+	+	+
1650	KÁCOV	Sázava	Vltavy		+	+	+	+	+	+
2260	TRMICE	Bílina	Ohře	+	+	+	+	+	+	+
2260	ÚSTÍ N. L.(1123-J)	Bílina	Ohře	+					+	+
2650	KRNOV	Opavice	Odry		+	+	+	+	+	+
2730	KRUŽBERK POD PŘ.	Moravice	Odry		+	+	+	+	+	+
2740	BRANKA	Moravice	Odry		+	+	+	+	+	+
2770	ŠANCE POD PŘ.	Ostravice	Odry		+	+	+	+	+	+
2890	SVIADNOV	Ostravice náhonem	Odry	+	+	+	+	+	+	+
2910	ŽERMANICE POD PŘ.	Lučina	Odry		+	+	+	+	+	+
3017	TĚRLICKO POD PŘ.	Stonávka	Odry		+	+	+	+	+	+
3210	VARNSDORF	Mandava	Ohře	+	+	+	+	+	+	+
3210	VARNSDORF (3538-J)	Mandava	Ohře	+	+	+	+	+	+	+
3930	KLOPOTOVICE	Blata	Moravy	+	+	+	+	+	+	+
4000	VÝŠKOV	Haná	Moravy	+	+	+	+	+	+	+
4000	BEZMĚROV (1169-J)	Haná	Moravy		+	+	+	+	+	+
4121	ZLÍN TOK+SVOD	Dřevnice	Moravy	+	+	+	+	+	+	+
4121	OTROKOVICE (1174-J)	Dřevnice	Moravy			+		+		+
4520	ROZHRANÍ	Svitava	Moravy	+	+	+	+	+	+	+
4570	BÍLOVICE	Svitava odbočení	Moravy		+	+	+	+		
4695	MOHELNO	Jihlava	Moravy		+	+	+	+	+	+
4780	IVANČICE	Jihlava	Moravy		+	+		+		
4805	BŘECLAV-LADNÁ	Dyje-pod odlehčovací	Moravy			+		+		
<b>Celkový počet profilů</b>				<b>15</b>	<b>30</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	<b>32</b>

profilů s nevyhovujícím bilančním stavem aj.) archivovány u zpracovatele. Do této zprávy nejsou použity, zejména s ohledem na jejich jednorázový význam, pouze v rámci této analýzy.

Ke zprostředkování výsledků zde jistě postačí souhrnná *tabulka 2*, uvádějící v členění na jednotlivé varianty kontrolní profily, ve kterých byl vyhodnocen alespoň jednou nevyhovující bilanční stav BS3 – BS6. Ve sloupci RM jsou pro srovnání uvedeny výsledky běžného bilančního vyhodnocení, tj. se skutečnými odběry a vypouštěním v roce 1999.

Klasické bilanční vyhodnocení bylo provedeno pro uvedené varianty a pro vstupy (měřené průtoky, množina uživatelů vody, koeficienty měsíčního rozdělení vypočítány z let 1999, 1998 a 1997) ze skutečného roku 1999 – pro rok 2000 chyběla v době analýzy hydrologická data. Výpočet pro jakýkoliv jiný rok z období 1996–2000 by byl již pouze rutinním a bezproblémovým zopakováním části postupu. Nebyl však již prováděn, protože by nepochybně vedl pouze k obdobným výsledkům. K výpočtu pro roky z jiného období by bylo pouze nutné vypořádat se s eventuálně chybějícími limity jiných uživatelů vody.

Získané výsledky byly dále analyzovány s cílem nalézt konkrétní uživatele vody s jejich skutečnými, popř. rekonstruovanými limity, kteří působí změny mezi jednotlivými variantami. To se v řadě případů podařilo natolik, že bylo možné identifikovat i jediného uživatele, který daný trend ovlivnil tak dominantně, že zbytek ostatních uživatelů by na vyvolání neuspokojivého bilančního stavu nestačil.

## Závěr

Na základě uvedených výsledků lze formulovat několik závěrečných poznámek:

- Bilanční hodnocení podle vodoprávních povolení provádět lze, algoritmus výpočtu není složitý a rozsáhlý. Navíc při použití úplných a bezchybných podkladů odpadá práce s rekonstrukcí ročních (popř. měsíčních) limitů, která zde byla pouze postupem nouzovým.
- Výsledky takového bilančního posouzení působí vcelku reálně, jde zhruba o zdvojnásobení počtu kontrolních profilů, kde se vyskytuje nevyhovující bilanční stav. Výsledky rovněž korespondují se změnou poměru mezi limitem a skutečným množstvím – viz důsledně podobné relace mezi variantami 5 a 10. Nepochybně působí i vyrovnávací účinek mezi odběry a vypouštěním.
- Analýza by měla vést k celoplošné kontrole racionálnosti, koordinovanosti, jednotnosti a zodpovědnosti v existující praxi vydávání povolení, snad také ke kontrole úplnosti, správnosti a aktuálnosti v evidenci těchto povolení.

# STOLETÁ POVODEŇ NA REVITALIZOVANÉM POTOCE BOROVÁ

Václav Matoušek

## Klíčová slova

*blesková povodeň, hydrogram povodňové vlny, revitalizace toku, povodňové škody*

## Souhrn

**Stoletá povodeň přináší velké škody. Nemusí to platit v případě dobře revitalizovaného potoka, jak ukazuje příspěvek. Revitalizací se dosáhlo snížení rychlosti vody v korytě a změny v hydrogramu povodňové vlny. Tyto efekty názorně ukazují obr. 5 a 6.**

## Úvod

V posledním desetiletí se u nás prosazuje revitalizace vodních toků, zejména pak potoků. Při její podpoře se argumentuje především ekologickými aspekty. Hydrologická argumentace se většinou omezuje na obecné konstatování o retardaci kulminačních povodňových průtoků. Věcnější hydrologická argumentace zatím chybí a úplně se postrádá argumentace ekonomická, která by ukázala, že revitalizací potoka se dosáhne snížení povodňových škod na korytě toku a přilehlých pozemcích.

Nedostatek přesvědčivých argumentů vede často k omezení nebo dokonce zamítnutí revitalizace potoka. Při projednávání záměru vlastníci pozemků nespátávají v revitalizaci přínos a často na ni pohlížejí jako na mrhání státními prostředky, které se získávají z jejich daní, a zamítají její provedení na svém pozemku.

- Závažná se jeví otázka, jak je vůbec povolení uplatňováno a jak je jeho dodržování kontrolováno? Viz tabulku s výčtem případů, kdy bylo zaznamenáno skutečné nakládání s vodou převyšující dané limity!

Pokud jde o návrh dalšího využití obdobných výpočtů, lze si položit otázku, má-li vůbec reálný význam předpoklad, že všichni uživatelé vody začnou svá vodoprávní povolení využívat v úrovni limitů najednou? Nepochybně ne! Pak nemá význam obdobný výpočet používat ve smyslu získaných výsledků, ale nabízí se možnost, použít jej jako podklad pro nalezení takového konkrétního uživatele či několika takových (zřejmě významných) uživatelů pro (každý?) kritický kontrolní profil, kteří by využitím svých limitů neuspokojivý bilanční stav mohli způsobit. Při provedené analýze bylo toto vyhledávání prováděno pouze „ručně“, ale pravděpodobně by bylo možné nalézt vhodný algoritmus postupu a svěřit tuto činnost programu jako rutinní součást bilančního hodnocení, resp. jeho části věnované hodnocení na základě vodoprávních povolení. Následně by bylo možné zvažovat přiměřenost hodnoty limitu, jeho revizi či jiná opatření.

Výpočty by zřejmě bylo možné použít i pro kvantifikovanou informaci o disponibilním prostoru ke stanovení limitů vodoprávním orgánům, aby nově vydávaná povolení byla v souladu se stavem daného vodního útvaru a s evropskou, státní i regionální vodohospodářskou politikou.

**Ing. Václav Bečvář, CSc.  
VÚV T.G.M. Praha  
tel. 220 197 225**

## Key words

*balance assessment, water-law permission, quantity of surface waters*

*Analysis of the Possibilities of Balance Assessment on the Basis of Water Disposal Permissions (Bečvář, V.)*

**In the article an attempt is described to assess the state of balance tenseness in control profiles of surface water quantity, in case the limits stated in the water disposal permissions would be fully utilized. The procedure has been completed by a 'reconstruction' of both missing and very probably wrongly registered water-law permissions. The result is that it is possible to perform balance assessments according to the water-law permissions, while the calculation algorithm is not either complicated or extensive. However, a rational application of outputs obtained is still to be questioned.**

Revitalizace toků má své odpůrce a skeptiky i v řadách odborníků. Ti argumentují tím, že revitalizací se snižuje kapacita koryta, a tím i povodňová ochrana. Vliv revitalizace na snížení kulminačních povodňových průtoků považují za neprokázaný nebo nevýznamný.

Uvedeným argumentům se zatím obtížně čelí. Vliv revitalizace na snížení kulminačních povodňových průtoků lze teoreticky jednoznačně prokázat. Nejsou však konkrétní příklady, které by to prokázaly i prakticky.

Proto je pochopitelné, že když se vyskytla 19. srpna 2001 extrémní blesková povodeň na revitalizovaném potoce Borová, pustili jsme se do jejího vyhodnocení se vši vehemencí. Zajímalí jsme se pochopitelně o její průběh i o její následky. Jen údaje a poznatky z konkrétních situací mohou vyjasnit pochybnosti kolem revitalizace toků a přinést pádné argumenty pro její podporu.

Získané terénní údaje a poznatky z vyhodnocení jsou velmi překvapivé a přinášejí nový pohled na revitalizaci toků. I když to jsou poznatky z jednoho toku, dovolují určité zobecnění, o které se tento příspěvek pokouší.

Aby zobecnění bylo možné, věnovali jsme velkou pozornost hydrologickému vyhodnocení průběhu povodně i vyhodnocení následků povodně. Následky povodně byly překvapivě velmi malé, a proto jsme zjišťovali, proč tomu tak bylo. Podrobně se zabýváme možnými povodňovými škodami na nerevitalizovaném korytě. Právě porovnáním hydrogramů povodňové vlny a povodňových škod před a po revitalizaci lze odpovědět na otázku, jak revitalizace ovlivňuje průběh a velikost povodně a jaké jsou její ekonomické přínosy v povodňové ochraně.

## Revitalizace potoka Borová

Potok Borová protéká obcí Borová, která se nachází v blízkosti významné obce Chvalšiny v okrese Český Krumlov. Celé povodí potoka je v Chráněné krajinné oblasti Blanský les a jeho revitalizací jako investor zajišťovala Správa chráněných krajinných oblastí ČR.

Potok Borová byl revitalizován v letech 1998 až 2002. Nejdříve byla revitalizována část nad obcí, a to v letech 1998 a 1999, a v roce 2000 byla v podstatě realizována část pod obcí. V obci Borová se potok ne-revitalizoval.

Účelem revitalizace bylo nahradit meliorační kanál, který vznikl úpravou původního potoka Borová při odvodňování okolních pozemků v letech 1981–1982, novým korytem, které by se co nejvíce blížilo původnímu. Při odvodňování se upravil potok i v obci a celková úprava měla délku 3 132 m. Meliorační kanál začínal v čele mostku pod silnicí Chvalšiny – Brloh (viz obr. 1) a končil na okraji prameniště potoka. Pod obcí měl délku 1 723 m a nad obcí 1 110 m. Kanál měl většinou přímou trasu a jednotný lichoběžníkový příčný průřez (obr. 4).

Také jeho hloubka se příliš neměnila a většinou byla kolem 1,5 m. Charakter území a potoka vyžadoval vytvořit při revitalizaci novou trasu toku. Pro novou trasu potoka se hledala údolnice, čili nejnižší místo, aby se dosáhlo odvedení vody ze všech míst. Tam, kde to nebylo možné, se provedla úprava terénu nebo se vybudovalo rameno. Při revitalizaci se respektivo požadavek zachování dosavadní kvality pozemků a nepřipouštělo se jejich zamokření.

Nebylo účelné vytvářet rozměrné koryto s velkou kapacitou. Koryto v daném případě nemusí obsáhnout povodňové průtoky. Vylití vody z břehů nezpůsobuje škody. Podél toku jsou louky s velmi dobrým travním porostem, který ochraňuje pozemky před erozí. Žádoucí bylo dosáhnout v korytě přijatelné hloubky vody i za velmi malých průtoků, a proto je koryto úzké. Nad obcí má šířku ve dně jen 30 cm. Pod obcí je širší a dosahuje šířky až 60 cm. Také jeho hloubka je velmi malá – nad obcí 40 cm a pod soutokem se Zrcadlovým potokem nejvýše 60 cm.

Údolnice má poměrně velký sklon (nad obcí v průměru 3 % a pod obcí 1,7 %). Koryto bylo nutné opevnit. Dno se pokrývalo kameny sebranými z výkopu a paty svahů se opevňovaly drny, což přispělo k rychlému rozvoji vegetace na svazích. Opevnění je zesíleno kamennými prahy, které mají nad dnem lichoběžníkový tvar a vzdouvají vodu.

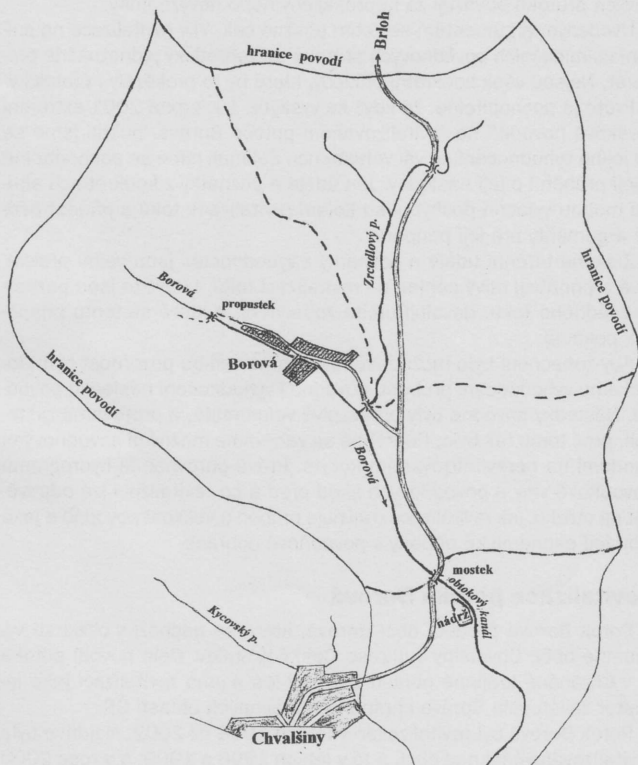
Revitalizovaný potok musí odvádět vodu z drenáží. Potok je však mělký a výúst drenáže naopak hluboko. Proto bylo nutné v místech soustředěných výúst drenáže sestoupit s korytem potoka na úroveň dna původního kanálu. Výškový rozdíl se překonává skluzy, které jsou zakončeny vývazy.

Dalším charakteristickým prvkem revitalizace potoka Borová jsou tůně vybudované ve starém korytě. Tůně zlepšily prostředí kplem toku, zároveň vyřešily problém nedostatku výkopového materiálu pro zasypaní starého koryta a významně přispěly k rychlému oživení toku. Již rok po výstavbě prokázal rybářský průzkum přítomnost střevlí a hrouzků.

Revitalizace potoka řešila i vegetační doprovod toku. Výsadba stromů a keřů se neomezila jen na břehovou linii, ale zahrnula pás různé šířky. Vegetační doprovod nemá jen estetickou a ekologickou funkci, ale také hydraulickou a hydrologickou.

### Podklady o průběhu povodně

Blesková povodeň proběhla 19. srpna 2001 kolem 16:00 h. Bleskovou povodeň způsobují lijáky a povodeň se vyznačuje náhlým a rychlým vzestupem průtoku. Trvá většinou velmi krátkou dobu



a zasahuje ponejvíce malá povodí a krátké úseky toků. Údaje o těchto povodních byly ještě v nedávné době většinou zcela nedostupné. Hydrometeorologická síť stanic není tak hustá, aby mohla zachytit lokální lijáky a zaznamenat průběh povodňové vlny na malých tocích. Dnes je situace mnohem příznivější. Novým informačním zdrojem jsou údaje z meteorologických radarů. Ty přinášejí v intervalu 10 minut informace o rozložení a intenzitě srážek. Z těchto údajů lze odvodit velmi cenné údaje, jak vyplývá z dalšího textu. Radarové údaje mají omezenou přesnost, a proto je potřebné je ověřovat či zpřesňovat výsledky pozemního pozorování. I v této oblasti je v současnosti situace mnohem příznivější. Dnes jsou již soukromé dešťoměrné stanice a při troše štěstí se může stát, jako v našem případě, že taková stanice je přímo v jádru lijáku. Pak je možné prověřit radarové údaje a získat řadu cenných informací.

Jedním z hlavních zdrojů informací i nadále zůstává důkladná prohlídka území po povodni, spojená se získáváním informací od očitých svědků události a zaměřením průběhu hladiny v místech, které umožňují výpočet kulminačního průtoky.

Cenným zdrojem informací jsou také provozní deníky záchranných složek. My jsme využili hlášení v provozním deníku Hasičského záchranného sboru v Českém Krumlově, který zasahoval v Borové, Červeném Dvoře a Rojšíně.

Dnes již mnoho občanů vlastní videokamery a tak se stává, že určitá část povodňové události je zachycena kamerou. I v našem případě se tak stalo a získali jsme další cenný zdroj informací.

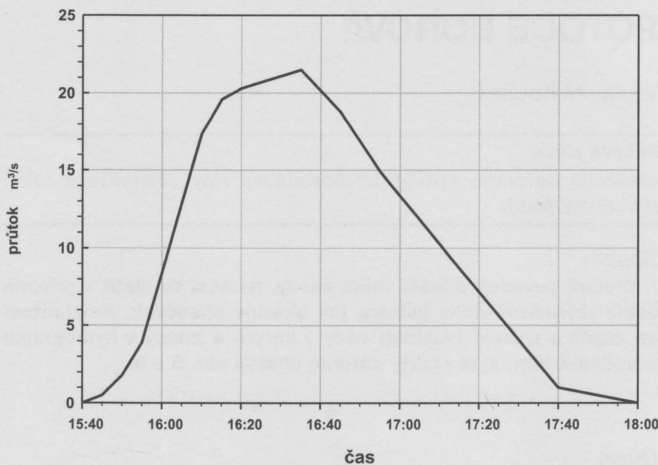
### Meteorologická situace a rozložení srážek

V neděli 19. srpna 2001 bylo typické letní bouřkové počasí. Maximální denní teplota vzduchu vystoupila v nižších polohách na 27 až 29 °C. Bouřky se vyskytovaly na řadě míst ČR. V jižních Čechách přvalové deště začaly až v odpoledních hodinách.

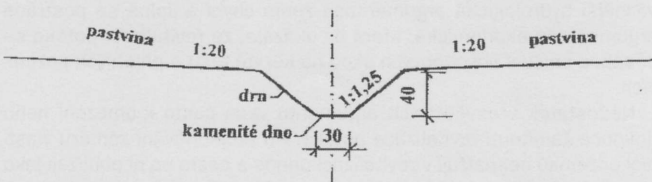
Podrobným vyhodnocením radarových měření jsme zjistili, že v obci Borová a jejím okolí začalo drobně pršet v 15:20 h. Intenzita deště se postupně zvyšovala. Největší intenzity bylo dosaženo od 15:40 do 16:20 h. Pak se až do 16:40 h vyskytoval déšť jen přerušovaně a jeho intenzita byla velmi malá.

Největší vydatnost srážky nebyla v obci Borová, ale v malé vzdálenosti výše proti toku potoka, čili v jeho prameništi a kolem rozvodnice s Chvalšinským a Křemžským potokem. Povodí potoka Borová však bylo zasaženo nejvíce.

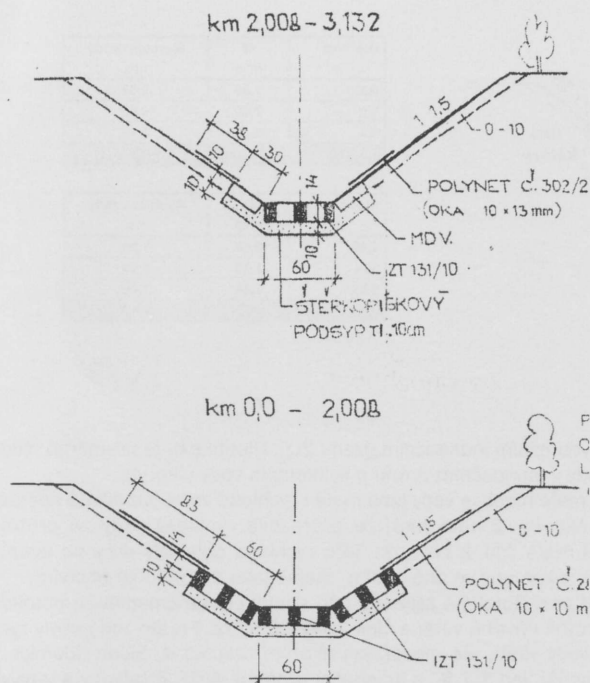
Zcela extrémní srážka s úhrnem nad 100 mm zasáhla našťastí jen malé území, podle radarového měření jen jeden čtverec o straně 2 km. Srážka o úhrnu 70–99 mm byla v šesti čtvercích kolem obce Borová. Na území samotné obce byl podle barvy čtverce na snímku z radaru úhrn srážky od 40 do 70 mm. Na místní farmě naměřila rodina farmáře na soukromém srážkoměru 52 mm, což představuje vzácnou shodu



Obr. 2. Hydrogram povodňové vlny v profilu mostku pod silnicí Chvalšiny – Brloh



Obr. 3. Příčný řez korytem a přilehlým inundačním územím nad obcí



Obr. 4. Vzorové příčné řezy korytem před revitalizací

s radarovým měřením. Velmi dobrou shodu radarového měření s pozemním měřením v meteorologické stanici ČHMÚ jsme zaznamenali ve stanici Červený Dvůr. Stanice naměřila úhrn 5 mm. Podle radarového měření by měl úhrn činit 6–10 mm. Stanice Červený Dvůr je od obce Borová vzdálena vzdušnou čarou necelé 4 km. To jen potvrzuje, jak plošně malé bylo extrémní srážkové jádro.

### Kulminační průtoky

Kulminační průtoky povodně jsme určovali hydraulickými výpočty. Vybrali jsme vhodné objekty (dva propustky a jeden mostek), u kterých jsme změřili úrovně hladin a potřebné rozměry, a výpočtem určili, kolik objektem a popř. inundačním územím protékalo vody za kulminace povodně.

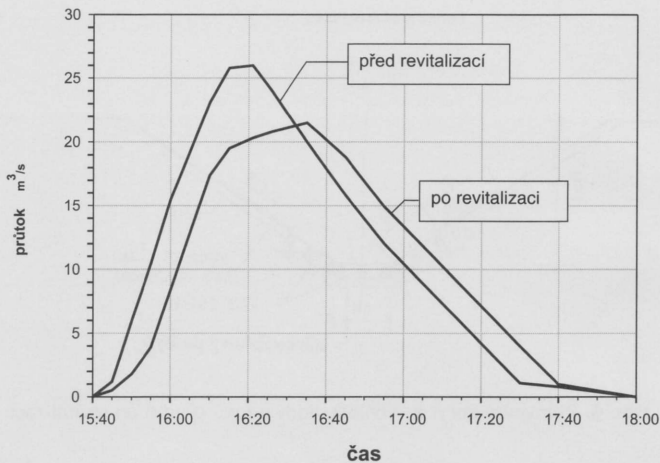
**Nad obcí Borová** jsme pro stanovení průtoku vybrali trubní propustek (viz obr. 1), který při revitalizaci zůstal zachován. V tomto místě protékala voda za povodně propustkem a dále dobře zjevným inundačním územím při levém břehu. Maximální hladinu vody jsme určili z dobře zjevných znaků na březích a čele propustku. Pro přesné určení šířky a hloubky proudu v inundačním území jsme využili geodetické zaměření terénu pro projekt revitalizace.

Hydraulické výpočty ukázaly, že propustkem při kulminaci povodně protékalo 3,8 m<sup>3</sup>/s a inundačním územím 8,5–10,0 m<sup>3</sup>/s. Uvedeným údolním profilem **protékalo celkem 12,3–13,8 m<sup>3</sup>/s**. To je s ohledem na plochu povodí 2,55 km<sup>2</sup> zcela extrémní průtok a **odpovídá stoleté povodni**.

**Na Zrcadlovém potoce** jsme zjišťovali průtok v místě propustku pod silnicí do obce Borová (obr. 1), který je asi 70 m nad ústím do potoka Borová. Voda přes silnici nepřetékala a výpočtem ze změřených hladin jsme zjistili, že trubním propustkem **protékaly 4,0 m<sup>3</sup>/s**. To je s ohledem na plochu povodí 4,47 km<sup>2</sup> průtok menší než pětiletá povodeň (Q<sub>5</sub> = 7,0 m<sup>3</sup>/s).

V Zrcadlovém potoce byl průtok podstatně menší než v potoce Borová, ač při soutoku je jeho plocha povodí větší než potoka Borová (4,06 km<sup>2</sup>). V povodí Zrcadlového potoka byl úhrn srážky podstatně menší než v povodí potoka Borová (tabulka 1). Podle snímků z radaru byl na ploše povodí větší úhrn srážky 40–70 mm. V povodí potoka Borová byl nejméně na polovině plochy povodí úhrn srážky větší než 100 mm, tj. dvojnásobný, a ve zbývajících částech většinou 70–99 mm a jen na malé části úhrn 40–70 mm (tabulka 1).

V horní části potoka narůstal kulminační průtok s růstem plochy povodí. Odhadujeme,



Obr. 5. Hydrogramy povodňových vln v profilu mostku za povodně 19. srpna 2001

že před soutokem se Zrcadlovým potokem se zvětšil asi o 3 m<sup>3</sup>/s a **dosáhl asi 16 m<sup>3</sup>/s, což odpovídá stoleté vodě**. Pod soutokem se Zrcadlovým potokem dosáhl kulminační průtok asi 20 m<sup>3</sup>/s.

Další kulminační průtok jsme určili výpočtem průtoku mostkem pod silnicí Chvalšiny – Brloh (obr. 1). Mostek se za povodně neucpal. Voda se nepřelévala přes silnici a sahala asi 50 cm pod povrch vozovky.

Hydraulickými výpočty jsme ze změřených úrovní hladin stanovili **kulminační průtok** na hodnotu kolem **21,5 m<sup>3</sup>/s**. V úseku mezi ústím Zrcadlového potoka a mostkem, dlouhým v údolnici kolem 1 200 m, se průtok zvětšil o 1,5 m<sup>3</sup>/s.

### Vydatnost srážky a průběh odtoku

Radarové snímky přenesené na mapu nám dovolily stanovit **úhrn srážek v jednotlivých částech** povodí potoka Borová (tabulka 1). K jejich určování jsme použili mapu měřítka 1 : 10 000, ve které je možné poměrně přesně stanovit hranici povodí potoka i jeho částí.

Ze sklonu svahů a jejich pokryvu jsme určili rychlost stékání vody (rychlost odtoku) a z ní i dobu koncentrace. Tak jsme zjistili, že v profilu propustku nad obcí je kulminační průtok dosažen za 31 min od začátku deště, to znamená v čase 15:40 + 0:31 = 16:11 h. Hydraulickým výpočtem jsme zjistili, že kulminační průtok činil kolem 13,0 m<sup>3</sup>/s a intenzivní déšť podle radarových snímků trval 40 min. Z uvedených údajů jsme již mohli vykreslit hydrogram povodňové vlny. Poklesovou větev povodňové vlny jsme určili z poznatku získaného z videozáznamu, ze kterého jsme zjistili, že v 17:11 h činil průtok propustkem kolem 2 m<sup>3</sup>/s.

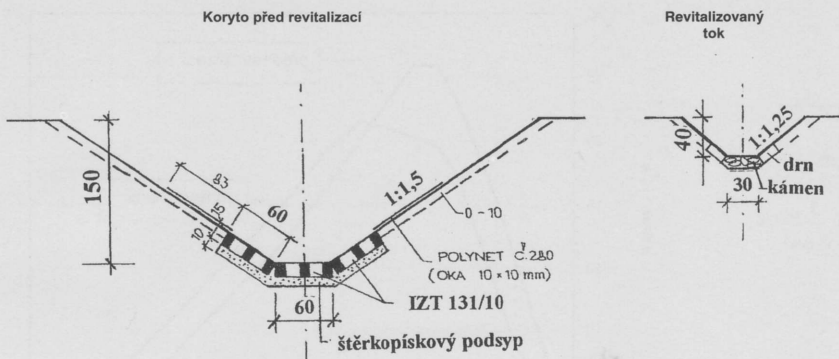
Stejným postupem jsme zkonstruovali hydrogram povodňové vlny před soutokem se Zrcadlovým potokem a v profilu ústí Zrcadlového potoka. Sečtením obou vln jsme získali hydrogram pod soutokem. Hydrogram povodňové vlny v profilu mostku jsme získali sečtením tohoto hydrogramu s hydrogramem podpovodí, při kterém jsme použili metodu izochron. Výsledný hydrogram ukazuje obr. 2.

Konstruování hydrogramu povodňové vlny pomocí izochron, tj. čar spojujících místa, ze kterých částičky deště potřebují stejný čas k tomu, aby dotekly do uzávěrového profilu, je časově náročné, ale metoda dovoluje detailně postihnout sklonitost povodí, druh pokryvu terénu, rozložení srážek, a proto je velmi přesná.

Zkonstruované hydrogramy jsme ověřovali porovnáním s výsledky pozorování a s výsledky měření, především úhrnu srážek a velikostí změřeného odtoku v limnigrafické stanici na Polečnici v Českém Krumlově. Postup řešení a detailní výsledky jsou uvedeny v práci „Matoušek, V., Havlík, A.: Vyhodnocení průběhu a následků bleskové povodně z 19. 8. 2001 na revitalizovaném potoce Borová“.

Tabulka 1. Průměrné úhrny srážek v jednotlivých částech povodí potoka Borová

Část povodí	Plocha km <sup>2</sup>	Průměrný úhrn srážek mm	Objem srážek tis. m <sup>3</sup>
Borová nad obcí k profilu propustku	2,55	116,2	296,4
od propustku k ústí Zrcadlového p.	1,51	77,6	118,0
Borová nad ústím Zrcadlového p.	4,06	102,1	414,4
Zrcadlový potok-ústí	4,47	64,2	287,0
Borová pod ústím Zrcadlového p.	8,53	82,2	701,4
od ústí Zrcadlového p. po mostek	2,40	73,5	176,4
Borová nad mostkem pod silnicí Chvalšiny – Brloh	10,93	80,3	877,8



Porovnání průtoků a rychlostí vody v obou korytech při sklonu dna 3 %

Hloubka m	Q m <sup>3</sup> /s	Rychlost vody m/s
0,5	1,80	2,67
1,0	7,40	3,53
1,1	10,27	4,14
1,2	12,51	4,34

Hloubka m	Q m <sup>3</sup> /s	Rychlost vody m/s
0,40	0,63	1,98
0,60	2,33	1,69
0,80	7,91	1,96
0,90	12,74	2,13

Obr. 6. Porovnání koryt a rychlostí vody v toku před a po revitalizaci

## Povodňové škody

Podrobná prohlídka toku po povodni ukázala, že povodňové **škody** v revitalizovaném úseku toku **jsou velmi malé**. Nad obcí byl v korytě **jeden krátký a mělký výmol** a za ním v délce asi 20 m zanesené koryto štěrskem z výmolu. Poškozeny nebyly skluzy ani hrázky tůní. Škody nebyly ani na okolních pozemcích.

**Pod obcí**, až na několik malých nátrží, nebylo koryto poškozeno vůbec. **Zničený** byly jen **dvě hrázky tůní** ve starém korytě pod ústím Zrcadlového potoka. Hrázky byly stejné konstrukce jako nad obcí. Nebyly opatřeny zvláštním opevněním, které by je chránilo do doby, než na nich a v jejich okolí vyrostle dostatečná vegetace, a proto se protrhly. Nedošlo k poškození skluzů ani zbývajících tří tůní v dolní části. Poškozeny nebyly ani pozemky.

Nepatrné škody na toku, který byl zasažen stouletou povodní, jsou překvapením a zaslouží si hlubší rozbor. **Koryta toků, zasažená stouletým i menším průtokem, bývají téměř vždy velmi poškozena nebo i zcela zničena**. Zvláště to platí u toků s velkým sklonem dna. Proto je otázkou, **proč k tomu nedošlo na revitalizované části potoka Borová**. Odpověď musíme hledat v rychlostních poměrech v korytě.

Koryto revitalizovaného potoka Borová je velmi malé a větší průtoky se vylévají z koryta a voda teče z velké části inundačním územím. To je v příčném směru poměrně ploché. Geodetické zaměření ukázalo, že nad obcí Borová se nejčastěji pohybuje ve sklonu 1 : 20. Směrem dále od toku se sklon svahů údolí pochopitelně zvětšuje. V místě pastviny je sklon svahů údolí na pravém břehu kolem 14 % a na levém kolem 11 %. V zalesněné části mají svahy sklon 20–25 %.

**Stoletá povodeň** nad obcí Borová proto **neprotékala jen korytem**, ale tekla územním pruhem o průměrné šířce kolem 20 m. Přitom hloubka vody byla velmi malá. Za kulminačního průtoku činila v korytě kolem 0,9 m a v inundačním území v průměru 0,25 m, jak ukazuje *tabulka 2*. *Tabulka 2* udává průtok v korytě  $Q_1$  a průtok v levobřežním

a pravobřežním inundačním územím  $2Q_2$ . Hloubka  $h_2$  je průměrná hloubka vody v inundačním území a  $h_1$  hloubka vody v korytě.

Při malé hloubce vody jsou malé i rychlosti vody. *Tabulka 3* sestavená z *tabulky 2* nám říká, že průřezová rychlost vody za průtokem 12,74 m<sup>3</sup>/s činí 2,13 m/s. Těto rychlosti dokázaly drny na svazích koryta a kameny ve dně odolat, stejně jako drn přilehlé pastviny.

Pod obcí Borová a zejména pod soutokem se Zrcadloovým potokem byl průtok výrazně větší a činil 20–21,5 m<sup>3</sup>/s. Přesto zde nebyly rychlosti vody větší, ale menší, jak ukazuje *tabulka 4*. Sklon údolnice je zde menší, jen 1,7 %, a inundační území je širší. Z *tabulky 4* vyplývá, že při průtoku kolem 21 m<sup>3</sup>/s byla hloubka vody v korytě kolem 1,03 m, v inundaci jen asi 0,22 m a průřezová rychlost vody činila jen 1,45 m/s. Voda se rozlila do pruhu šířky kolem 50 m.

I když extrémní povodeň přišla 3/4 roku po dokončení koryta, byl na jeho svazích již vysoký a dobře rozvinutý travní porost, který dal korytu vysokou stabilitu. Rychlému rozvoji travního porostu významně pomohlo odnovení paty svahů koryta.

**Výmol** v korytě **nad obcí** se nacházel 250 m nad propustkem. V tomto místě je velký sklon údolnice (asi 4,7 %) a inundační území je velmi úzké, a neplatí proto údaje z *tabulky 2* a 3. Výrazné zúžení inundačního území vyvolalo vyšší hloubku vody v korytě, a tím větší rychlost vody. Ke zvýšení rychlosti přispěl i zvýšený sklon dna koryta.

Velká rychlost vody v korytě způsobila vymílání jeho dna. Hloubka vystoupila asi na 1,3 m a voda dosáhla rychlosti kolem 3,5 m/s. Vymílání se odehrávalo ve velmi krátkém úseku. Výmol byl dlouhý asi 10 m a dno se zahloubilo nejvýše o 0,5 m.

Za výmolem se inundační území výrazně rozšiřuje, snižuje se i sklon údolnice na 2,9 % a rychlost vody se za povodně podstatně snížila. Výsledkem bylo ukládání unášeného materiálu z výmolu. Koryto bylo zaneseno v délce asi 20 m.

Staré koryto se při revitalizaci většinou nezaspávalo a využilo se k vytvoření tůní. Tůně vznikly rozšířením starého koryta a jeho přehrazením zeminými hrázkami. Za povodně voda protékala i těmito tůněmi a přelévala se přes hrázky. Hrázky dokázaly ochránit vegetaci tůní a nedošlo k jejich poškození.

To platí o hrázkách nad obcí, které byly vybudovány již v roce 1998. Pod obcí byly vybudovány v říjnu 2000 a přelévání vody nevydržely. Za čtyři vegetační měsíce se nemohl vytvořit dostatečně odolný vegetační kryt. K jejich protržení přispěla i velká koncentrace průtoku z inundačního území. Přes hrázky přecházel hlavní inundační proud.

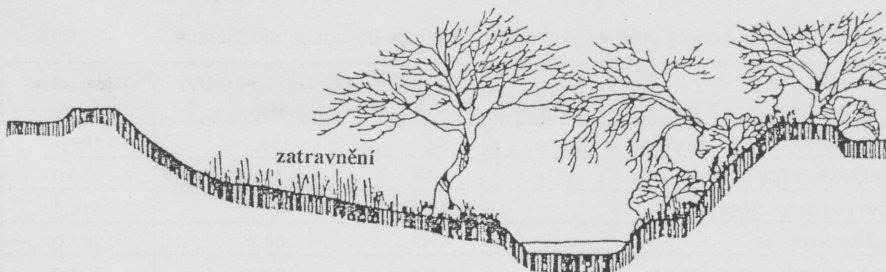
Na malém korytě revitalizovaného toku byly škody nepatrné, ale **na velkém korytě** pod revitalizovaným úsekem **byly škody velké**, ač tam byla jen padesátiletá povodeň. Revitalizovaný úsek toku končí ve vstupním profilu mostku pod silnicí Chvalšiny – Brloh a v jeho vstupním profilu začíná obtokový kanál ekologické nádrže (*obr. 1*), dimenzovaný na stouletou vodu.

V údolí potoka Borová byla v letech 1991 a 1992 postavena malá nádrž, nazývaná ekologická, a potok ji obchází obtokovým kanálem. Z prováděcího projektu ekologické nádrže a obtokového kanálu vyplývá, že s ohledem na to, že nádrž nemá bezpečnostní zařízení na převádění velkých vod (bezpečnostní přeliv), bylo koryto obtokového kanálu navrženo na průtok  $Q_{100}$ , který projekt uvažuje hodnotou 30 m<sup>3</sup>/s.

## Upravené koryto s nevhodným příčným profilem a opevněním



## Doporučovaný příčný profil stejné průtočné kapacity



Obr. 7. Náhrada nevhodného koryta korytem, které snižuje rychlost odtoku a zachovává přírodní prostředí



**Pobřežní hráz obtokového kanálu se přelila a protrhla.** Byl také zcela demolován spodní úsek kanálu, ve kterém byl skluz a vývar. Přelila se zemní hráz ekologické nádrže, která však naštěstí přelítí přestála.

Na objektech podél potoka Borová byly největší škody přímo v obci Borová. Vylití vody z koryta způsobily málo kapacitní trubní propustky. Voda zatopila zahrady a stavební objekty, které zasahují až na břeh toku a jsou v inundačním území.

### Průběh povodně před revitalizací

Před revitalizací je popisovaná povodeň probíhala zcela jinak. **Veškerá voda by se soustředila do koryta a dosáhla by extrémní rychlosti.** Koryto před revitalizací ukazuje obr. 4. Nad obcí měl kanál průměrný sklon 3,5 % a jeho hydraulické parametry udává **tabulka 5**. **Ta prozrazuje velkou kapacitu koryta a velké rychlosti vody** za větších průtoků.

Koryto nad obcí mělo hloubku 1,3–1,4 m a již při hloubce 1,2 m převádělo průtok 12,5 m<sup>3</sup>/s, jak ukazuje **tabulka 5**. Při hloubce 1,4 m převádělo průtok 18,1 m<sup>3</sup>/s a to je průtok výrazně větší než kulminační průtok za stoleté povodně. Za průtok 13,0 m<sup>3</sup>/s, což je zjištěný kulminační průtok v profilu propustky nad obcí, by podle **tabulky 5** byla rychlost vody 4,4 m/s. Této rychlosti je dosaženo za průměrného sklonu dna, vyskytovaly se však i mnohem větší sklon.

Ve staničení km 0,0–2,0 bylo koryto tvarově stejné. Jiné bylo jen opevnění spodní části svahů koryta. Pod obcí Borová mělo koryto menší sklon než nad obcí. Malý sklon byl těsně pod obcí ( $l = 0,0074$ , tj. 0,74 %) a pak před mostkem pod silnicí Chvalšiny – Brloh. Průměrný sklon dna v úseku mezi ústím Zrcadlového potoka a mostkem pod silnicí Chvalšiny – Brloh činil 1,75 %.

Průběh odtoku za povodně jsme pro nerevitalizovaný tok zjišťovali stejným způsobem jako v případě revitalizovaného potoka. Stejnou metodou a s použitím stejných dat (velikost srážky, rychlosti stékání) jsme ve stejných profilech zkonstruovali hydrogramy povodňové vlny. Jiná byla jen rychlost vody v toku. Větší rychlost vody v toku způsobila, že průtok vody se za povodně zvyšoval rychleji a kulminační průtok byl větší. Rozdíl mezi hydrogramy se zvětšoval v závislosti na délce toku a největší byl v profilu mostku. **Rozdíl mezi hydrogramy ukazuje obr. 5.**

Povodňová vlna na nerevitalizovaném potoce má velmi strmou vzestupnou větev, což se prakticky projevuje rychlým příchodem povodně a rychlým vzestupem hladiny vody. Dochází k rychlému soustředování průtoků a kulminační průtok je zákonitě větší. Za situace 19. srpna 2001 by v **profilu mostku nebyl kulminační průtok 21,5 m<sup>3</sup>/s, ale 26 m<sup>3</sup>/s.** To je výrazné zvýšení průtoků, které by se projevilo i ve škodlivém působení povodně.

Povodňová vlna pro nerevitalizovaný potok Borová má stejný objem jako vlna, která skutečně proběhla. Její tvar a velikost vzešly z velmi podrobného šetření pomocí metody izochron.

**Porovnání obou hydrogramů názorně ukazuje, co přináší snížení rychlosti vody v toku v tvarování povodňové vlny a zmenšení kulminačního průtoků.**

### Předpokládané povodňové škody před revitalizací

Tvar, velikost a opevnění koryta před revitalizací ukazuje obr. 4. Nad obcí mělo koryto průměrný sklon 3,5 % a rychlosti vody v závislosti na průtoku či hloubce udává **tabulka 5**. Již za průtok 8 m<sup>3</sup>/s překračuje rychlost vody 3,5 m/s a takové rychlosti již nemůže opevnění koryta uvedené na obr. 4 vzdorovat a musí dojít k jeho narušení. Koryto nemělo jednotný sklon a jeho velikost rozhoduje o rychlosti vody, a tím o místě, kde dojde k rozrušení koryta nejdříve.

**Nad obcí byl nejnebezpečnějším místem úsek ve staničení km 2,594–2,645, kde byl sklon 4,7 %.** Místo je 236 m nad propustkem

**Tabulka 2.** Průtoky a rychlosti vody v korytě a inundačním území nad obcí v závislosti na hloubce, sklon  $l = 0,030$ ; stupeň drsnosti koryta  $n_1 = 0,030$ , inundace  $n_2 = 0,035$

$h_1$ m	$S_1$ m <sup>2</sup>	$O_1$ m	$R_1$ m	$C_1$ m <sup>0,167</sup>	$v_1$ m/s	$Q_1$	$h_2$ m	$S_2$ m <sup>2</sup>	$O_2$ m	$R_2$ m	$C_2$ m <sup>0,167</sup>	$v_2$ m/s	$Q_2$	$Q_1 + 2Q_2$
0,40	0,32	1,58	0,20	25,54	1,98	0,63								0,63
0,60	0,58	1,98	0,29	27,16	2,53	1,47	0,10	0,40	4,0	0,10	19,46	1,07	0,43	2,33
0,80	0,84	2,38	0,35	27,98	2,87	2,41	0,20	1,60	8,01	0,20	22,20	1,72	2,75	7,91
0,85	0,91	2,48	0,367	28,20	2,96	2,69	0,23	2,03	9,01	0,23	22,36	1,86	3,77	10,23
0,90	0,97	2,58	0,376	28,32	3,01	2,92	0,25	2,50	10,01	0,25	22,68	1,96	4,9	12,74
1,00	1,10	2,78	0,40	28,56	3,13	3,44	0,30	3,60	12,01	0,30	23,38	2,22	7,98	19,41

a je to místo, kde jsme zaznamenali jediný výmol na revitalizovaném toku. Výše na toku byly ještě větší sklon, ale za povodně jsou tam s ohledem na menší plochu povodí menší průtoky.

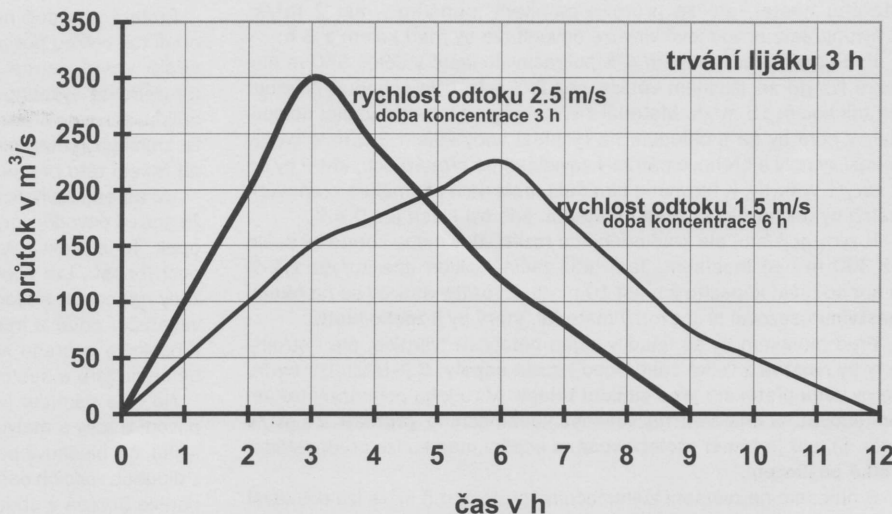
V uvedeném úseku by za povodně, která se vyskytla 19. srpna 2001, **byla průřezová rychlost vody až 4,9 m/s.** Vymílání dna by začalo za průtoku kolem 6 m<sup>3</sup>/s a **vznikl by výmol, jenž by byl mnohem větší než ten, který se vyskytl na korytě revitalizovaného potoka.** Výmol by se tvořil podstatně déle a za podstatně větší rychlosti vody.

Betonové desky a tvárnice, ale i stromy by byly unášeny korytem a **ucpal by se propustek.** Voda by před propustkem musela vystoupit z koryta, ale za propustkem by se do něho znovu vracela. Voda navracující se do koryta způsobuje téměř vždy velké výmoly a rozrušení terénu a koryta.

Při vylití vody z koryta by došlo ke zmenšení rychlosti vody a část unášeného materiálu by se usadila na cestě a pastvině kolem propustky. Vznikla by **škoda nejen na korytě, ale i na přilehlých pozemcích.**

**Větší škody by byly i v obci Borová.** Téměř s určitostí lze předpokládat upcání trubních propustek, a proto i podstatně vyšší hladinu vody a větší průtok inundačním územím.

Obdobně by probíhala povodeň i **pod obcí Borová.** I když je tam sklon údolí, a tím i sklon dna koryta menší, lze očekávat velké poškození koryta. S určitostí by se vytvořil **velký výmol asi 80 m pod ústím**



**Obr. 8.** Vliv rychlosti odtoku na tvar povodňové vlny

**Tabulka 3.** Průřezové rychlosti vody nad obcí

Hloubka v korytě v m	Průměrná hloubka v inundačním území	Průtočná plocha	Průtok vody v m <sup>3</sup> /s	Průřezová rychlost vody v m/s
0,40	0	0,32	0,63	1,98
0,60	0,10	1,38	2,33	1,69
0,80	0,20	4,04	7,91	1,96
0,85	0,225	4,97	10,23	2,06
0,90	0,25	5,97	12,74	2,13

**Tabulka 4.** Průřezové rychlosti vody pod obcí

Hloubka v korytě v m	Průměrná hloubka v inundačním území	Průtočná plocha	Průtok v m <sup>3</sup> /s	Průřezová rychlost v m/s
0,60	0	0,90	1,40	1,56
0,70	0,05	1,79	2,32	1,30
0,80	0,10	3,98	4,68	1,12
0,90	0,15	7,47	9,39	1,26
1,00	0,20	12,26	17,06	1,39
1,10	0,25	18,35	28,52	1,55

**Tabulka 5.** Průtoky a rychlosti vody v korytě nad obcí v závislosti na hloubce vody, sklon  $l = 0,035$ , stupeň drsnosti  $n = 0,030$

Hloubka vody m	Průtočná plocha m <sup>2</sup>	Omočený obvod m	Hydraulický poloměr m	Chézyho součinitel m <sup>0,166</sup>	Rychlost vody m/s	Průtok vody m <sup>3</sup> /s
0,5	0,675	2,40	0,28	26,97	2,67	1,80
1,0	2,10	4,20	0,50	29,69	3,53	7,40
1,1	2,48	4,57	0,54	30,11	4,14	10,27
1,2	2,88	4,93	0,58	30,48	4,34	12,51
1,4	3,78	5,65	0,67	31,18	4,77	18,05

**Tabulka 6.** Průtoky a rychlosti vody v km 1,101–1,151 (pod ústím Zrcadlového potoka) v závislosti na hloubce, sklon  $l = 0,0400$ ,  $n = 0,030$

Hloubka vody m	Průtočná plocha m <sup>2</sup>	Omočený obvod m	Hydraulický poloměr m	Chézyho součinitel m <sup>0,166</sup>	Rychlost vody m/s	Průtok vody m <sup>3</sup> /s
0,5	0,675	2,40	0,28	26,97	2,85	1,93
1,0	2,10	4,20	0,50	29,69	4,20	8,82
1,2	2,88	4,93	0,58	30,48	4,64	13,36
1,4	3,78	5,65	0,67	31,18	5,10	19,29
1,6	4,80	6,37	0,75	31,80	5,51	26,44

**Zrcadlového potoka**, neboť 67 m pod ním začínal 50 m dlouhý úsek se sklonem dna 4,0 %. Koryto tam bylo hluboké 1,6 m a jak ukazuje *tabulka 6*, mělo kapacitu větší než 20 m<sup>3</sup>/s a pojalo by i kulminační povodňový průtok z 19. 8. 2001. **Rychlost vody** by tam dosáhla **neuvěřitelných 5,1 m/s**.

Za takové rychlosti dochází zákonitě k poškození koryta i s mnohem těžším opevněním, než jaké ukazuje *obr. 4*. Během povodně by se zde tvořil velký výmol, který by byl ještě rozměrnější než nad obcí. Výmol by se začal tvořit již za průtokem kolem 7 m<sup>3</sup>/s, kdy voda již dosahuje rychlosti téměř 4 m/s (*tabulka 6*). Velikost výmolu závisí na době trvání průtoku, za kterého se tvoří. Tato doba by byla poměrně dlouhá. Růst výmolu by neskončil poklesem průtoku na 7 m<sup>3</sup>/s, za kterého nastal, ale za průtoku mnohem menšího – asi 2 m<sup>3</sup>/s. Z hydrogramu povodňové vlny lze odvodit, že by rostl kolem 1,5 h.

Pod úsekem se sklonem 4 % pokračovalo ještě v délce 550 m hluboké koryto se sklonem větším než 2 % a to bylo schopné pojmout průtok kolem 15 m<sup>3</sup>/s. Materiál z výmolu by se v tomto úseku neukládal. V něm by se s ohledem na rychlost vody kolem 3,5 m/s tvořily menší výmoly a břehové nátrže v závislosti na překážkách, které by se v korytě vyskytly. K hlavnímu **ukládání materiálu** z výmolů a břehových nátrží by docházelo **až před mostkem**, kde byl sklon jen 0,4 %.

K výraznějšímu, ale krátkodobému **rozlítí** vody mimo koryto by došlo již 300 m nad mostkem. Tam totiž začínal sklon dna koryta 1,1 % a koryto mělo kapacitu jen asi 10 m<sup>3</sup>/s. Z rozlité vody by se na **okolní pastvinu** usazoval hrubozrnný materiál, který by ji **znehodnotil**.

Před mostkem by se usadily nejen betonové tvárnice, ale i stromy a ty by **mostek** z velké části nebo i zcela **ucpaly**. S jistotou lze tvrdit, že by **voda přetékala přes silniční těleso**. Míru jeho poškození lze jen odhadovat. S ohledem na velikost kulminačního **průtoku 26 m<sup>3</sup>/s** (*obr. 5*), což je **téměř stoletá voda**, a ucpání mostku lze předpokládat **velké poškození**.

S ohledem na zvětšení kulminačního průtoku o 5 m<sup>3</sup>/s lze očekávat i **větší poškození obtokového kanálu** a především je dosti pravděpodobné **protržení hráze ekologické nádrže**.

## Přínos revitalizace pro průběh a následky povodně

Vliv revitalizace potoka na průběh a následky povodně získáme porovnáním hydrogramů povodňové vlny a povodňových škod po a před revitalizací. Uvedené výsledky provedeného rozboru jednoznačně prokazují, že **revitalizací potoka Borová se snížil kulminační průtok** povodně a **podstatně se omezily povodňové škody**.

Snížení kulminačního průtoku a zmírnění průběhu povodně názorně ukazuje *obr. 5*. Kdyby se revitalizace nerealizovala, byl by za povodně 19. srpna 2001 kulminační průtok v profilu mostku pod silnicí Chvalšiny – Brloh asi 26 m<sup>3</sup>/s a ne 21,5 m<sup>3</sup>/s. **Snížení kulminačního průtoku o téměř 20 % je významné**.

Hydrogramy obou povodňových vln na *obr. 5* jsou stanoveny s velmi dobrou přesností, a proto můžeme tvrdit, že se nám podařilo **na konkrétním případě názorně prokázat, že revitalizace potoka, pokud je správně navržena a realizována, snižuje významně kulminační průtok** povodně.

**Největším překvapením** je zjištění, že **stoletá povodeň** na potoce Borová **nezpůsobila téměř žádné škody** na korytě a okolních pozemcích. Přitom údolí má poměrně velký sklon a v takových případech jsou velké povodňové škody na korytě toku a okolních pozemcích samozřejmostí.

Koryto poškozuje rychle tekoucí voda. Proto jsme se detailně věnovali rychlostním poměrům v korytě toku, a to jak po revitalizaci, tak před ní. **Revitalizovaný potok Borová má malé koryto a povodňový průtok procházel především inundačním územím**. Při malé hloubce vody je i malá rychlost vody, a proto nedochází k poškození koryta ani travnatých pozemků. Koryto revitalizovaného potoka bylo poškozeno jen v jednom místě, kde se voda nemohla dost široce rozlít.

Pravým opakem bylo **koryto před revitalizací**. Potok Borová před revitalizací byl v podstatě meliorační kanál, který vznikl při odvodňování okolních pozemků v letech 1981–1982. Měl hluboké lichoběžníkové koryto a přímou trasu proloženou jen několika mírnými oblouky. Výpočty ukázaly, že nad obcí mělo koryto **kapacitu větší než stoletý průtok**. Obdobně to bylo i v některých úsecích pod obcí. Pak je samozřejmé, že **stoletá povodeň je soustředěna do koryta, voda dostává extrémní rychlost a níží koryto a přilehlé pozemky**. Názorně porovnání obou koryt a rychlostí vody v nich přináší

*obr. 6*. Obě koryta jsou vykreslena ve stejném měřítku, a tak vynikne neúčelně velké či správněji škodlivě velké koryto melioračního kanálu. Velikost koryta se zdůvodňuje potřebou odvádět vodu z odvodňovacího systému. V této souvislosti je účelné připomenout, že revitalizace nenarušila odvodňovací systém a odvodnění zůstalo plně funkční.

Je zcela nesporné, že nerevitalizované koryto by bylo po průchodu povodně z 19. srpna 2001 značně devastováno. Škody na korytě a pozemcích by byly jistě větší, než byly náklady na revitalizaci. Z toho lze odvodit mimořádně velkou ekonomickou rentabilitu revitalizace potoka Borová. **Stavba se společností zaplatila ještě před jejím skončením**.

## Závěr

Stoletá povodeň na potoce Borová je s největší pravděpodobností první tak velkou povodní na revitalizovaném toku. Její vyhodnocení přineslo velmi cenné poznatky, které je účelné dále prohlubovat a rozšiřovat vyhodnocováním dalších případů. Pozornosti by neměly unikát ani nerevitalizované zemědělské potoky. Přesvědčili jsme se, že snímky z meteorologických radarů mohou jako nový zdroj informací při řešení této problematiky významně pomoci.

Na adresu revitalizace toků zaznívají mnohdy od odborníků námitky, že snižují povodňovou ochranu, a zde na výsledcích dokladujeme pravý opak. To je překvapivé a výsledky mohou u některých čtenářů vyvolat pochybnosti. Lze očekávat námitku: „Tak pozitivní výsledky byly dosaženy náhodnou shodou velmi příznivých podmínek. Povodeň přišla ve vegetační době a tráva na svazích koryta a v jeho okolí byla vysoká a poskytla ochranu korytu i okolním pozemkům. Kdyby povodeň proběhla na jaře a místo pastvin byly pole, vše by bylo jinak.“

Na tuto námitku je jednoznačná **odpověď**. Potok Borová má malé povodňové toky s malým povodňovým ohrožením z přívalových dešťů, lijáků, čili bleskové povodně. Na takových povodních nevznikají povodně z dlouhotrvajících dešťů nebo z tání sněhu doprovázeného deštěm. Na potoce Borová a obecně **na tocích s malým povodňovým vznikem stoletá, či obecně extrémní povodeň jen z přívalového deště**. Přívalové deště **se vyskytují jen od května do září** a v tomto období je travní porost vždy bohatý.

Kdyby byla kolem potoka Borová pole po sklizni, projevila by se na nich škodlivě eroze a pozemky by byly značně poškozené. Ale **v inundačních územích s větším sklonem by neměla být pole**, či lépe nesmějí být pole. Pole by neměla být ani na strmějších svazích mimo inundační území. V ochraně před povodněmi musí platit základní zásada: Opatření se nesmějí omezit jen na vlastní tok, ale musí postihnout celé povodňové území. Přitom se uplatňují zásady a opatření, jak je známe z ochrany před erozí a z hrazení bystřin a strží.

Na druhé straně musíme přiznat, že **námitka o snižování povodňové ochrany revitalizací je mnohdy pravdivá**. To tehdy, když při revitalizaci opomíjíme zachovat účel úpravy toku. **Kapacitě toku můžeme snížit jen tam, kde je neúčelná a mnohdy i škodlivá**. Nesmějí ji snížit tam, kde velkou kapacitu koryta vyžaduje ochrana území před povodněmi.

Koryta, u kterých se vyžaduje z důvodů povodňové ochrany velká kapacita, se často navrhují jako hladká, aby byl jejich profil co nejmenší. Tak vznikají koryta, jaká vidíme v horní části *obr. 7*, která jsou zcela nevhodná a měla by se, pokud to dovolují územní podmínky, revitalizovat. Jak taková koryta revitalizovat ukazuje spodní část *obr. 7*. Průtočnou kapacitu zachováme tím, že zvětšíme průtočnou plochu a zvětšením drsnosti koryta dosáhneme snížení rychlosti vody.

Výsledky z Borové přináší **dva základní poznatky:**

1. Při odvodňování pozemků se malé potoky přeměnily na hluboké kanály, které zvětšují povodňové průtoky, zrychlují nástup a průběh celé povodně a za velkých a extrémních průtoků zvětšují povodňové škody.

2. Vhodnou revitalizací těchto kanálů lze negativní dopady odstranit a přitom zachovat funkčnost odvodnění.

Potok Borová představoval před revitalizací **typický zemědělský tok upravený při odvodňování** okolních pozemků. Tvar, velikost a opevnění těchto koryt jsou ve všech případech stejná. Pro odvodnění se potřebuje hloubka kolem 1,4 m, a tak zákonitě vznikala koryta této hloubky. Tam, **kde je větší sklon údolí, máme dnes mimořádně kapacitní koryta s velkou rychlostí vody.** Tato koryta **zrychlují odtok, zvětšují kulminační průtoky** a za extrémních povodní **hrozí jejich rozsáhlé poškození, včetně poškození přilehlých pozemků a objektů.**

V případě potoka Borová bylo extrémní srážkou zasaženo velmi malé povodí a tok upravený při odvodnění do typické podoby byl krátký. Přesto jsme prokázali výrazné zvýšení kulminačního průtoku (*obr. 5*) a velký rozdíl v povodňových škodách. V případě většího povodí a delšího toku velikosti melioračního kanálu jsou rozdíly v povodňových vlnách i škodách podstatně větší. Rozdíly v kulminačních průtocích a tvaru povodňové vlny lze jednoznačně prokázat. Při stejné velikosti srážky a ploše povodí rozhoduje o tvaru povodňové vlny a velikosti kulminačního průtoku rychlost odtoku (rychlost stékání vody po terénu), která je rozhodujícím způsobem ovlivněna rychlostí vody v toku. Jakou změnu ve tvaru povodňové vlny způsobuje snížení rychlosti odtoku na větší povodí ukazuje *obr. 8*.

V posledních letech se vyskytly bleskové povodně s překvapivě velkým kulminačním průtokem a rozsáhlými škodami. Je velmi pravděpodobné, že na velikosti kulminačního průtoku měly právě vliv toky s velkou kapacitou a rychlostí vody.

Při rozsáhlém odvodňování pozemků v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století vznikly ve svažitých územích extrémně kapacitní toky s velkou rychlostí vody, které zvětšují povodňové nebezpečí a povodňové škody. Jejich revitalizací lze tomuto nebezpečí a riziku čelit. Proto bychom měli jejich revitalizaci pojímat jako ochranu před povodněmi a přistoupit k systematickému či programovému řešení tohoto problému. Takové řešení je pro stát průkazně velmi rentabilní.

Ing. Václav Matoušek, DrSc.  
VÚV T.G.M. Praha  
tel. 220 197 382

#### Key words

flash flood, flood wave hydrograph, stream restoration, flood damage

A 'Centennial' Flood on a Restored Stream (Matoušek, V.)

**A 'centennial' flood causes great damage. This may not be the case of a well-restored stream as shown by the article. By restoring the stream the water velocity could be reduced and changes in the flood wave hydrogram achieved. These effects are demonstrated by Fig. 5 and 6.**

## WASSER und GAS Berlin 2003

V současné době nemají téměř dvě miliardy lidí přístup k čisté vodě, tři miliardy prakticky existují bez sanitárních zařízení a do roku 2025 pravděpodobně bude mít 17 zemí velké problémy s vodou, neboť budou chybět zdroje. Předpokládá se, že v příštích 10 letech si oblast vodního hospodářství vyžádá investice, které budou představovat více než 750 mld. Euro. Tato čísla ukazují, proč je třeba této oblasti věnovat zvýšenou pozornost. Jednou z cest je mj. i konání různých odborných akcí, konferencí a veletrhů.

Každé tři roky se koná v Berlíně mezinárodní odborný veletrh a kongres zaměřený na vodu a v posledních dvou ročnících byl též propojen s odborným veletrhem specializovaným na plyn. O připravovaném veletrhu informovali na tiskové konferenci pořádané Česko-německou obchodní a průmyslovou komorou zástupci organizátorů celé akce – Cornelia Wolff von der Sahl (vedoucí projektu WASSER und GAS Berlin), Arndt Böhme (jednatel svazu Wasser Berlin) a Christian Wagner z tiskového střediska projektu.

O rozsahu veletrhu svědčí čísla z roku 2000, kdy se zúčastnilo 674 vystavovatelů z 24 zemí a výstavní plochy v rozsahu 32 500 m<sup>2</sup> prošlo téměř 25 000 odborných návštěvníků z 60 zemí. Zajímavé je, že 44 % odborných návštěvníků bylo ze střední a východní Evropy (bez SRN) a to je také geografický prostor, na který se berlínský veletrh chce především zaměřit. Souběžný kongres měl 5 000 účastníků a zaznělo na něm 350 přednášek.

Připravovaný ročník veletrhu, který se uskuteční ve dnech 7.–11. dubna 2003, bude mít k dispozici ještě daleko větší výstavní plochu – téměř 160 000 m<sup>2</sup> v šesti halách (z toho jedna pro plyn) a dále 100 000 m<sup>2</sup> na volném prostranství. Hlavními tématy veletrhu jsou získávání vody, úprava a distribuce vody, odpadní vody, měřiči, regulační a analytická technika, armatury, informační a komunikační technologie v oboru aj.

Doprovodný kongres, jenž oslaví již 40 let svého trvání, se zaměřuje na aktuální témata, která budou mít dalekosáhlé dopady nejen na zásobování vodou a čištění odpadních vod. Patří k nim např.:

- rámcová směrnice EU o vodní politice a její implementace,
- řízení oblastí povodí,
- systémy pro pomoc při rozhodování v zájmu trvale udržitelného hospodářství,
- digitální výměna dat v distribučních podnicích i v ČOV,
- nové technologie při budování rozvodných sítí,
- látky obsažené ve vodě a látky používané při úpravě vod,
- „výzkum pro budoucnost“ v Evropě a USA.

S kongresem souvisí i konání několika významných mezinárodních konferencí zaměřujících se na kvalitu pitné vody, využití ozonu při úpravě vody, výstavbu studní, armatury a aktuálně bylo zařazeno i sympozium o dopadech letošních povodní.

Podrobnější informace lze získat také na adrese [www.wasser-berlin.de](http://www.wasser-berlin.de), která je nejen informační, ale také komunikační platformou mezi vystavovateli a návštěvníky.

Česko-německá obchodní a hospodářská komora připravuje společný stánek českých vystavovatelů a pro skupiny odborných návštěvníků i dotované autobusy; zájemci se na ni mohou obrátit.

Josef Smrček

## Sborník 10. magdeburského semináře o ochraně vod

Ve dnech 22.–26. října proběhl ve Špindlerově Mlýně 10. ročník magdeburského semináře o ochraně vod, na kterém se setkávají čeští a němečtí odborníci zabývající se především problematikou kvality vody v povodí Labe. Na přípravě tohoto semináře se také významně podílel Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v jehož působnosti bylo vydání českého sborníku ze semináře.

Sborník obsahuje 136 příspěvků, jež jsou rozděleny do 10 okruhů. Z tohoto počtu je 52 referátů českých a 1 slovenský. V každé kapitole jsou nejprve uvedeny přednášky v pořadí, jak zazněly na semináři, následují abstrakta posterových sdělení.

V prvním okruhu Analytika látek se specifickými účinky je obsaženo 13 příspěvků, které se zabývají např. organickými kontaminanty i anorganickými škodlivinami, riziky v analytice životního prostředí a dalšími okruhy problémů.

Kapitola Škodliviny a jejich účinky zahrnuje 22 referátů zaměřujících se na antropogenní tlaky na říční ekosystém, transport škodlivin, zatížení sedimentů, specifické polutanty aj.

Třetí část věnovaná Rámcové směrnici EU o vodní politice a managementu povodí má 19 článků a soustřeďuje se např. na informační systém o Labi, systém EUROCAT, problematiku managementu povodí a mnohé jiné otázky.

Čtvrtý okruh Zatížení vod a revitalizace obsahuje 20 příspěvků, z nichž některé se zabývají vývojem znečištění vodních toků a jejich revitalizací, zatížením plavenin a sedimentů apod.

Kapitola Ekologické hodnocení a indikace se v 16 referátech soustřeďuje na indikaci ekologických změn, přírodní a antropogenní faktory ovlivňující akvatické biotopy aj.

Šestý okruh se zaměřuje na Plavební podmínky na Labi a jeho přítocích a obsahuje 10 příspěvků. Materiály se soustřeďují na plavební podmínky na Labi a jejich vliv na řeku i na ekologické dopady různých způsobů zástavby na řekách apod.

Další část Antropogenní změny a jejich účinky přináší 11 referátů, jejichž námětem jsou např. klimaticky podmíněné změny hydrologického režimu, povodňové modely či protipovodňová opatření.

Osmá kapitola Ochrana vod ve venkovských oblastech se ve 12 příspěvcích zaměřuje na vliv zemědělství na jakost vod, včetně vlivu diferencovaného obhospodařování zemědělských ploch a difúzních vnosů živin.

Devátý okruh Těžba a vodstvo přináší 8 článků s tematikou vlivu těžby na změny vodních ploch, sanace vodního režimu v uhelných revírech či důsledků důlních havárií.

Poslední část Ryby jako indikátory ekologické kvality obsahuje pouze 5 příspěvků, které se soustřeďují především na možnosti migrace ryb v Labi a zprůchodnění toku z tohoto hlediska.

V závěru sborníku je zařazen rejstřík s kontakty na všech 284 autorů. Sborník obdrželi účastníci semináře a je k nahlédnutí i ve VÚV T.G.M.

redakce

# Mezinárodní konference o povodních

Šárka Blažková

## Klíčová slova

odhad povodňových průtoků, neurčitost, modelování

## Souhrn

**Příspěvek přináší informace o přístupech uplatňovaných v zemích, jimiž protéká Rýn, při hodnocení povodní a o novém vývoji metod souvisejících s touto problematikou v Evropě.**

Ve dnech 6. až 8. března 2002 se v Bernu konala Mezinárodní konference o povodních (International conference on Flood Estimation). Byla rozdělena do pěti témat:

(1) Metody měření za povodní; (2) Analýza procesů jako základ modelování; (3) Statistika extrémních hodnot; (4) Modelování a regionalizace povodní; (5) Nástin projektu Mezinárodní komise pro hydrologii Rýna a nový švýcarský postup pro hydrologickou praxi.

Perrin a Michel (Francie) v příspěvku *Robustness of two flood estimation methods with data availability (Robustnost dvou metod odhadu povodňových průtoků a dostupnost dat)* popisují ověření simulátoru deště ve spojení se srážko-odtokovým modelem asi na 30 povodích v USA a ve Francii, pro něž jsou k dispozici dlouhé řady srážko-odtokových dat.

Scherrer (Švýcarsko) informoval v příspěvku *A procedure for the identification of dominant runoff processes by field investigations to delineate the relevant contributing areas for flood modelling (Postup pro identifikaci dominantních odtokových procesů terénním průzkumem k ohraničení ploch přispívajících k povodňovému odtoku)* o příručce vyvinuté pro správu Rheinland-Pfalz v Německu, která dává návod k využití skutečné znalosti odtokového procesu a terénních průzkumů přinášejících relevantní informace o geologii, půdách, geomorfologii a vegetaci. Práce je založena na výsledcích intenzivních terénních prací s použitím skrápěcích experimentů o velkých intenzitách (55 až 100 mm/h) na přirozených svahových odtokových ploškách o velikosti 60 m<sup>2</sup>. Dominantní odtokové procesy byly zmapovány na více než 30 povodích o velikosti mezi 1 a 250 km<sup>2</sup> za účelem zjištění ploch, které přispívají k povodňovému odtoku, a za účelem určení velikosti povodňových průtoků.

Kuntner a Burlando (Švýcarsko) přednesli příspěvek *Engineering oriented method to model the spatial distribution of runoff generation in*

## Srážko-odtokové modelování



## Regionální metody



**Obr. 1.** Údaje o nárocích při použití modelu a o kvalitě výsledků (z německé části zprávy [1]). Čím je stínovaná plocha ve směru příslušné osy širší, tím vyšší je nárok na prostředky nebo kvalita výsledků. Výjimkou je osa označená N-letost. Vyšší hodnota znamená, že touto metodou jsou odhadovány maximální průtoky až do hodnoty maximálních pozorovaných povodňových průtoků, střední hodnota znamená, že touto metodou jsou odhadovány průtoky o době opakování 100 let. (Poznámka autorky: Toto schéma nebere zřetelně v úvahu možnosti kontinuální simulace s dlouhou syntetickou srážkovou řadou jako vstupem, což umožňuje odhadnout průtoky o době opakování nejen 100 let, ale i delší; srov. příklady v textu. V tom případě osa N-letost není výjimkou, ale vyšší hodnota znamená vyšší kvalitu řešení i po této stránce.)

Zpráva Mezinárodní komise pro hydrologii Rýna ([1] v němčině, s anglickým a francouzským resumé) přináší přehled a zhodnocení metod povodňových odhadů, které se v současné době používají. Diskutuje vztah mezi kvalitou výsledků jednotlivých metod a jejich nároky na čas, finanční prostředky a zdroje dat (obr. 1 a 2). Ve švýcarské části zprávy je prezentován přístup založený na rozptylu (různosti, rozpětí) hodnot několika jednoduchých modelů. Obrázek 3 ukazuje odhad 100leté povodně šesti jednoduchými regionálními modely ve srovnání se dvěma odhady extrémní povodně, založenými na pozorovaných datech (obalové křivky). V jednom případě test ukazuje dobrou shodu, ve druhém případě je zřejmá potřeba dalšího výzkumu. Sborník z konference (v angličtině) bude k dispozici v knihovně VÚV.

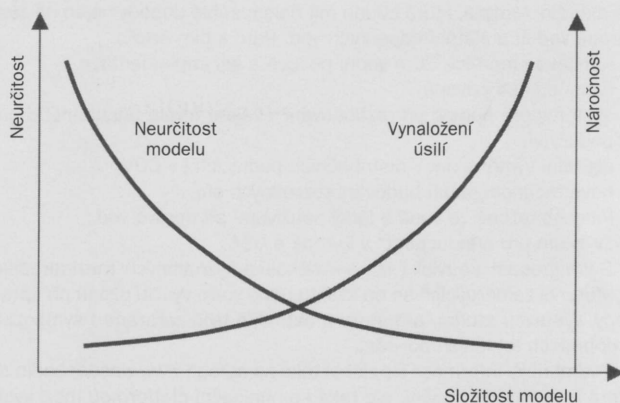
Dále se zmíníme o několika příspěvcích z konference, v nichž byly představeny metody, které se v současné době ve světě vyvíjejí.

Seibert (Švédsko) ve svém příspěvku *Does improved model calibration lead to more accurate flood estimation? (Vede lepší kalibrace modelu k přesnějšímu odhadu povodňových průtoků?)* diskutuje testování kalibrovaných parametrů na rozdílných kontrolních datech (differential split-sample testing). Parametry se kalibrují na letech s nižšími kulminacemi a testují na letech s vyššími. Dále byly testovány různé kalibrační postupy např. zahrnující pozorování hladin podzemní vody. Výzkum probíhal na modelu HBV, který se ve Švédsku používá rutinně např. pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní.

Brath, Montanari a Moretti (Itálie) v příspěvku *On the use of simulation techniques for the estimation of peak river flows (Použití simulačních postupů k odhadu kulminačních průtoků)* použili stochastické simulátory deště a distribuované srážko-odtokové modely k získání syntetických průtoků. Srážko-odtokové modely byly kalibrovány na měřených průtocích, parametry však lze odvodit i ze stanic ležících výše nebo níže, než je zájmový profil bez pozorování.

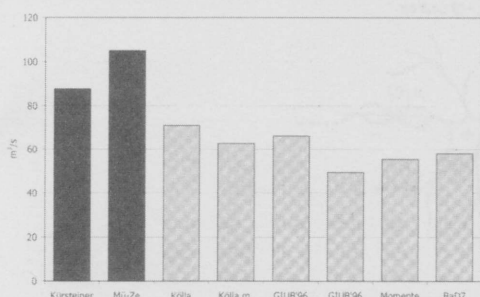
*mesoscale prealpine and alpine catchments (Inženýrská metoda prostorového rozložení tvorby odtoku pro předalpská a alpská povodí střední velikosti)*. Známá americká metoda SCS-CN byla modifikována s využitím terénních experimentů v předalpských a alpských povodích. Výsledky byly přeneseny (upscaled) na větší povodí tak, aby se simulace shodovaly s kalibrovanými distribuovanými modely.

Niggli, Talamba, Hingray a Musy (Švýcarsko) v příspěvku *Regionalisation of annual flood – An adaptive method to errors and data uncertainty*

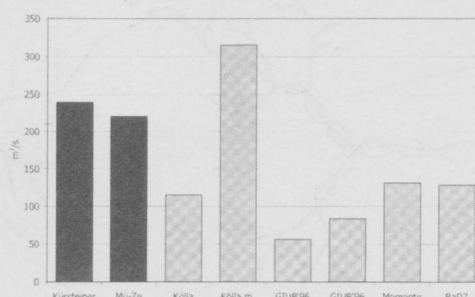


**Obr. 2.** Schéma souvislosti mezi složitostí modelu, nároky na vynaložené úsilí a prostředky a neurčitostí (nepřesností, nejistotou, vágností, mlhavostí = fuzziness) výsledků (podle Weingartnera, 1999 – citováno v [1])

## Langeten



## Lonza



**Obr. 3.** Rozptyl (různost, rozpětí) odhadů povodňových průtoků pro povodí Langeten v profilu Huttwil a Lonza v profilu Blatten [1]; na vodorovné ose – zkratky názvů metod; tmavé sloupce – extrémní odhady (z obalových křivek pozorovaných dat), světlé sloupce – regionální odhady 100letého kulminačního průtoku)

tainities (AMED) (Regionalizace ročních maxim – metoda zohledňující adaptivně chyby modelů a neurčitost dat) navrhli metodologii kombinující několik již existujících metod. Tato metodologie funguje na principu váženého průměru, kde váha  $w_i$  modelu  $i$  je úměrná převrácené hodnotě chyby modelu. Konfidenční intervaly kombinovaného modelu byly menší (užší) než intervaly jednotlivých modelů.

Merz, Thieken a Blöschl (Německo a Rakousko) popsali v příspěvku *Uncertainty analysis for flood risk estimation (Analýza neurčitosti pro odhad povodňového rizika)* kalibraci jednoduchých stochastických parametrizací na simulacích složitých deterministických modelů. Stochastické modely potom umožňují vytvořit velké množství realizací metodou Monte Carlo a odvodit meze neurčitosti odhadů rizika. Kromě toho může být identifikován příspěvek jednotlivých procesů tvorby odtoku k neurčitosti odhadu rizika.

VÚV T.G.M. se ve spolupráci s Univerzitou v Lancasteru už řadu let zabývá jak kontinuální simulací a odhadem neurčitosti povodňových průtoků, tak využitím speciálních dat charakterizujících tvorbu odtoku (data z experimentálních povodí) ke zpřesnění povodňových odhadů. Naše výsledky byly v Bernu prezentovány jako poster a jsou k nahlédnutí na internetové stránce Severoevropské skupiny projektu FRIEND Unesco na adrese [www.vuv.cz](http://www.vuv.cz).

## Literatura

- [1] Barben, M., Hodel, H. P., Kleeberg, H. B., Spreafico, M. and Weingartner, R. Übersicht über Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen. Erfahrungen aus den Rheinanliegerstaaten. Bericht Nr. I-19 der KHR, Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, 2001.
- [2] International Conference on Flood Estimation. Abstracts, Berne, Switzerland, 2002.

Ing. Šárka Blažková, DrSc.  
VÚV T.G.M. Praha  
tel. 220 197 222

## Key words

flood estimation, uncertainty, modelling

International conference on Flood Estimation (Blažková, Š.)

The contribution brings information on the approaches to flood estimation used in the Rhine countries and on the new developments of methods in Europe.

## NEURONOVÉ SÍTĚ – UMĚLÉ NEURONY

Nguyen Vu Nam, Petr Fuchs

### Klíčová slova

neuronové sítě, umělé neurony, proces učení, trénovací posloupnost

### Souhrn

Zájem o neuronové sítě se v posledních letech prudce zvýšil. Zavadějí se všude tam, kde se vyskytují problémy s predikcí, klasifikací či řízením. Tento převratný úspěch lze připisat následujícím faktorům:

Neuronové sítě představují velmi sofistikovanou techniku modelování schopnou modelovat krajně komplexní funkce. Jako nelineární fungují i tam, kde jsou modely negativně ovlivněny tím, že lineární aproximace ztratila platnost. Neuronové sítě rovněž udržují pod kontrolou problém dimenzionality, který komplikuje pokusy modelovat nelineární funkce s velkým počtem proměnných.

Neuronové sítě se učí příkladem. Uživatel neuronové sítě shromáždí reprezentativní údaje a poté vyvolá trénovací algoritmy za účelem automatického osvojení struktury údajů. Úroveň uživatelských znalostí, jež jsou nutné pro úspěšné použití neuronových sítí, je mnohem nižší než (například) při uplatňování tradičnějších statistických metod.

Tento článek zaměřený na teorii neuronových sítí tvoří doplněk materiálu publikovaného v čísle 1/2002 VTEI pod názvem *Modelování ČOV pomocí neuronových sítí* (Nguyen, V. N., Fuchs, P.).

Jako úvod do oblasti umělých neuronových sítí (dále již jen neuronových sítí) je třeba alespoň v hrubých rysech vysvětlit strukturu nervové buňky a způsob mezineuronové komunikace.

Neuronová buňka má „tělo“ (s jádrem) a dva druhy přenosových vláken. Uvnitř nervové buňky se provádí sumace vzruchů přicházejících z dendritů (pasivní vlákno), tj. výběžku nervových buňek. Dendrit vede do podráždění směrem do buňky. Výstup z nervové buňky se nazývá axon

(aktivní vlákno). Axon je osově vlákno, které slouží k vedení nervového podráždění ven z buňky. Aktivní vlákno – axon – se na svém vzdálenějším konci větví a napojuje se zvláštními přísavnými tělísky (synaptická tělíska) na pasivní vlákna – dendrity – jiných neuronů. Synapse představuje funkční spojení nervových vláken. Neuron může vyslat výstupní signál, pouze je-li vstupní signál dostatečně silný, aby zabezpečil aktivaci nervové buňky. Tento signál musí překročit jistou prahovou hodnotu k jejímu vybědnutí k reakci.

Protože i v přírodních neuronových sítích se přenáší informace v kódech, hlavním námětem výzkumu je jednak způsob kódování, jednak mechanismus přenosu zpráv. Dosud uspokojivá vysvětlení mechanismů přenosu zpráv poskytly zákony elektrochemických procesů (probíhající v nervových vláčknech), ovlivňující nejen rychlost šíření informací pomocí změn propustnosti synaptických tělísek.

Vlastnosti nervového systému jako celku nelze odvodit z vlastností nervových buněk. Počet nervových buněk v lidském mozku se stále pouze odhaduje (cca 10 mld.), přičemž doposud není jasný právě způsob řízení a koordinace funkcí tak složitě struktury (i když připustíme, že ne každý neuron je propojen se všemi ostatními buňkami).

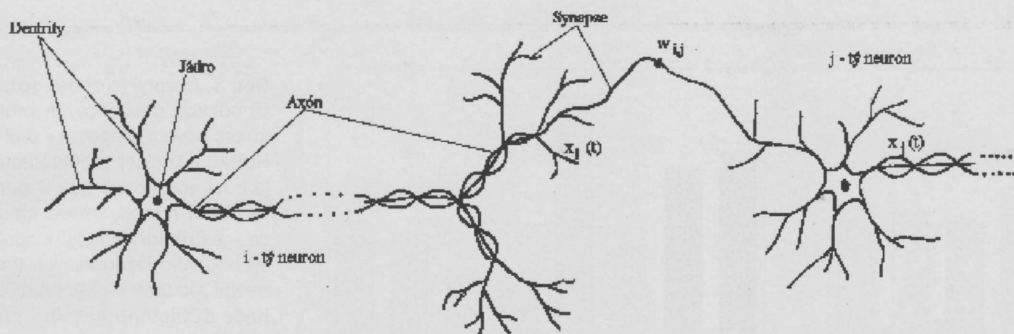
Základním prvkem umělých neuronových sítí jsou umělé neurony, které jsou podobné biologickému neuronu v mozku člověka. Je však třeba podotknout, že biologické neurony a jejich vzájemné interakce jsou mnohem složitější než umělé.

Umělý neuron pracuje na podobných principech. Vstupní informace jsou váženy pomocí vah, které jsou odečítány pomocí prahové hodnoty, za použití aktivací a přenosové funkce. Vzniklý signál se transformuje na výstupní signál (který je možno zmnožit do potřebného počtu kopií). Tento výstupní signál je předán následujícím umělým neuronům v další vrstvě, kde se dále zpracuje a transformuje.

## Vstupy

Přestože neuronové sítě jsou schopny rozpoznávat složité strukturní (a nečíselné) obrazce, vstupy neuronů jsou v podstatě číselné. Nejčastěji se setkáváme s následujícími typy vstupů:

1. **Kvalitativní vstupy** – nabývají hodnot z diskrétních číselných množin, např. -1, +1. Každý vstup se váže k určité vlastnosti obrazce, přičemž kvalitativní hodnoty vyjadřují existenční stav této vlastnosti (v uvedeném případě -1 znamená, že modelovaný objekt danou vlastnost nemá, +1 naopak znamená, že danou vlastnost má).



Obr. 1. Tvar a vzhled neuronu

2. *Kvantitativní vstupy* – nabývají hodnot z určených číselných intervalů. Podle interpretace mohou tyto vstupy představovat:

- a) skutečné hodnoty měřených systémových proměnných,
- b) fuzzy hodnoty (neurčitých hodnot) jazykových proměnných zavedených na univerzech systémových proměnných.

Každý vstup neuronu může být upravován vahou  $W_{ij}$ , která reprezentuje citlivost, s jakou může působit na výstup neuronu. (Vzhledem k tomu, že většina vstupů jsou výstupy z jiných neuronů, mají váhy roli propustností jako synaptická tělíska u přírodních nervových buňek.)

### Aktivační funkce a přenosová funkce

Každý neuron transformuje vstupní hodnoty alespoň dvěma funkcemi (výpočetními procedurami):

*Aktivační funkcí*, která agreguje hodnoty vstupů (a jejich modifikace váhami  $W_{ij}$ ) a posouvá agregovanou hodnotu k určitému aktivačnímu prahu. Zpravidla se setkáváme s lineární aktivační funkcí.

*Přenosovou funkcí*, která převádí hodnotu výstupu aktivační funkce do hodnoty výstupu neuronu. Zpravidla se používají lineární (jednoduchá, prahová) a nelineární (skoková, sigmoidální, gaussovská) funkce.

### Výstupy

O výstupu neuronu platí vše, co bylo řečeno o jeho vstupech. Zpravidla se používají stejné typy vstupů a výstupů v celé síti a modifikující váhy se připisují na vstupy neuronu, na které je výstup připojen. (Výstup neuronu obecně nese jiné vlastnosti a proměnné než vstupy, i když v sítích určitého typu mohou mít stejný význam.)

### Neuronová síť

Vhodným propojením umělých neuronů vzniká neuronová síť, která se skládá ze tří základních částí:

- umělých neuronů,
- spojení umělých neuronů,
- vrstev neuronové sítě.

Základní model neuronové sítě obsahuje tři vrstvy: vstupní (input), skrytou (hidden) a výstupní (output). Některé programy připouštějí existenci podstatně většího počtu vrstev. V praxi obvykle úspěšně funguje neuronová síť se třemi až pěti vrstvami. U některých programů neuronových sítí může uživatel definovat počty umělých neuronů ve vrstvě spolu s počtem samotných vrstev neuronové sítě. Pokud je síť podtrénovaná (undertraining), je možné přidat neurony do vrstvy nebo vytvořit novou vrstvu neuronové sítě. V případě přetrénování (overtraining) neuronové sítě lze použít opačný postup, spočívající nejprve v redukci počtu umělých neuronů a poté popř. i vrstev.

Naproti tomu u některých typů neuronových sítí je uživatel omezen ve výběru počtu vrstev, resp. umělých neuronů v jednotlivých vrstvách. Například Kohonenova síť, označovaná také jako self-organizing feature maps (SOFMs), má pouze dvě vrstvy: vstupní a výstupní (s radiálními jednotkami – směřujícími z okraje kruhu do jeho středu). Uživatel Kohonenovy sítě, tj. neuronové sítě s neřízeným tréninkem (viz další text), nemůže tento softwarový předpoklad změnit. Podobně je tomu u pravděpodobnostní sítě (probabilistic network), kde by měl být počet umělých neuronů ve skryté vrstvě roven počtu vstupujících trénovacích dat (cases).

Spojení mezi neurony může být různého typu. Ve stejné vrstvě (intra-layer connection) nebo mezi vrstvami (interlayer connection). Spojení umělých neuronů, které vycházejí z předchozí vrstvy a směřují do vrstvy následující, se nazývají anglicky forward connection. Dále můžeme mluvit o dvojím druhu spojení:

- útlumové spojení (inhibitory connection), které brání aktivaci umělého neuronu;
- podněcující spojení (excitatory connection), které naopak podporuje aktivaci umělého neuronu.

Umělé neurony (processing units) mohou být vzájemně propojeny ještě jinými typy spojení. Jump connection je specifický typ forward spojení, který vynechává skrytou vrstvu. Neurony ve vstupní a výstupní vrstvě jsou spojeny „skokem“ přes skrytou vrstvu.

Vedle spojení umělých neuronů typu forward je u některých neuronových sítí užíváno zpětné spojení umělých neuronů, tj. spojení označované jako feedback connection. Tyto sítě se nazývají feedback networks. Při tomto typu spojení přicházejí data od výstupní vrstvy a směřují směrem ke vstupní vrstvě. Je třeba upozornit na možnou záměnu činnosti neuronové sítě upravující zpětné váhy umělých neuronů v předchozích vrstvách, způsobenou vyhodnocováním chyby (error) se zpětným spojením neuronů. Úpravy vah neuronové sítě, jako volných parametrů modelu, lze u řízeného trénování (viz další text) sítě provést pomocí algoritmu Back Propagation. Síť Multilayer Perceptron (MLT), která užívá algoritmus Back Propagation, je typu feedforward, kde data procházejí od vstupní, přes skryté vrstvy k vrstvě výstupní.

Pokud je Post Synaptic Potencial (PSP) funkce (přenosová funkce) neuronové sítě lineární, lze vstup do  $j$ -tého umělého neuronu ( $I_j$ ) odvodit ze sumy součinu výstupu  $i$ -tého umělého neuronu ( $y_i$ ) a vah mezi  $i$ -tým a  $j$ -tým umělým neuronem ( $w_{ij}$ ):

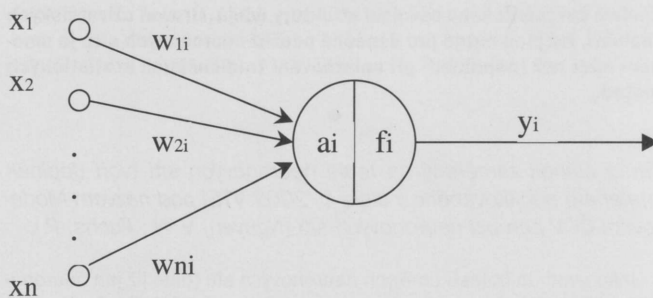
$$I_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot y_i$$

Pro každou neuronovou síť jsou důležité tři následující základní pojmy:

- *topologie sítě*, která je definována daným typem propojení sítě,
- *typ přenosové funkce a aktivační funkce*,
- *metoda učení*, která může být bez učitele – neřízená (unsupervised), nebo s učitelem – řízená (supervised), jež se v praxi používá více. Při učení s učitelem uživatel používá soubor trénovacích dat, který obsahuje příklady se vstupními a příslušnými výstupními proměnnými. Neuronové sítě se naučí na základě těchto žádaných hodnot tím, že najdou vztah (vazbu) mezi vstupy a výstupy.

### Proces učení

Zatímco topologie neuronové sítě a typy přenosových funkcí určují zejména způsob kódování modelovaných procesů, systému a událostí, učení je dynamickým procesem, který využívá informací o způsobu kódování, informací obsažených v souborech naměřených dat, expertních znalostí a numerických procedur ke zdokonalování vlastností sítě. Díky učení se umělé neuronové sítě mohou do jisté míry chovat podle principu fungování lidského mozku – naučení ze zkušeností. Ve většině



Obr. 2. Umělý neuron:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – konečný počet vstupů  $i$ -tého neuronu;  $w_{1i}, w_{2i}, \dots, w_{ni}$  – váhy těchto vstupů;  $a_i$  – aktivační funkce  $i$ -tého neuronu;  $f_i$  – přenosová funkce  $i$ -tého neuronu;  $y_i$  – výstup z  $i$ -tého neuronu

případů se proces učení soustřeďuje na ladění vah vstupu neuronů. Jen v některých případech se uvažuje o změnách topologie sítě.

Procedury nastavování vah v sobě obsahují jednak určitou strategii (která je formalizovatelná algoritmicky), jednak numerické postupy (které lze obvykle vyjádřit pomocí vzorců). Obojí je k popisu procesu učení nezbytné. Přestože výpočetní procedury nastavování vah jsou mnohdy velmi složité, základ pro jejich sestavení poskytla dvě pravidla (strategie): Hebbovo pravidlo a Delta pravidlo.

Hebbovo pravidlo:  $\Delta w_{ij}(k+1) = \eta a_i(k) \cdot y_j(k)$

Delta pravidlo:  $\Delta w_{ij}(k+1) = \eta (s_j(k) - a_j(k)) \cdot y_i(k)$

kde  $\Delta w_{ij}(k+1)$  je změna váhy  $w_{ij}(k)$ . (Zpravidla se předpokládá adaptivní korekce  $w_{ij}(k+1) = w_{ij}(k) + \Delta w_{ij}(k+1)$ . Orientace indexů se většinou v literatuře uvádí od  $j$ -tého neuronu k  $i$ -tému neuronu.) Symbol  $a_i(k)$  představuje hodnotu aktivizační funkce na  $i$ -tém neuronu v čase  $k$  a  $y_j(k)$  je výstup  $j$ -tého neuronu v čase  $k$ . Symbol  $s_j(k)$  v Delta pravidle představuje vzor, na který je  $i$ -tý neuron trénován a  $\eta$  je konstantou, která ovlivňuje rychlost učení neuronu.

Problém, který je velmi intenzivně studován v souvislosti s procesy učení, je problém konvergence procesu učení nebo jinak řečeno – problém stabilních stavů.

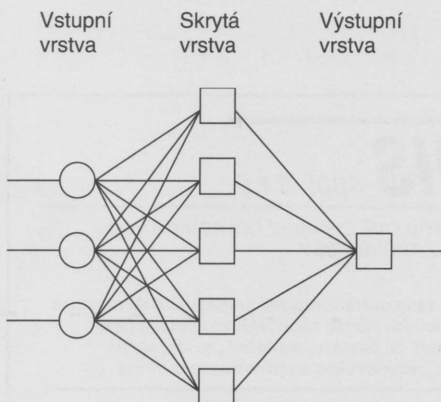
Neuronová síť se vždy učí na základě zpracování posloupnosti tzv. tréninkových vzorů (trénovací posloupnost). Tyto vzory v sobě obsahují určitou obecnou informaci o modelovaném procesu nebo systému, kterou má neuronová síť v průběhu učení odhalit a zakódovat do vnitřního systému vah. Na trénovací posloupnost jsou kladeny poměrně vysoké nároky. Musí být co nejobhatší (teoreticky nekonečně velká), přičemž musí obsahovat všechny podstatné charakteristiky modelovaného objektu. Oba tyto požadavky jsou prakticky nespílnitelné. Nekonečně velké posloupnosti lze konstruovat pouze generováním pomocí počítače. Ale kdybychom znali postup ke generování posloupnosti se všemi podstatnými charakteristikami, nepotřebovali bychom vytvářet neuronovou síť, protože bychom vlastně už znali model objektu. Podmínky pro návrh trénovací posloupnosti se v reálných případech vždy určitým způsobem zjemňují.

Konvergenčí procesu učení rozumíme schopnost procesu nastavit korektní a stabilní váhy neuronové sítě v konečně efektivním výpočetním čase.

Korektnost vah posuzujeme zprostředkovaně přes hodnocení správnosti funkce sítě. Jestliže např. síť rozpoznává nejen obrazce předložené v trénovací posloupnosti, ale také obrazce s předepsanou mírou deformace, pokládáme její váhy za korektní. Jestliže proces nastavování vah dospěje k situaci, že již nedochází k dalším změnám v hodnotách vah, považujeme váhy za stabilní.

Problém konvergence spočívá nejen ve strategii učení, v numerických metodách nastavování vah a v kvalitě trénovací posloupnosti, ale také v okolnosti, kdy ve většině případů nelze podmínky konvergence přesně určit. Můžeme snadno popsat, co to znamená, když proces učení konverguje, ale nezískáme z něj žádné produktivní vztahy a kritéria pro strategii učení, pro kvalitu numerických procedur ani pro konstrukci trénovací posloupnosti.

Velmi oblíbenou cestou k důkazu konvergence procesu učení je využití energetických analogií. Podobně jako se u fyzikálních systémů vztahuje stabilita systému k oblasti minim (a údolí) na energetické ploše, tak také u neuronových sítí se proces konvergence spojuje s pohybem stavového vektoru sítě po energetické ploše k některému stabilnímu stavu. Energii se v případě neuronové sítě rozumí výpočetní energie nutná k procesu učení sítě.



Obr. 3. Neuronová síť

## Data (trénovací posloupnost) a práce s daty

Data pro práci s neuronovou sítí lze rozdělit do tří skupin:

- trénovací data,
- ověřovací data,
- testovací data.

V průběhu trénování vyžadují techniky neuronových sítí kontrolu výsledků jejich činnosti. Trénink sítě jen pomocí trénovacích dat nemusí zajistit nejlepší výsledky plynoucí z množiny vstupních dat. Pokud je například neuronová síť příliš dlouho trénována, může ztratit svou schopnost generování, přičemž generováním rozumíme použitelnost neuronové sítě na podobné úlohy. V případě ztráty schopnosti generování se hovoří s ohledem na data užitá při řešení úlohy o přetrénování (overtraining – overfitting nebo overlearning) sítě. Opačným problémem je stav nazývaný underfitting (undertraining – underfitting nebo underlearning). V tomto případě může být funkce příliš jednoduchá pro zachycení nelineárních vztahů mezi daty. Například jde o vytvoření lineárního modelu neuronové sítě, kde ve skutečnosti vztahy mezi daty obsahují nelinearity.

Technologie neuronových sítí umožňují monitorovat průběh trénování neuronové sítě mimo jiné tím, že vyčleňují část dat označovanou jako ověřovací data. Programové produkty neuronových sítí provádějí buď automaticky členění na tři množiny vstupních dat, to je množina trénovacích dat, množina ověřovacích dat a množina testovacích dat, nebo výběr těchto dat ponechávají na uživateli.

Ověřovací data, podobně jako testovací data, neupravují váhy modelu neuronové sítě. Ověřovací data fungují jako signál a upozorňují uživatele, že trénovací interaktivní algoritmus neuronové sítě probíhá příliš dlouho a neuronová síť je příliš komplexní vzhledem k datům úlohy.

Jako u všech úloh zpracovaných počítačem platí, že kvalita vstupních dat výrazně ovlivňuje kvalitu výstupů. Výstupy závisí rovněž na volbě typu neuronové sítě, trénovacím algoritmu a době trénování. Obecně jsou neuronové sítě odolnější vůči méně kvalitním datům v porovnání s užitím algoritmů klasických statistických metod.

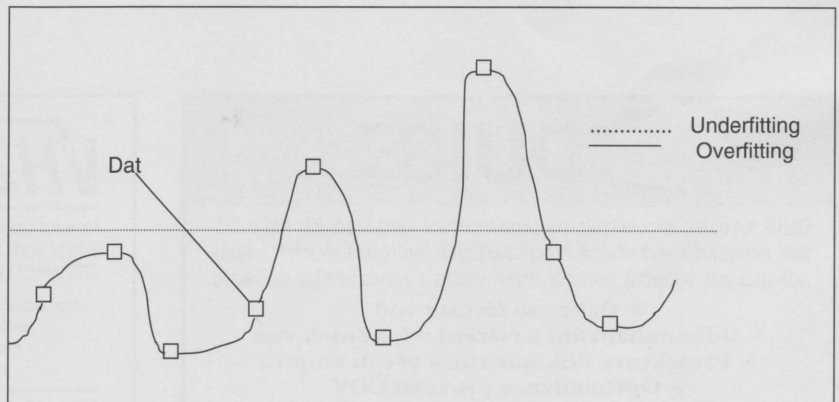
## Typy neuronových sítí

Lineární neuronová síť obsahuje pouze dvě vrstvy. Přenosová i aktivizační funkce jsou lineární. Tento model neuronové sítě je základním jednoduchým modelem neuronové sítě. V programu Statistica Neural Networks začíná od lineárního modelu neuronové sítě vyhledáváním optimálního typu neuronové sítě (Intelligent Problem Solver).

Generalized Regression Neural Network (GRNN) je architekturou k řešení úloh, u kterých jsou rozptýlená, řídká vstupní data a kontinuální výstupy.

Pravděpodobnostní model neuronové sítě (Probabilistic Network) je analogií GRNN pro klasifikační úlohy. Typická struktura pravděpodobnostní sítě obsahuje tři vrstvy: vstupní vrstvu, skrytou vrstvu s radiálními jednotkami a výstupní vrstvu lineárních klasifikačních jednotek. Počet umělých neuronů ve skryté vrstvě je minimálně roven počtu trénovacích dat (cases). U pravděpodobnostní sítě může být definována ještě čtvrtá vrstva – nazývaná maticí ztrát (loss matrix). Matice ztrát se užívá k vážení pravděpodobností známými náklady nesprávné klasifikace k dosažení minima rozhodovacích chyb. Matice ztrát se užívá, existuje-li reálné nebezpečí, že nesprávně klasifikované případy mohou způsobit vážné problémy.

Multilayer Perceptron (MLP) patří dnes k nejznámějším užívaným architekturám neuronových sítí. Multilayer Perceptron operuje s lineární přenosovou funkcí a standardně s nelineární aktivizační funkcí sigmoid. V některých případech se užívá i hyperbolická funkce, která může dát lepší výsledky než logistická funkce sigmoid.



Obr. 4. Fitting

Radial Basis Function (RBF) je neuronová síť, která má vstupní a skrytou vrstvu s radiálními umělými neurony a obvykle lineární výstupní vrstvu (lineární přenosová funkce a aktivací funkce). V porovnání s jinými neuronovými sítěmi se síť RBS trénuje s menšími časovými náklady, ale jako natrénovaný systém je obvykle pomalejší u analogických úloh než například síť MLP. Je to dáno její větší velikostí v porovnání s MLP.

Vedle sítí s řízeným tréninkem se v praxi užívají i sítě s neřízeným tréninkem. U těchto sítí je snaha seskupovat data do odpovídajících shluků, a to podle podobných charakteristik vstupních dat. Datové vazby mezi závisle proměnnými zde neexistují. Typickým představitelem těchto sítí je Kohonenova neuronová síť. Tento neřízený model neuronové sítě soustřeďuje data s určitými vlastnostmi do shluků (clusters). Kohonenova neuronová síť funguje analogicky jako statistická shluková, resp. faktorová analýza. Kohonenova síť umožňuje uživateli redukovat velikost vstupního vektoru mapováním do menšího počtu shluků. Může proto sloužit k předpracování dat k následnému vstupu do jiného modelu neuronové sítě.

Na závěr tohoto článku by autoři rádi poděkovali pracovníkům firmy Statsoft Czech za poskytnutou pomoc.

#### Literatura

- [1] Vondrák, I. Umělá inteligence a neuronové sítě. 2. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2000.
- [2] Bíla, J. Umělá inteligence a neuronové sítě v aplikacích. Praha: ČVUT, 1995.
- [3] Neural networks and a new artificial intelligence. 1. ed., London: Internat. Thomson Computer Press, 1997.
- [4] Methods and applications of artificial intelligence. Second Hellenic Conference on AI, SETN 2002, Thessaloniki, Greece, April 11-12, 2002; proceedings Ioannis, P., Vlahavas, C., Spyropoulos, D. (eds.). Berlin: Springer, c2002.
- [5] Artificial neural networks - ICANN 2001. International conference, Vienna, Austria, August 21-25, 2001; proceedings Dorffner, G., Bischof, H., Hornik, K. (eds.). Berlin: Springer, c2001.

[6] Statistica neural networks – Statsoft.

[7] Fanta, J. Neuronové sítě ve společenských vědách. Praha 2000.

Ing. Nguyen Vu Nam, Ing. Petr Fuchs, CSc.  
VÚV T.G.M. Praha  
tel. 220 197 271, 220 197 241

#### Key words

neural networks, artificial neurons, process of learning, training succession

Neural networks (Nguyen V. N., Fuchs, P.)

Neural networks have seen an explosion of interest over the last few years, and are being successfully applied across an extraordinary range of problem domains, in areas as diverse as finance, medicine, engineering, geology and physics. Indeed, anywhere that there are problems of prediction, classification or control, neural networks are being introduced. This sweeping success can be attributed to a following factors:

**Power:** Neural networks are very sophisticated modeling techniques, capable of modeling extremely complex functions. In particular, neural networks are non-linear. For many years linear modeling has been the commonly-used technique in most modeling domains, since linear models had well-known optimization strategies. Where the linear approximation was not valid (which was frequently the case) the models suffered accordingly. Neural networks also keep in check the curse of dimensionality problem which bedevils attempts to model non-linear functions with large numbers of variables.

**Ease of use:** Neural networks learn by example. The neural network user gathers representative data, and then invokes training algorithms to automatically learn the structure of the data. Although the user does need to have some heuristic knowledge of how to select and prepare data, how to select an appropriate neural network, and how to interpret the results, the level of user knowledge needed to successfully apply neural networks is much lower than would be the case using (for example) more traditional statistical methods.

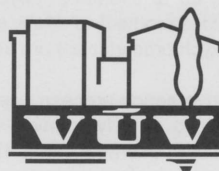
## VTEI VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

**Redakční rada:** Ing. Jiřina Barchánková, RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Ing. Václav Bečvář, CSc., Ing. Šárka Blažková, DrSc., RNDr. Blanka Desortová, CSc., Ing. Jana Hubáčková, CSc., RNDr. Josef Fuksa, CSc., Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., Ing. Ivan Koruna, CSc., Ing. Václav Matoušek, DrSc., RNDr. Hana Mlejnková, Ph.D., Ing. Věra Očenášková, Ing. Václav Štastný, Ing. Naďa Wannerová, Ing. Václav Zeman

Ročník 44

ISSN 0322 - 8916

Kontakt: Mgr. Josef Smrťák – redaktor  
Tel.: 220 197 282, fax: 233 333 804  
e-mail: smrtak@vuv.cz



**Výzkumný ústav  
vodohospodářský  
T. G. Masaryka**

**Podbabská 30  
160 62 Praha 6**

## DUIS

DUIS s.r.o. se specializuje na problematiku kanalizačních sítí a čištění odpadních vod včetně řešení složitých hydrotechnických a technologických výpočtů pomocí tuzemského i zahraničního software.

- **Ochrana čistoty vod**
- **Odkanalizování a čištění odpadních vod**
- **Projektové dokumentace všech stupňů**
- **Optimalizace provozu ČOV**

DUIS s.r.o., Srbská 21, 612 00 Brno, tel.: 541 244 197-8  
fax: 541 248 192, e-mail: duis@inbox.vol.cz, www.duis.cz

## VHZ-DIS spol. s r.o.

KOMUNÁLNÍ A PRŮMYSLOVÉ ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD  
ÚPRAVNÝ PITNÉ A UŽITKOVÉ VODY  
ČERPACÍ STANICE

- konzultační činnost, zpracování kompletní projektové dokumentace
- dodávky kompletních staveb nebo technologických částí
- montáž, uvedení do provozu, zkušební provoz, servis
- intenzifikace, rekonstrukce a optimalizace provozu

VHZ-DIS spol.s r.o., Mírová 25, 618 00 BRNO  
telefon: 548 210 514 - 17 fax: 548 210 524  
e-mail: vhz-dis@vhz-dis.cz http: www.vhz-dis.cz