

Poplachový model Labe (ALAMO)

Předpovědní model pro výpočet postupu látkové vlny

Základní informace



2004

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
Povodí Labe, s. p., Hradec Králové
Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Braunschweig
Český hydrometeorologický ústav, Praha
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha
Mezinárodní komise na ochranu Labe, Magdeburk



Poplachový model Labe

Předpovědní model pro výpočet postupu látkové vlny

1 Historie poplachového modelu

Labe a jeho přítoky jsou potenciálně ohroženy znečištěním vzniklým v důsledku havárií. Abychom dokázali zamezit poškození toků co nejlépe, schválila Mezinárodní komise na ochranu Labe (MKOL) v prosinci 1991 Mezinárodní varovný a poplachový plán, jehož velmi důležitou součástí je v mezidobí zpracovaný a zde prezentovaný Poplachový model Labe. Poplachový model slouží k předpovědi šíření a postupu škodlivin Labem a poskytuje jednoduchý a rychlý přehled o časovém a prostorovém rozložení těchto látek. Tato předpověď umožňuje, aby subjekty nacházející se směrem po proudu toku, mohly v případě havárie včas přijmout opatření vedoucí k omezení či úplné eliminaci škod. Proto je poplachový model podle článku 11. Rámcové směrnice EU o vodní politice také součástí operativního programu využívaného v případě havárií, protože umožňuje zahájit včas účinné postupy zaměřené na omezení škod.

2 Poplachový model

Poplachový model Labe je spojujícím článkem mezi výpočetním jádrem „AMOR“ a průtoky potřebnými pro výpočet. Průtoky lze zadávat přímo nebo určit jejich výši z vodních stavů resp. vodočetných dat v rámci interního programu pomocí tabulek. Výpočetní jádro může využívat i rychlosti dotoku a koeficienty průchodu látkové vlny, a to v podobě funkcí průtoku. Pro zadávání dat, výstup dat a provádění výpočtů disponuje model uživatelským prostředím, jímž lze procházet na základě menu. Výsledky, tedy koncentrace látky, mohou být rozlišeny podle místa a času a výstupy popisující havarijní případy mohou být zpracovány ve formě tabulek i graficky. V průběhu prací se ukázalo, že výpočty a hodnocení jsou rozhodujícím způsobem závislé na kvalitě základních hydrologických a hydraulických dat. Avšak i přesto můžeme poplachový model považovat za vhodný nástroj pro předpověď průchodu látkové vlny tokem Labe.

3 Pokusy se značkovací látkou

Za účelem kvantitativního určení parametrů promíchávání a výměny látky, jež byly použity v rámci poplachového modelu, bylo na českém i německém úseku Labe provedeno při různých velikých průtocích celkem 7 pokusů se značkovací látkou (obr. 3.1 a obr. 3.2). Látka byla vypuštěna do toku na různých místech. Tento empirický postup byl zvolen z toho důvodu, protože v současné době není znám analytický způsob určení uvedených parametrů, který by byl relevantní pro praxi.



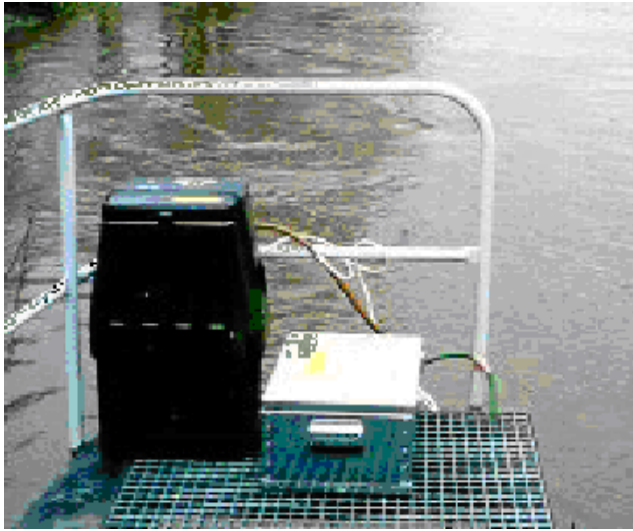
Obr. 3.1: Vypuštění značkovací látky do Labe



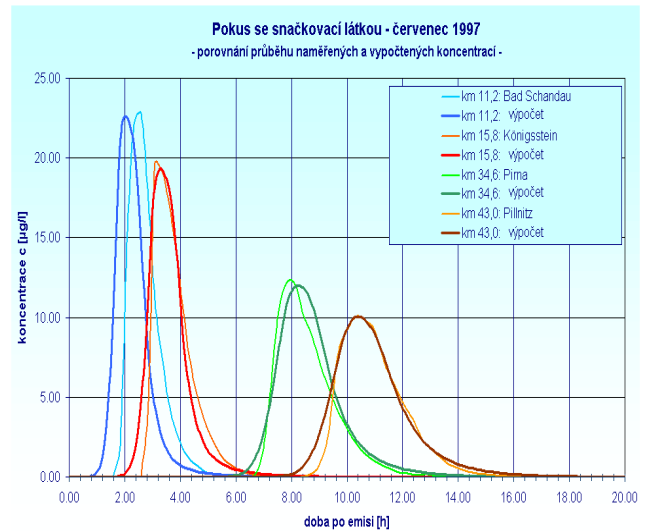
Obr. 3.2: Začátek šíření značkovací látky

Při pokusech se ukázalo, že značkovací látkou s nejlepší schopností detekce je *Sulforhodamin G*, látka, která vykazuje vysokou intenzitu fluorescence a je toxikologicky nezávadná. *Sulforhodamin G* je látka, kterou lze dobře detekovat pomocí opto-elektronických sond nebo laboratorní analýzou v oblasti nanogramů a která prokázala, že je velmi vhodná pro výzkumy na dlouhých úsecích. V průběhu značkovacích pokusů byl postup značkovací látky pod místy emise monitorován vzorkovači (viz obr. 3.3) a dále také opto-elektronickými sondami. Takto zjištěné křivky průchodu značkovací látky byly využity k verifikaci a kalibraci poplachového modelu.

Hodnocení vzorků ukazuje, jak naměřené maximální koncentrace značkovací látky v podélném profilu Labe klesají a průběhové křivky se prodlužují a zplošťují (viz obr. 3.4). Pokusy se značkovací látkou poskytují rozsáhlé poznatky o průchodu rozpuštěných a unášených látek v Labi. Díky opakovaným pokusům prováděným při nejrůznějších průtocích bylo možno získat ještě další rozsáhlé informace o trojdimenzionálním procesu promíchávání. Detailnější analýza dat ukázala, že získaná data jsou vhodná pro verifikaci a kalibraci numericky řešených rovnic průchodu látkové vlny, přestože obsahují některé chyby v oblasti měření i hodnocení, kterým nelze zcela zabránit.



Obr. 3.3: Místo měření se vzorkovačem u Bad Schandau



Obr. 3.4: Naměřené a vypočtené křivky postupu značkovací látky ve 4 místech měření

4 Teoretické základy postupu látkové vlny

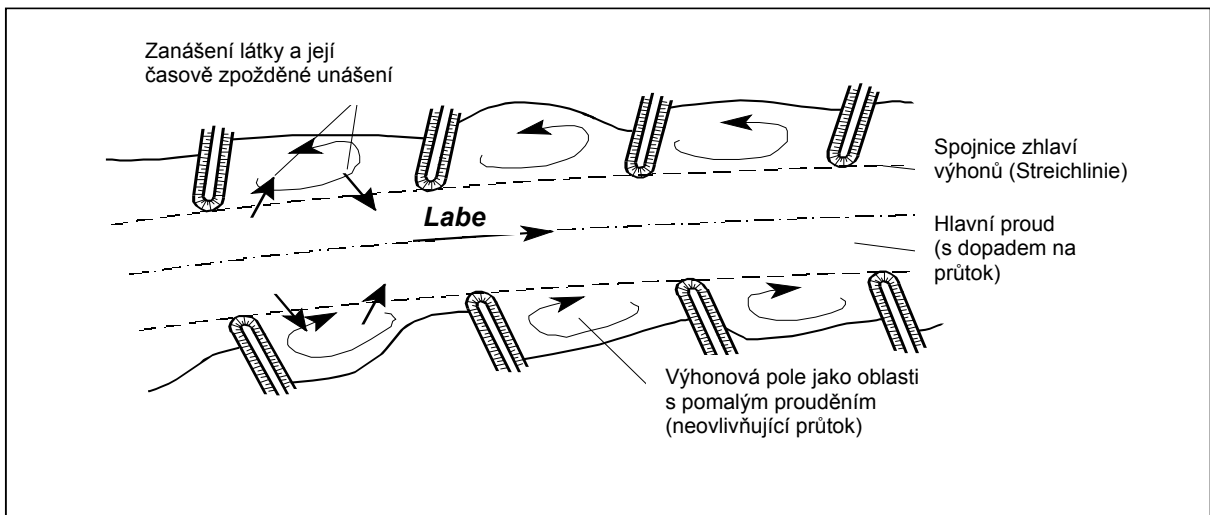
Aplikovaný výpočet průchodu látkové vlny využívá jednodimenzionální koncepci modelu, která simuluje promíchávání ve vodě rozpustných látek s vodou v Labi. Základem této simulace je rozšířený model podle Taylora, to znamená model zahrnující oblasti s pomalým prouděním. Jednodimenzionální systém rovnic zaručuje dostatečně přesný popis postupu látkové vlny na vzdutém toku horního Labe i na středním toku Labe. Na středním toku Labe se jedná o volně tekoucí úsek s velkým výskytem výhonových polí. Jednodimenzionální model s oblastmi pomalého proudění lze popsat následně pomocí uvedených diferenciálních rovnic:

$$\frac{dc}{dt} = -v \frac{dc}{dx} + D_L \frac{d^2c}{dx^2} - \varepsilon D_s (c - s) - k_1 c$$

$$\frac{ds}{dt} = D_s (c - s) - k_1 s$$

- | | | | | |
|------|-------|--|---------------|---|
| kde: | c | = koncentrace v proudnici [$\mu\text{g/l}$] | ε | = podíl oblastí s pomalým prouděním |
| | v | = střední rychlost proudění [m/s] | s | = koncentrace v oblasti pomalého proudění [$\mu\text{g/l}$] |
| | D_L | = koeficient podélné disperze [m^2/s] | D_s | = koeficient oblastí s pomalým prouděním [s^{-1}] |
| | k_1 | = lineární konstanty odbourávání specifické pro příslušnou látku [s^{-1}] | | |

Za oblasti s pomalým prouděním se v duchu koncepce modelu považují všechny části příčného profilu, které neovlivňují průtok. Na Labi to jsou např. výhonová pole v těch případech, kdy nejsou výhony zaplaveny. (viz obr. 4.1).



Obr. 4.1: Náčrt principu, na němž je založen model zohledňující oblasti s pomalým prouděním

Členy modelu s oblastmi pomalého proudění popisují následující dílčí aspekty:

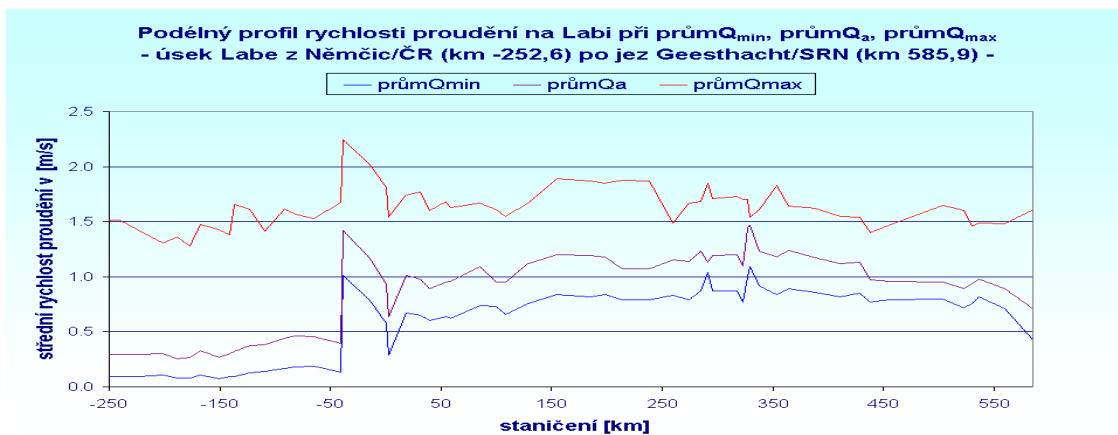
- $-v \frac{dc}{dx}$: Translaci látky se střední rychlostí proudění v (konvekční postup).
- $+D_L \frac{d^2c}{dx^2}$: Dispersní postup látky v podélném směru toku. Tento dispersní postup látky je způsobován především nerovnoměrným rozložením rychlostí v příčném profilu resp. vířivým pohybem vzniklým třením.
- $-\varepsilon D_S (c - s)$: Výměnu koncentrací mezi hlavním tokem ovlivňujícím průtok a oblastmi s pomalým prouděním, které na průtok nepůsobí. Dokud je koncentrace v proudnici vyšší než koncentrace v oblastech s pomalým prouděním, pak je látka vnášena do oblastí s pomalým prouděním; klesne-li však koncentrace v proudnici pod hodnoty koncentrace v oblastech s pomalým prouděním, pak je látka unášena opět zpět do proudnice.
- $-k_l c$: Lineární odbourávání látky. Jak absolutní velikost k_l , tak i předpoklad lineárního odbourávání jsou veličiny specifické pro příslušnou látku. Koefficient odbourávání látky není pro popis průchodu určité látky podstatný.

Vzhledem k tomu, že se parametry průchodu látkové vlny různí v závislosti na místních podmínkách a nelze je z důvodu nejrozmanitějších vlivů vypočítat, je třeba provést verifikaci a kalibraci výpočetního jádra poplachového modelu (AMOR).

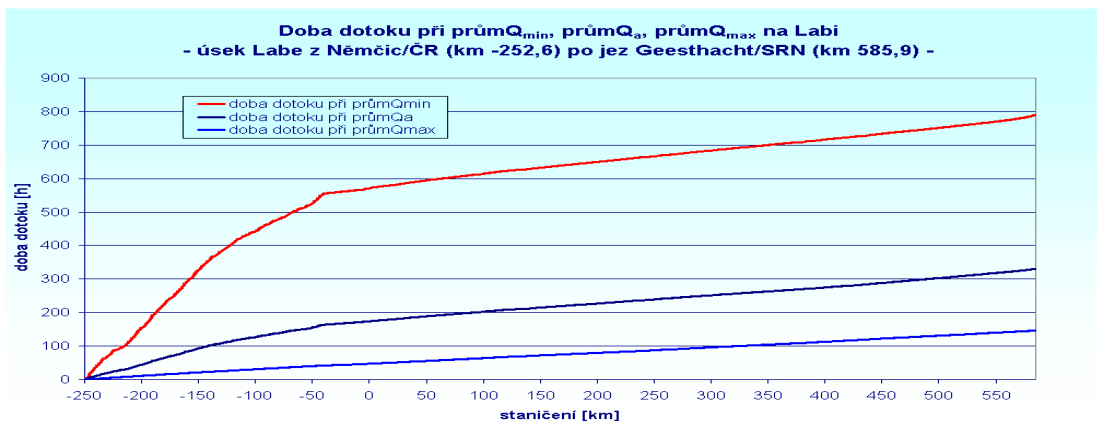
5 Hydraulické předpoklady

Do poplachového modelu se zadávají hydrologické a hydraulické parametry Labe při různých průtocích. Proto byl nejprve zpracován hydraulicko-numerický model pro úsek Němčice/ČR - jez Geesthacht/SRN s délkou toku cca. 835 km. Protože se klade důraz na krátkou dobu výpočtu a jednoduchou obsluhu modelu, byl za základ výpočtu zvolen model drsnosti podle *Manning-Stricklera*. Výpočet výšky hladin se prováděl pro omezeně se vyskytující případ jednodimenzionálního, stacionárně nerovnoměrného a nerozvětveného proudu toku. Výpočet po jednotlivých úsecích umožňuje dostatečně přesné určení dob dotoku i v nestacionárních případech.

Výsledky hydraulického modelu dovolují provést průběžný výpočet rychlostí proudění a dob dotoku pro průtoky Q_{\min} a Q_{\max} na celém 835 km dlouhém toku Labe. (viz obr. 5.1 a obr 5.2). Doby dotoku určené na základě vypočtených rychlostí činí na úseku mezi Němčicemi/ČR a Geesthachtem/SRN pro Q_{\min} cca. 790 h, pro Q_a 331 h a Q_{\max} 146 h (viz obr. 5.2).



Obr. 5.1: Podélné profily rychlosti proudění na Labi od Němčic/ČR po Geesthacht/SRN se skokovou změnou rychlosti proudění mezi vzdutým a volně tekoucím úsekem Labe



Obr. 5.2: Podélný profil dob dotoku na Labi od Němčic /ČR po Geesthacht/SRN

Průběžné hydraulické výpočty tvoří základ pro následné stanovení parametrů postupu látkové vlny. Za účelem verifikace a kalibrace poplachového modelu a současně požadovaného přesného určení parametrů látkového průchodu bylo třeba provést pokusy se značkovací látkou v terénu.

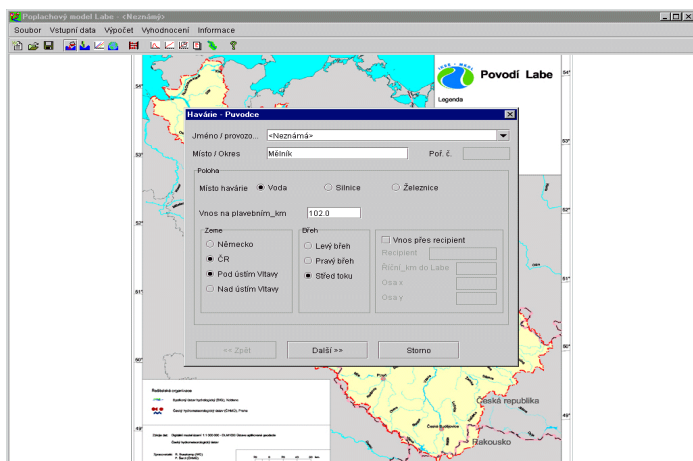
6 Verifikace a kalibrace výpočetního jádra

Pokusy se značkovací látkou provedené na českém a německém úseku Labe při zřetelně rozdílných průtocích umožnily stanovit parametry postupu látkové vlny. Průběžové křivky značkovací látky byly využity pro kalibraci poplachového modelu. Cílem kalibrace bylo, aby vypočtené průběžové křivky simulovaly co nejpřesněji průběžové křivky koncentrace naměřené v měrných profilech v průběhu pokusů. Na základě výsledků vypočtených v rámci hydraulicko-numerického modelu byla v jednotlivých úsecích provedena kvantifikace tří parametrů průchodu látkové vlny: koeficientu podélné disperze, podílu oblastí s pomalým prouděním a koeficientu podílu oblastí s pomalým prouděním.

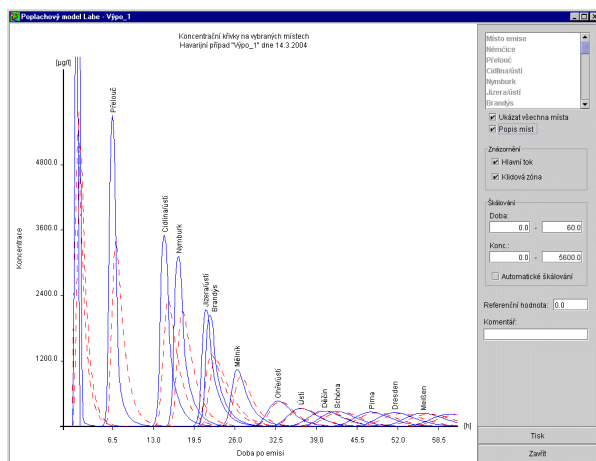
V malém rozsahu bylo třeba přizpůsobit i rychlosti proudění vypočtené pomocí hydraulicko-numerického modelu ovlivňující postup látkové vlny. Ukázalo se, že při celkové době postupu látkové vlny v délce 250 hodin a středním průtoku vykazují modelované doby dotoku ve srovnání s křivkami látkové vlny odchylky menší než 5 %. Relativně velké časové odchylky vznikly v jednotlivých případech při následném propočtu naměřených maximálních koncentrací, které však při pokusech se značkovací látkou zásadním způsobem závisely na místě odběru vzorku v příčném profilu.

7 Zadávání dat

Data popisující havárii a průtok, která je třeba zadat do výpočetního jádra za účelem předpovědi, se skládají z údajů o místě havárie (plavební kilometr), časových údajů (datum, hodina), označení škodliviny (druh, množství), doby trvání emise a z údajů o vodních stavech nebo průtocích, které lze stáhnout prostřednictvím HTTPS-protokolu z centrálního serveru. Nejsou-li k dispozici žádná aktuální data o průtoku nebo vodních stavech, pak lze výpočet zahájit s předem zadanými parametry nebo odhadnutou hodnotou.



Obr. 7.1: Okno pro zadávání havarijních dat



Obr. 7.2: Vypočtené průběžové křivky koncentrací na vybraných místech

Datové výstupy a prezentace výsledků jsou možné jak v grafické podobě, tak ve formě tabulek. Předpověděné průběžové křivky a maximální koncentrace lze znázornit podélnými profiley spojujícími jednotlivá místa nebo časovými podélnými profiley. Tabulkový výstup odpovídá oficiálnímu varovnému a poplachovému hlášení, kde jsou mimo jiné uvedeny i průtoky a maximální koncentrace škodlivin včetně dob dotoku do vybraných míst.

8 Závěrečná poznámka

Poplachový model Labe se vztahuje na říční úsek o délce 835 říčních kilometrů. Takto bude možné předpovídat postup vlny škodlivin od Němčic na horním toku českého Labe až po Geesthacht před branami Hamburku. Na základě několika málo i neúplných informací o průběhu havárie a průtokové situaci lze vypracovat aktuální poplachové a varovné hlášení, které lze v grafické a tabulkové podobě postoupit dalším subjektům.

9 Literatura

Dostál K., H. Hanisch, M. Mende, K. Stahl (2002): Značkovací pokusy na Labi – Dokumentace výsledků

Hanisch H., M. Mende et al. (2003): Poplachový model Labe ALAMO – Operativní předpověď průchodu škodlivin Labem