

MAPOVÁ APLIKACE PRO HLEDÁNÍ MALÝCH POVODÍ NEJVÍCE OHROŽENÝCH PŘÍVALOVÝMI POVODNĚMI

Pavel Ježík

Anotace: Příspěvek se zabývá popisem modelu, který na základě zvolených vstupních veličin určuje odtokovou reakci malého povodí na přívalovou srážku. Model, který je sestaven na bázi vybraných metod umělé inteligence, pracuje s veličinami popisujícími vlastnosti povodí a veličinami popisujícími příčinný přívalový déšť. Model tvoří jádro mapové aplikace, která je představena v závěru příspěvku. Sestavovaná aplikace je vyvíjena pro účely předběžného hledání malých povodí nejvíce ohrožených povodněmi tohoto typu.

Klíčová slova: přívalový déšť, modelování, odtoková reakce, malé povodí, umělá inteligence

Pavel Ježík: MAP INSTRUMENT FOR DETERMINATION OF SMALL RIVER BASINS ENDANGERED BY FLASH FLOODS

Annotation: The text deals with the description of model, which is able to determine a small river basin runoff as a reaction to fallen heavy rain. The model uses selected input values. The work is based on selected artificial intelligence methods. There are used values describing watershed properties and causal rain. The constructed model represents the core of further described map instrument. The instrument is being developed for purpose of preventive searching of small watersheds, which are endangered by heavy rains.

Key words: heavy rain, modelling, runoff reaction, small river basin, artificial intelligence

ÚVOD

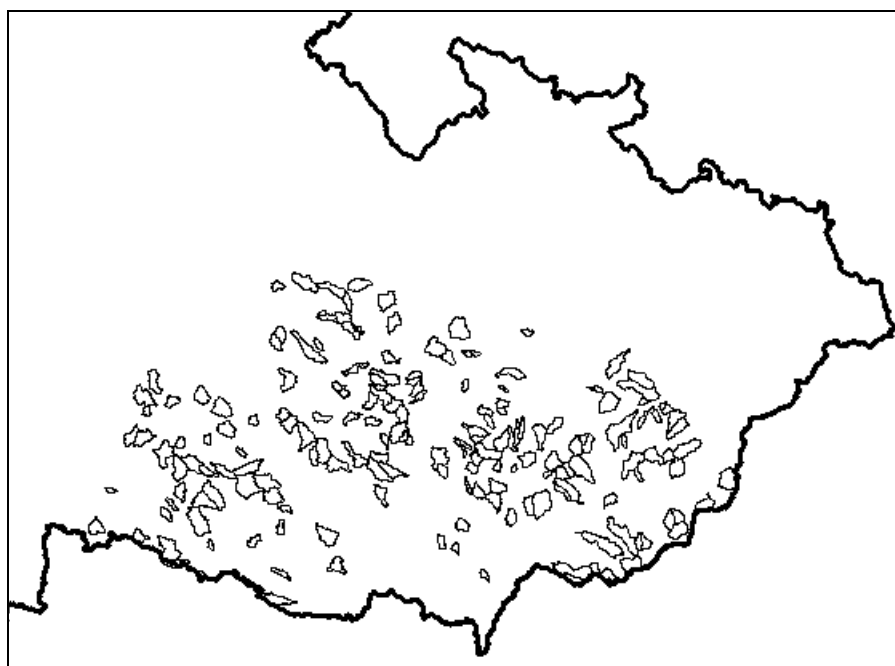
Předložený příspěvek se věnuje části dlouhodobé práce, jejímž cílem je konstrukce softwarového produktu, který bude schopný objektivním způsobem vybrat z množiny testovaných povodí ta, u nichž dochází k ohrožení povodněmi z přívalových dešťů. Obecně lze postup popsat tak, že v první fázi je sestaven zjednodušený hydrologický model, který na základě zadaných vstupních parametrů určuje hodnotu předpokládané odtokové reakce povodí ve formě kulminačního průtoku; V druhé fázi je pak hodnota tohoto průtoku porovnávána s limitní hodnotou sledovaného povodí a na základě vzájemného porovnání hodnot je pak rozhodnuto, zda konkrétní povodí ohroženo tímto jevem je, či není. Užití modelu se předpokládá v oblasti preventivní ochrany a je pracováno v tzv. off-line situaci, tedy v situaci, kdy nehrozí bezprostřední ohrožení. Z toho plyne několik výchozích předpokladů pro řešení dané problematiky. Předně není pracováno s okamžitými srážkovými údaji (např. předpovědi pomocí nowcastingu), ale se srážkovými daty, která byla vytvořena zpracováním dlouhodobého měření. Na celou problematiku je nahlíženo jako na algoritmizaci kauzálního vztahu příčinného deště a příslušné odtokové reakce malého povodí. Byl tedy přijat předpoklad, že srážka o určité době opakování z dlouhodobého hlediska způsobí odtokovou reakci o téže době opakování. Přitom je uvažována jakási průměrná kondice povodí – předpokládá se průměrný stav nasycení povodí.

Základní hydrologický model je sestavován na bázi vybraných metod umělé inteligence, a to zejména na bázi fuzzy logiky (Zadeh, 1978) a teorie možnosti. Výhodou těchto metod je jejich schopnost uspokojivě pracovat s veličinami, které jsou značně zatíženy neurčitostmi, či jsou vágně popsány. V případě (byť jednoduchého) hydrologického modelování nutně musí být pracováno s přibližnými hodnotami (značně zatíženými nejistotami) – jedná se zejména o veličiny popisující příčinný přívalový déšť a o hodnoty průtoků, které reprezentují odezvu malého povodí.

VZOROVÁ DATA

Pro kalibraci modelu je nutné sestavit dostatečně reprezentativní matici vzorových dat. Matice obsahuje hodnoty vstupních a výstupních veličin, které jsou použity pro kalibraci modelu. Při popisu vstupních veličin se jedná o veličiny popisující geografii sledovaných povodí a parametry příčinné přívalové srážky. Výstupní veličinou je odtoková reakce ve formě hodnoty kulminačního průtoku,

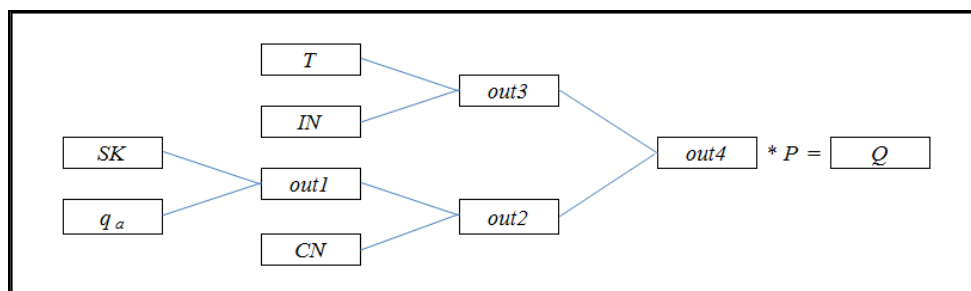
jakožto odezvy daného malého povodí na daný přívalový déšť. Sestavená matice obsahuje 184 malých povodí z oblasti místní působnosti brněnské pobočky ČHMÚ (obr. 1). Pro určení geografických charakteristik popisujících jednotlivých povodí byly použity nástroje GIS. Srážkové údaje (doba trvání a intenzita příčinného deště) byly odvozeny pomocí Čerkašina (Čerkašin, 1964), a to vždy pro nejbližší srážkoměrnou stanici, kterou pro příslušné povodí uvádí Trupl (Trupl, 1958). Extrapolace dat do potřebných mezí a N-letostí byla provedena dle postupu uvedeného v loňském příspěvku této konference (Ježík, 2013), případně v článku z ledna 2014 (Ježík, 2014). Výstupní hodnoty do matice vzorových dat byly získány z databáze hydrologických posudků; dřívější práce vycházely z historických dat Hydrologických poměrů (Zítek, 1970). Sestavená matice vzorových dat představuje rozsáhlý soubor dat podložený pečlivou analýzou vstupních/výstupních hodnot. Hodnoty průtoků jsou podloženy buď přímo dlouhodobým měřením (je-li v uzávěrovém profilu umístěna stanice), nebo metodou hydrologických analogií.



Obr. 1: Mapa povodí zahrnutých do matice vzorových dat

SESTAVENÍ MODELU

Celý model je sestaven v programovém prostředí MATLAB. Model je sestavován na bázi fuzzy logiky a teorie možnosti, o jejichž využití v oblasti vodního hospodářství se lze dočíst např. zde (Nacházel, 2004) nebo zde (Nacházel, 2010). Základní struktura modelu je tvořena sekvencí inferenčních systémů ve dvou větvích (obr. 2). Spodní větev reprezentuje vlastnosti sledovaných povodí, horní větev pak parametry příčinného přívalového deště.



Obr. 2: Základní struktura modelu

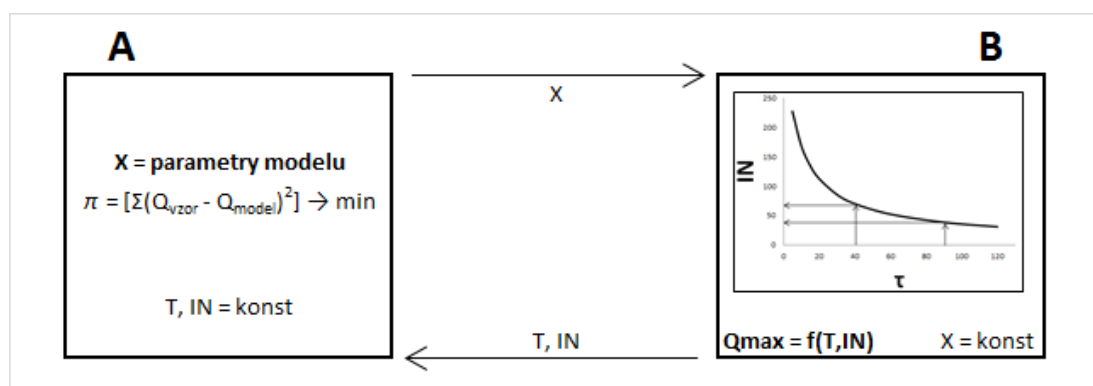
Každý inferenční systém je tvořen vždy dvojicí vstupů a jedním výstupem. Jednotlivé systémy jsou za sebou řazeny tak, aby bylo možné postupně přidávat všechny uvažované vstupní veličiny, a to pomocí užití dílčích výstupních veličin, které jsou v obr. 2 označeny *out*. Tento sekvenční přístup lze považovat za jakousi obdobu koaxiální korelace (Kohler, 1951). Předchozí práce ukázaly, že nejlepších výsledků je dosahováno při užití následujících vstupních veličin:

- plocha povodí P [km²],
- sklonitost povodí SK [%],
- průměrný specifický dlouhodobý průtok q_a v závěrovém profilu povodí [l.s⁻¹.km⁻²],
- průměrná hodnota CN čísla CN [-],
- doba trvání deště T [min],
- intenzita deště IN [mm.hod⁻¹].

Plocha povodí zaujímá mezi ostatními vstupy odlišné postavení; nevstupuje do modelu jako jedna z dvojic vstupních veličin do inferenčních systém, ale poslední výstupní veličina (*out4*) je jí prostě přenásobena. Po tomto přenásobení je hodnota modelového kulminačního průtoku Q porovnána s limitní hodnotou průtoku sledovaného povodí a je rozhodnuto, zda dochází k ohrožení povodí, či nikoli.

Kalibrace modelu probíhá za užití vzorových dat. Model je opakovaně spouštěn, přičemž jsou v jednotlivých optimalizačních cyklech postupně měněny dílčí parametry modelu (matice báze pravidel, váhy pravidel a parametry funkcí možnosti, které popisují uvažovaná universa) tak, aby se pomocí zvolené kriteriální funkce výstupní hodnoty (kulminační průtoky) co nejvíce shodovaly s hodnotami z matice vzorových dat. Tento proces sestává z velkého množství algoritmizovaných kroků, kdy jsou s jistými omezeními měněny vybrané parametry či součásti modelu. Je zde do určité míry využíváno náhodných čísel (obdoba metody Monte Carlo) na omezených oblastech řešení. Většina procesů vychází ze zvoleného počátečního stavu a následné obměny dílčích částí jsou hodnoceny sestavenou (jednou či více) kriteriální funkcí. Volba počátečního stavu a vhodné kriteriální funkce má na úspěšnost kalibrace zásadní vliv.

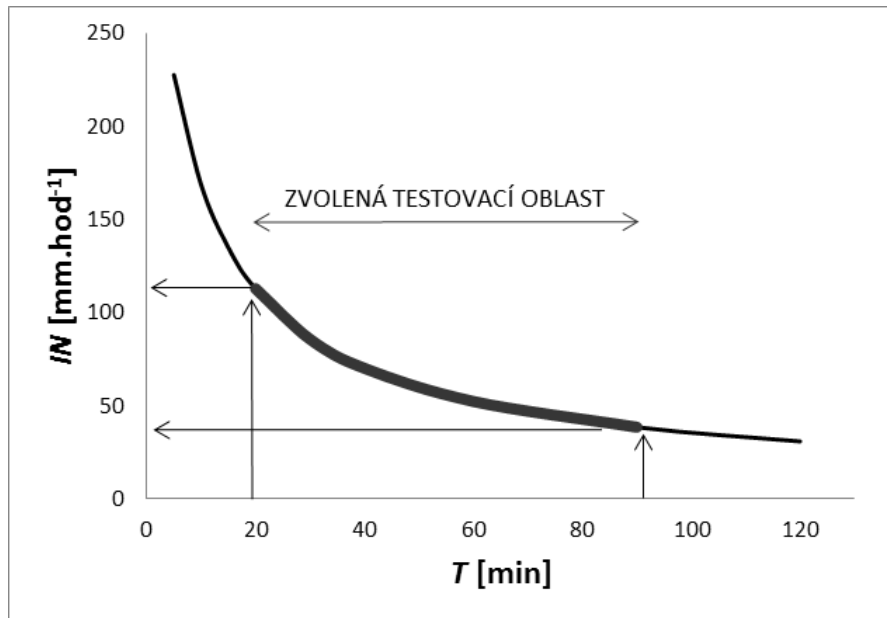
Celý proces kalibrace je však zkomplikován skutečností, že část dat ze vzorové matice není předem známa. Jedná se o dvojici vstupů doba trvání T příčinného přívalového deště a jeho intenzita IN . Proto byl do algoritmu kalibrace zahrnut blok, který pro každý řádek vzorové matice vyhledá nejméně příznivou kombinaci veličin T a IN (tedy taková kombinace, která způsobí maximální odtok Q). Schéma celého procesu je uvedeno na obr. 3:



Obr. 3: Schéma postupné optimalizace

Proces se skládá ze dvou bloků – A a B; V bloku A jsou pro daná vzorová data (s počáteční a v tomto bloku neměnnou kombinací srážkových vstupů T a IN) hledány optimální vlastnosti modelu, které jsou ve schématu označeny neznámou X . Hodnota X (parametry modelu) je následně předána do bloku B. Zde nedochází k modifikaci dílčích částí modelu (parametr X), ale je zde na zvoleném intervalu vyšetřována oblast veličin T a IN tak, aby byla nalezena nejméně příznivá kombinace vstupů T a IN – tedy taková kombinace, kdy dochází k maximálnímu odtoku Q . Algoritmus bloku B je sestaven tak, že pro každý řádek matice vzorových dat je vyhledána nejbližší srážkoměrná stanice daného povodí

a z Truplových tabulek je dohledána intenzitní křivka o příslušné periodicitě. Z této křivky jsou odečítány dvojice vstupů T a IN a pro takový model, který byl sestrojen předchozí modifikací v bloku A , jsou spočteny všechny hodnoty výstupů Q . Časy T a intenzity IN , které způsobí maximální odtok Q z povodí, jsou pak zpětně předány jako upravený vstup (upravená matice vzorových dat) do bloku A , kde dochází k opakované optimalizaci dle kritériální funkce π . Tento cyklický optimalizační postup se opakuje, dokud v obou blocích opakovaně nedojde k nalezení lepšího tvaru modelu či nalezení nové kombinace vstupů T a IN .



Obr. 4: Hledání kritických hodnot T a IN na zvolené oblasti

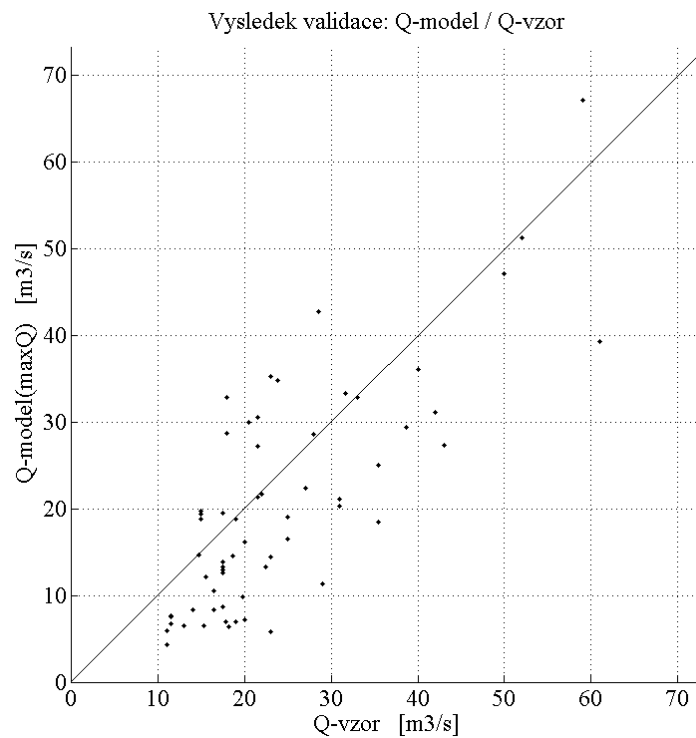
Tímto způsobem jsou na zvolené oblasti postupně hledány kritické doby deště a jim odpovídající náhradní intenzity na jednotlivých povodích (obr. 4). V průběhu kalibrace je tedy dohledávána a postupně modifikována část samotných vzorových dat. Modifikovaná matice vzorových dat pak poskytuje přesvědčivější podklad pro celkovou kalibraci modelu.

Důležitou otázkou je volba vhodné testovací oblasti, na které dochází k hledání dvojice hodnot T a IN . Jako prvotní přiblížení byla použita hodnota doby doběhu, odvozená dle Čerkašina, a jí odpovídající intenzita z intenzitní křivky pro nejbližší srážkoměrnou stanici. Během prací se ukázalo, že má smysl hledat tyto hodnoty v oblasti, která je zespodu ohraničená polovinou doby doběhu odvozené dle Čerkašina a shora zhruba 1,2-násobkem doby doběhu dle Čerkašina. Při vhodném zvolení (ohraničení) testovací oblasti je pak možné pomocí algoritmu postupné optimalizace nalézt dvojice vstupů T a IN , které způsobí maximální odtok z malého povodí, a je tak dosaženo určité modifikace matice vzorových dat.

DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

Proces hledání kritických dvojic veličin T a IN je součástí komplexního optimalizačního algoritmu, pomocí kterého jsou postupně hledány požadované parametry modelu (v obr. 3 pojmenováno vektor X) tak, aby výstupní hodnoty průtoků co nejvíce korelovaly s hodnotami odpovídajících průtoků z matice vzorových dat. To, zda model vykazuje adekvátní výstupy, je kromě vzájemné korelace těchto průtoků sledováno i z jiných hledisek; Rovněž je testováno, zda s rostoucími srážkovými parametry (pomocí uměle sestaveného souboru zatěžovacích srážek) roste i odtoková reakce modelu, potažmo, zda s měnícími se ostatními vstupy logickým způsobem, dochází ke změně výstupní hodnoty modelu. Je prováděna jakási citlivostní analýza modelu na jednotlivé vstupy. Podstata této citlivostní analýzy je však nad rámec příspěvku, a na tomto místě bude pouze uvedeno, že její výsledky jsou uspokojivé – na všechny vstupy model reaguje adekvátně a logicky a model respektuje základní hydrologické zákonitosti. Výsledný vztah modelových průtoků a jim

odpovídajícím průtoků je zobrazen na obr. 5. V grafu jsou uvedené 100-leté průtoky pro uvažovaná povodí.

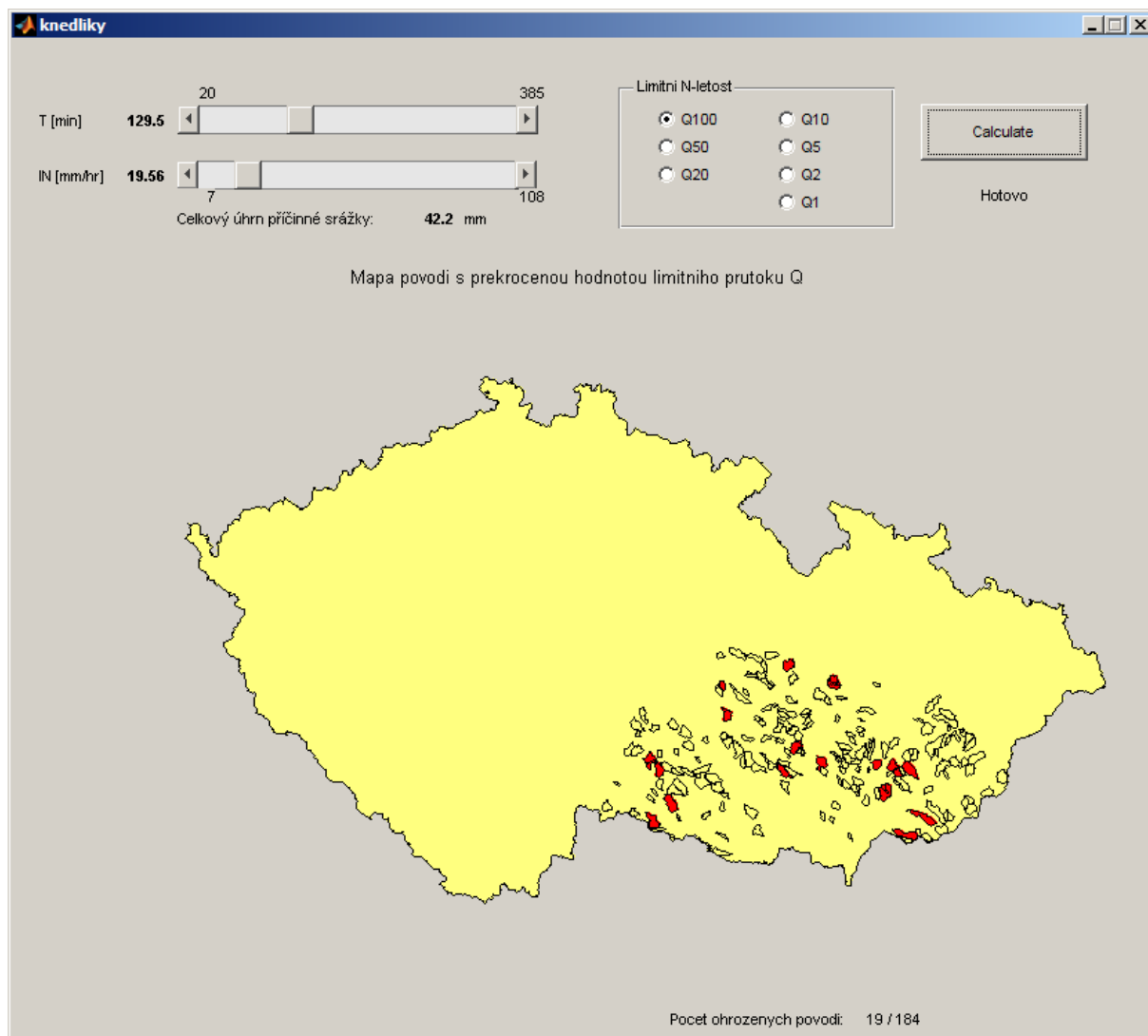


Obr. 5: Výsledek validace modelu – vztah modelových a vzorových průtoků

Obr. 5 představuje výsledek validace modelu. Množina 184 povodí ve vzorové matici byla náhodně rozdělena na kalibrační a validační množinu v poměru 2:1.

MAPOVÁ APLIKACE

Výše uvedený model představuje jádro mapové aplikace – jedná se o grafické uživatelské prostředí umožňující uživateli plošně zatěžovat množinu povodí dešti o zvolených testovacích parametrech. Základní dialogové okno sestaveného softwarového nástroje (obr. 6) umožňuje zadávání vstupních parametrů zatěžovací srážky (doba trvání a intenzita) a výběr limitního průtoku pro každé testované povodí. Hodnota limitního průtoku je v současné fázi dána N-letostí, výhledově se předpokládá zadání hodnoty, odpovídající odtokovým poměrům přímo v řešené oblasti.



Obr. 6: Dialogové okno mapové aplikace

Po spuštění výpočtu je pak možno na přehledné mapě vidět, kolik, a která povodí jsou ohrožena přívalovým deštěm o zvolených parametrech (ohrožená povodí jsou označena červeně).

Uvedené okno představuje nynější verzi, která však bude v nejbližší době rozšířena o další varianty zadávání vstupních parametrů. Při zadávání parametrů zátěžové srážky bude pracováno s trojicí navzájem provázaných vstupů: doba trvání, intenzita a periodičita příčinného deště. Uživatel bude ve třech variantách výpočtu zadávat vždy dvě z uvedených třech veličin, přičemž ta třetí bude automaticky dopočtena. V případě, že se bude uživatel pohybovat mimo reálnou oblast (např. extrémně vysoká doba opakování příčinné srážky), bude na tuto skutečnost upozorněn, protože pro tuto oblast není u modelu zaručena smysluplnost vypočtených výsledných hodnot.

ZÁVĚR

V příspěvku je prezentován zjednodušený hydrologický model, který představuje jádro následné mapové aplikace. Kalibrace modelu je postavena na rozsáhlé matici vzorových dat, která obsahuje data, popisující vlastnosti povodí a parametry příčinných dešťů. Součástí konstrukčních algoritmů je i jakýsi postupný mechanismus dohledávající kritickou dvojici dob trvání dešťů a jim odpovídajících intenzit. Hodnoty N-letých průtoků, které v matici vzorových dat představují kýženou výstupní hodnotu kulminačních průtoků Q , byly získány z databáze hydrologických posudků ČHMÚ. Celý algoritmus modelu se snaží o podchycení vztahu příčinného deště a odtokové reakce povodí na něj, a to na základě rozsáhlých datových souborů. Výsledky validace ukazují, že uvedenými způsoby lze

dosáhnout uspokojivých výsledků (obr. 5) – korelace modelových průtoků a jim odpovídajících průtoků z matice vzorových dat je 0,783. Model adekvátně reaguje i na citlivostní analýzu, která zkoumá vliv jednotlivých vstupních veličin na výslednou hodnotu kulminačního průtoků.

Předložené výsledky byly následně použity pro sestavení mapové aplikace, která uživateli umožňuje plošně testovat množinu malých povodí. Pomocí jednoduchého grafického uživatelského prostředí lze zatěžovat skupinu povodí návrhovými přívalovými dešti o zvolených parametrech. Ta povodí, u nichž dochází k překročení limitní hodnoty průtoků – tedy takové hodnoty, kdy na povodí dochází k problémům – jsou barevně zvýrazněna. Výsledek pak může sloužit jako objektivní nástroj pro rozhodování o toku financí v souvislosti s případným budováním ochranných opatření před povodněmi z přívalových dešťů.

Použitá literatura

ČERKAŠIN, A. Hydrologická příručka. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1964.

KOHLER, M. A., LINSLEY, R. K. Predicting The Runoff From Storm Rainfall. Weather Bureau Research Papers, No. 34. Washington 1951.

JEŽÍK, P.: Rozšiřování matice vzorových dat pro výpočet odtokové reakce malého povodí na přívalový déšť a ukázka výsledků, Zborník príspevkov - 25. konferencia mladých hydrologov, Bratislava, 2013, ISBN 978-80-88907-85-5.

JEŽÍK, P.: Rozšiřování matice vzorových dat pro výpočet odtokové reakce malého povodí na přívalový déšť a ukázka výsledků. Vodohospodářsky spravodajca, 2014, roč. 57, č. 1- 2, s. 22-25. ISSN: 0322- 886X.

NACHÁZEL, K., STARÝ, M., ZEZULÁK, J.: Využití metod umělé inteligence ve vodním hospodářství, Academia, nakladatelství Akademie věd České republiky, Praha 2004, ISBN 80-200-02229-4.

NACHÁZEL, K., FOŠUMPAUR, P.: Teorie možnosti v hydrologii a vodním hospodářství. Journal of Hydrology and Hydromechanics. 2010, roč. 58, č. 2, s. 73-97. ISSN 0042-790X. DOI: 10.2478/v10098-010-0008-y.

TRUPL, J.: Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Výzkumný ústav vodohospodářský, Praha, 1958.

ZADEH, Lofti, A.: Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. Fuzzy Sets and Systems. 1978. č. 1, s. 3-28.

ZÍTEK, J. a kol.: Hydrologické poměry ČSSR: Díl III. Hydrometeorologický ústav, Praha, 1970.

ABSTRACT

Pavel Ježík: MAP INSTRUMENT FOR DETERMINATION OF SMALL RIVER BASINS ENDANGERED BY FLASH FLOODS

The goal of long-term author's work is to develop a software application, which would be able to objectively pick out endangered small watershed by the flash floods. The article focuses on one part of complex problem – the construction of simplified hydrological model and subsequent map instrument. Basically, the issue might be separated in partial tasks; firstly, above mentioned hydrological model has to be constructed, which determines a value of peak flow for each tested watershed; secondly, the result value has to be compared with watershed limit discharge. This comparison makes the base for decision, whether the tested river basin should be depicted as endangered, or not. The instrument is supposed to be used in the area of preventive flash flood protection. It is worked in so-called off-line regime – in the situation out of direct danger. That state brings a couple of initial preconditions; No actual rainfall data are processed (e.g. nowcasting forecasting). On the other side there are used rainfall data compiled by long-term measurement processing. The whole problem is being solved as algorithmization of causal relationship of rain and subsequent runoff reaction. The assumption of equality of causal rain periodicity to discharge periodicity has been accepted. Also the average watershed saturation condition is assumed. No antecedent precipitation index enters the calculation, because in long-term context it is understood as being average.

The main hydrological model is being constructed on the base of selected artificial intelligence methods, particularly fuzzy logics and the possibility theory. Those methods allow working with the values, which are vague or uncertain. In hydrological modelling are rainfall data and discharge data strongly uncertain, so the usage of such methods is appropriate.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory specifického výzkumu FAST-14-2400 s názvem „Softwarová aplikace pro určení ohroženého povodí přívalovým deštěm“.

Ing. Pavel Ježík

Ústav vodního hospodářství krajiny Fakulta stavební VUT v Brně
Žižkova 17, 602 00 Brno, Česká republika
jezik.p@fce.vutbr.cz