ODVOZENÍ TEORETICKÝCH POVODŇOVÝCH VLN DETERMINISTICKÝMI PŘÍSTUPY PRO ÚČELY POSUZOVÁNÍ BEZPEČNOSTI VODNÍCH DĚL ZA POVODNÍ

Petr Šercl

Grantový projekt výzkumu a vývoje v programu ministerstva zemědělství s označením QD1368 a názvem „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní" byl řešen v období od července 2001 do června 2004 a úzce navazuje na projekt VaV „Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní", který byl řešen v letech 1997 až 2000 pod garancí Ministerstva životního prostředí. Deterministické přístupy odvozování teoretických povodňových vln byly v předchozím projektu řešeny zvláště ve VÚV T. G. M. za použití frekvenční verze TOP-modelu pro modelování srážko-odtokového procesu se stochasticky generovanými srážkami. Nevýhodou aplikace tohoto modelu je náročnost na vstupní data, náročnost na čas i výpočetní techniku a z toho vyplývající potřeba vyšších finančních prostředků. Metodika proto do praxe nebyla zavedena. V projektu QD1368 byla uskutečněna důkladná rešerše tematicky zaměřená na stávající srážkoodtokové modely, přičemž pro zavedení do hydrologické praxe se ukázal jako nejvhodnější model HEC-1. Model HEC-1 je po programové stránce připraven, proto hlavní práce v projektu směřovaly k získání nových a kvalitnějších podkladových dat jako základních vstupů do tohoto modelu. Rovněž jako důležitá součást přípravy vstupních dat do modelu byla vyvinuta aplikace pro odhad parametrů modelu HEC-1 v prostředí GIS na základě digitálního modelu terénu.V rámci projektu byly odvozeny nové hodnoty statistických charakteristik maximálních srážek daného trvání na základě verifikované a doplněné databáze maximálních srážek, která nyní pokrývá období 1895–2002. Tato databáze a statistické charakteristiky posloužily také jako podklad pro zpřesnění odhadu hodnot pravděpodobné maximální srážky. Dalším důležitým vstupem při řešení návrhové povodně je tzv. návrhový hyetogram, což je způsob časového rozložení celkového úhrnu návrhové N-leté maximální srážky do kratších intervalů. Jelikož tvar hyetogramu přímo ovlivňuje průběh a velikost kulminačního průtoku návrhové povodňové vlny, byla metodice odvození návrhového hyetogramu věnována patřičná pozornost. Objem přímého odtoku za povodně je kromě velikosti příčinné srážky a předcházející nasycenosti povodí vodou ovlivněn způsobem využívání území a hydropedologickými charakteristikami půdního pokryvu povodí. V rámci grantového projektu byla získána nová data o propustnosti a retenční vodní kapacitě zemědělsky využívaných i lesních půd. Tyto půdní charakteristiky v kombinaci s daty o využívání území jsou využívány k odvození parametru srážkoodtokového modelu sloužícího pro výpočet přímého povodňového odtoku. Pro vlastní odvození povodňové vlny a odhad dalších parametrů modelu HEC-1 byl připraven metodický postup, který byl již ověřen na povodích několika vodních děl.

Klíčová slova: bezpečnost vodních děl, deterministický srážkoodtokový model, návrhová srážka, návrhový hyetogram, jednotkový hydrogram, metoda CN, teoretická návrhová povodňová vlna

Derivation of theoretical design flood hydrographs by deterministic methods for the assessment of dam safety during floods. *Grant research and development project in the program of the Ministry of Agriculture with the code QD1368 and name "Verification of methods for the derivation of hydrological bases for the assessment of dam safety during floods" was being solved in the period from July 2001 to June 2004 and is closely connected to the project "Development of methods for the determination of extreme floods", which was being solved during 1997 to 2000 under the guaranty of the Ministry of Environment. Deterministic approaches of derivation of theoretical flood hydrographs were in the previous project solved especially at the VÚV T.G.M., using the frequency version of the TOP-model for the modelling of the precipitation-runoff process with stochastically generated precipitation. The disadvantage of the application of this model is the need for high quality and quantity of input data, the demands on time and computing equipment and the consequent need for higher financial means. This is why the method has not been put to practice. In the project QD1368, a thorough search was made of existing precipitation-runoff models, and the model HEC-1 proved to be the most suitable one for usage in hydrological practice. The HEC-1 model is program-wise ready, and therefore the main work in the project was aimed at gaining new and better quality base data as the basic input into this model. Also as an important part of the preparation of the input data into the model, an application was developed for the estimation of HEC-1 model parameters in the GIS environment on the basis of the digital terrain model. Within the framework of this project, new values have been derived of statistical characteristics of maximum precipitation of given duration on the basis of verified and supplemented database of maximum precipitation, which now covers the period of 1895-2002. This database and statistical characteristics were used also as a basis for the more exact estimation of the value of the probable maximum precipitation. Another important input data when solving a design flood is a so-called design hyetograph, which is the temporal pattern distribution of*

the overall design N-year maximum precipitation into shorter intervals. Because the shape of the hyetograph directly influences the course and the size of the peak discharge of the design flood hydrograph, the method of derivation of the design hyetograph was paid due attention. The volume of direct runoff during flood is, beside the size of the causative precipitation and the antecedent wetness of the catchment, influenced by the way of land use, and by the hydropedological characteristics of the catchment soil cover. Within the framework of a grant project, new data have been gained about the permeability and water retention capacity of agriculturally used and forest soils. These soil characteristics in combination with land use data are used for the derivation of a precipitation-runoff model parameter, which serves for the computation of direct flood runoff hydrograph. For the derivation of the flood hydrograph itself and for the estimation of other HEC-1 model parameters a methodology has been prepared, which has already been verified on several reservoirs' catchments.

Key words: dam safety, deterministic rainfall-runoff model, design precipitation, design hyetograph, unit hydrograph, CN method, theoretical design hydrograph.

ÚVOD

Metodika odvození teoretických povodňových vln deterministickými přístupy byla v ČHMÚ řešena v letech 2001–2004 v rámci grantového projektu „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní" programu VaV Ministerstva zemědělství ČR (Kulasová, Šercl, Boháč – 2004).

Metodický postup je založen na uplatnění vhodného srážkoodtokového modelu, pro který byly v průběhu řešení projektu připraveny všechny potřebné vstupy.

Cílem projektu nebylo proto vyvíjet nové srážkoodtokové modely, ale na základě rešerše literatury nalézt a pro podmínky ČR adoptovat model, který by splňoval následující požadavky:
- jednoduchá aplikace modelu, tj. příprava dat a výpočet nesmí být příliš časově náročné,
- obsažené metodologie v modelu musí být průhledné, tj. při změně parametrů modelu musí být chování modelu předvídatelné,
- parametry modelu bude možné odvodit z fyzicko-geografických charakteristik povodí, příp. bude možná jejich „přenositelnost" z charakterově podobného povodí.

Současně v rámci dalších výstupů tohoto grantu byl proveden výzkum a vývoj některých souvisejících metodik. Jedná se o:
- nové zpracování N-letých maximálních srážek o trvání 1–3 dny ve formě rastrových map a metodiku odvození N-letých maximálních plošných srážek,
- odvození hydrologických charakteristik půd (maximální retenční kapacita, propustnost) pro účely stanovení přímého povodňového odtoku,
- metodiku stanovení návrhových zatěžovacích hyetogramů s využitím srážkoměrných a radarových měření,
- upřesnění stávající metody odhadu plošné PMP (pravděpodobné maximální srážky) za využití numerických předpovědních modelů a radarových měření.

Jedním z modelů, který v podstatě splňuje požadavky na rutinní provoz v hydrologické praxi ČHMÚ, je srážkoodtokový událostní model HEC-1, vyvinutý v 60. letech v armádní hydrologii USA. Program řeší v několika variantách výpočet odtokové ztráty (např. SCS metoda CN-křivek) a pro transformaci odtoku z povodí využívá metodu jednotkového hydrogramu (např. metoda Clarka). Vstup srážek je řešen rovněž několika způsoby. HEC-1 umožňuje mimo jiné i modelovat odtok z tání sněhu, simulovat průchod povodňové vlny nádrží a omezeně i transformaci povodňové vlny v korytě (metody Muskingum či Muskingum-Cunge). Hlavní předností modelu je možnost kompozice řešeného povodí z menších celků, pro které se zadávají parametry.

Model HEC-1 byl v průběhu řešení projektu podrobně testován s poměrně úspěšnými výsledky a metodika odvození teoretických povodňových vln v ČHMÚ je proto založena na využití tohoto modelu.

Vedle ČHMÚ se na přípravě metodiky rovněž podíleli odborníci z Ústavu fyziky atmosféry (ÚFA) AV ČR a Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy (VÚMOP).

POPIS METODICKÉHO POSTUPU

Hlavní kroky zmíněného metodického postupu odvození návrhové povodňové vlny spočívají v:

a) sestavení tzv. hydrologického modelu povodí pro zvolený srážkoodtokový model, tj. schématické rozdělení povodí na dílčí subpovodí a eventuálně i říční úseky pro výpočet postupu povodňové vlny,
b) určení příslušné N-leté srážky na povodí
c) určení zatěžovacího hyetogramu, tj. rozdělení návrhové srážky do kratších, většinou hodinových intervalů
d) určení parametrů odtokových ztrát a stanovení podílu tzv. efektivního deště metodou CN-křivek na základě využívání území a hydrologických charakteristik půd
e) určení parametrů jednotkového hydrogramu na základě fyzicko-geografických parametrů povodí
f) výpočet teoretické povodňové vlny.

Software a dokumentace

Srážkoodtokový model HEC-1 je v současné době implementován do několika softwarových systémů, z nichž nejznámější a nejpoužívanější jsou systémy WMS a HEC-HMS.

WMS je programový systém pro nejrůznější hydrologické výpočty zaměřený zejména na rozsáhlou přípravu vstupních dat pro několik podporovaných srážkoodtokových modelů, které jsou jako vnější procedury systémem spouštěny. Jedná se tedy o jakousi zastřešující nadstavbu a rozhraní pro celou řadu programů, dnes zejména široce používaných v USA (např. HEC-1). Vstupní data v podobě fyzicko-geografických charakteristik povodí jsou odvozována ze vstupního digitálního výškového modelu (DEM) zkoumaného území, tím má tento systém i významné rysy geografického informačního systému (GIS) jakožto základního podpůrného aparátu pro hydrologické modelování v ploše. Možnosti využití prostředků GIS v rámci systému WMS se stále rozšiřují, v nejnovější verzi je podporován ArcGIS pomocí rozhraní ArcObjects.

Systém WMS vznikal v USA v průběhu devadesátých let (nyní je k dispozici verze 7.1) na Birgham Young University. Je šířen komerčně, ale za účelem otestování je možné omezeně funkční verzi stáhnout z internetu z adresy http://www.ems-i.com/WMS/wms.html.

Oproti tomu HEC-HMS je volně k dispozici na internetu (verze 2.2.2 na adrese http://www.hec.usace.army.mil), přičemž nabízí také rozsáhlé možnosti experimentování s modelováním odtoku v rámci srážkoodtokového modelu HEC-1, obsahuje rovněž i velmi dobré optimalizační rutiny. Jinak obecně prostředí programu HEC-HMS nenabízí ani zdaleka tolik možností jako systém WMS, především neobsahuje prostředí GIS pro práci s digitálním výškovým modelem. Pro tyto účely je k dispozici na stejné adrese extenze pro ArcView 3.x s názvem HEC-GeoHMS, která byla dále na úseku hydrologie ČHMÚ rozšířena jako HEC-GeoHMS Add-In.

Vzhledem k tomu, že systém HEC-HMS a veškerý podpůrný software jsou volně k dispozici a tudíž má větší perspektivu pro užívání v hydrologické praxi ČHMÚ, další kapitoly v tomto textu budou zaměřeny právě na tento systém a jeho možnosti využití při výpočtech pomocí modelu HEC-1. Popis modelů je uveden v (US Army Corps of Engineers – 1990, 2000, 2001).

Sestavení hydrologického modelu v prostředí GIS

Dříve než je možné přistoupit k vlastnímu srážko-odtokovému modelování v prostředí HEC-HMS, je nutné sestavit hydrologický model zkoumaného povodí. Pod pojmem hydrologický model povodí si lze představit orientovaný graf, kde body tvoří soutokové uzly říční sítě a povodí reprezentovaná

charakteristickým bodem (např. těžištěm), zatímco linie tvoří úseky říční sítě a spojnice bodů povodí a soutokových uzlů.

Pro účely sestavení hydrologického modelu povodí se využívá extenzí pro ArcView 3.x HEC-GeoHMS a HEC-GeoHMS Add-In, který kromě zmíněného ArcView vyžadují ještě Spatial Analyst, což je nadstavba (extenze) ArcView pro práci s gridovými daty. Vlastní sestavení hydrologického modelu povodí a příprava dat pro export do systému HEC-HMS zahrnuje tyto činnosti:

- příprava digitálního modelu terénu v rámci řešeného území (tvorba hydrologicky korektního výškového modelu, výpočet vektorů stékání atd.),
- odvození rozvodnic a říční sítě,
- určení závěrového profilu povodí, příp. dalších profilů uvnitř řešeného povodí,
- určení finální podoby modelu povodí a říční sítě,
- výpočet fyzicko-geografických charakteristik povodí,
- výpočet doby koncentrace povodí, příp. dalších charakteristik modelu,
- sestavení a export hydrologického modelu povodí pro HEC-HMS.

Příprava vstupních srážkových dat

Pro každé (sub)povodí je možné v HEC-HMS zadat průměrnou srážku na povodí, a to buď:

a) odvozenou z pozorovaných bodových srážek konkrétní srážkové události, nebo
b) určenou statistickými metodami jako N-letou návrhovou srážku (1denní, 2denní atd.).

Srážka se zadává ve formě hyetogramu v určitém kroku (zpravidla hodinovém). Aplikace modelu na pozorovaných srážkových událostech slouží zpravidla:

a) ke kalibraci parametrů modelu, pokud je na daném povodí k dispozici i vodoměrné pozorování, případně
b) k odvození teoretického průběhu povodňové vlny na nepozorovaném povodí.

V případě výpočtu N-leté teoretické povodňové vlny je nutné nejprve odvodit návrhovou N-letou plošnou srážku daného trvání. K dispozici jsou bodové N-leté 1–3denní maximální srážky zpracované do formy rastrových map. (Na obr. 1 je uvedena mapa 1denních 100letých maximálních srážek.)

Průměrná plošná hodnota srážky odvozená z map bodových hodnot je korigována:

- koeficientem přepočtu z fixního časového intervalu na plovoucí časový interval,
- koeficientem redukce závislým na ploše a trvání srážky.

Obtížný metodický problém nastává při konstrukci tzv. zatěžovacího hyetogramu, tzn. v tomto případě rozložení návrhové N-leté plošné srážky o trvání např. 24 hodin do kratších zpravidla hodinových intervalů. Klíčové je zejména určení délky trvání a hodinových intenzit rozhodující, extrémní fáze hyetogramu, která má největší vliv na formování povodně a velikost kulminačního průtoku.

V současné době jsou využívány tyto metody:

a) metoda založená na 100letých hodinových intenzitách dle Trupla (přístup ČHMÚ),
b) metoda založená na zpracování radarových dat a rozdělení území ČR do charakteristických oblastí.

Metoda ad a) je založena na zpracování 100letých hodinových srážek z ombrografických pozorování vyhodnocených Truplem a spočívá v odvození poměrů 100letých hodinových a 1denních srážek. Na základě těchto poměrů je určena maximální pořadnice hyetogramu, která má největší vliv na výsledný tvar povodňové vlny a výslednou hodnotu kulminačního průtoku. Ostatní pořadnice jsou rozděleny symetricky pomocí trojúhelníkového rozložení.

Metoda ad b) vychází ze zpracování radarových dat, kdy bylo zkoumáno časové a prostorové rozložení srážky s dobou opakování 1denního úhrnu delší než 2 roky. Výsledkem je územní rozdělení ČR do 4 charakteristických oblastí, které se liší tvarem návrhového hyetogramu. Byly víceméně

potvrzeny výsledky metody ad a), které ukazují, že v horských a podhorských oblastech jsou extrémní 1denní úhrny tvořeny především z orograficky zesílených srážek, zatímco na ostatním území se jedná o bouřkové přívaly.

Výpočet přímého odtoku – metoda CN-křivek

Program HEC-HMS nabízí několik metod pro výpočet přímého odtoku. Mezi nejpoužívanější pro svoji jednoduchost patří metoda CN-křivek, kdy podle druhu půdního pokryvu a tzv. hydrologické skupiny půdy (charakteristik propustnosti) je určena tzv. hodnota CN (rozsah 0–100) pro dané povodí. Hodnota blízká 100 je u téměř nepropustných ploch, běžné hodnoty CN se pohybují v rozmezí 55-85.

Ve spolupráci s Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půdy (VÚMOP) byla v rámci zmíněného grantového projektu připravena nová metodika pro stanovení hydrologických skupin půd. Dle podkladů VÚMOP byly odvozeny gridové vrstvy některých hydrologických charakteristik půd (propustnost, maximální retenční kapacita). Tyto vrstvy mohou nalézt uplatnění v různých oblastech srážko-odtokového modelování, ale především na jejich základě byla aktualizována gridová vrstva hodnot CN pro model HEC-1. Jako podkladová vrstva využívání území (půdního pokryvu), která rovněž slouží pro odvození hodnot CN, byla využita data z projektu CORINE.

Extenze pro ArcView GIS „HEC-GeoHMS Add-In“ umožňuje vypočítat průměrnou hodnotu CN na jednotlivá subpovodí hydrologického modelu, a to na podkladě citované gridové vrstvy CN. Mapa hodnot CN je uvedena na obr. 2.

Výpočet teoretické povodňové vlny

Volba metody transformace přímého odtoku je klíčovou součástí metodického postupu, neboť přímo určuje tvar vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku.

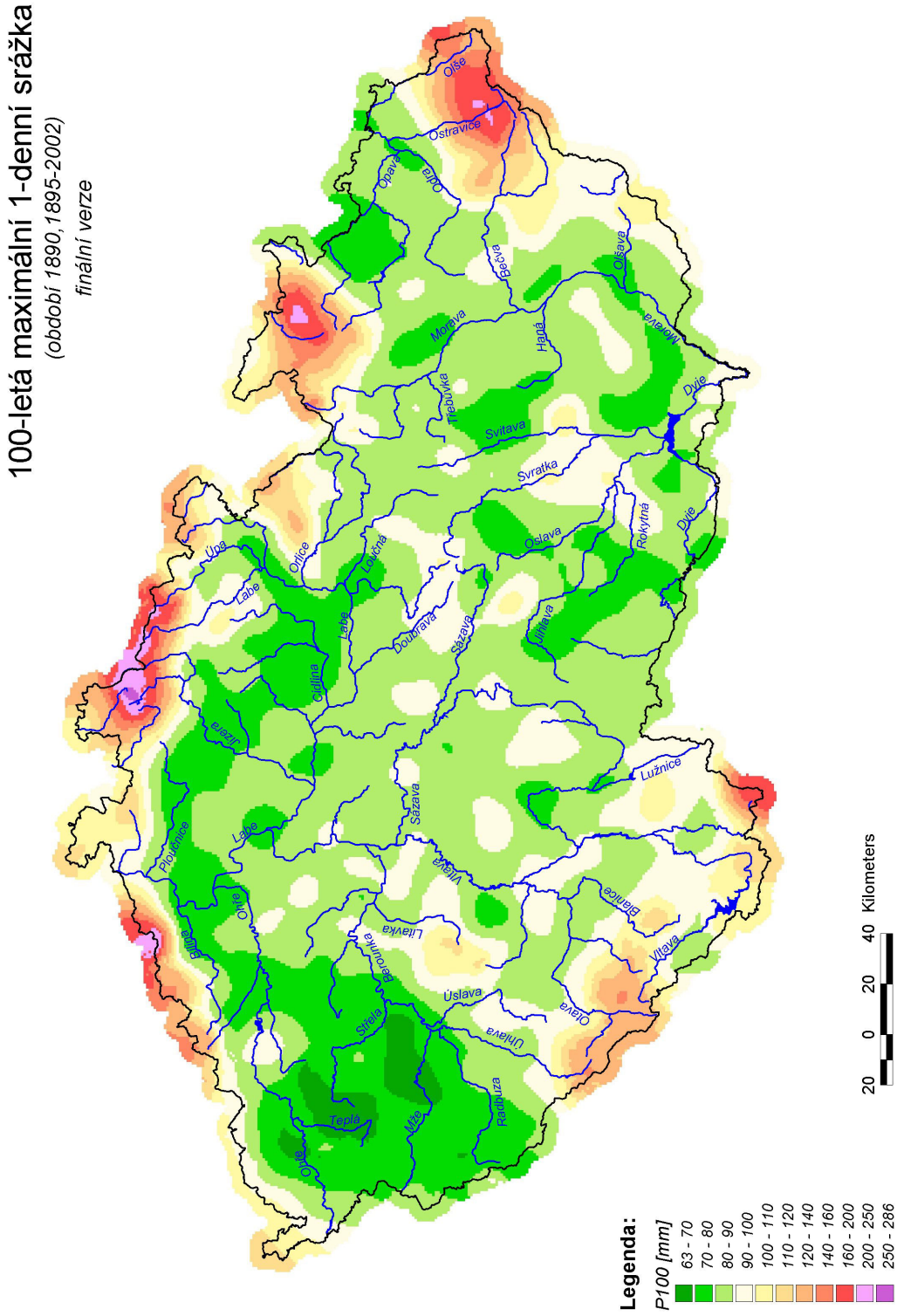
Jako transformační funkci povodí používá model HEC-1 jednotkový hydrogram. Prostředí HEC-HMS nabízí několik typů jednotkových hydrogramů, v praxi ČHMÚ je používán jednotkový hydrogram dle Clarka, který disponuje těmito parametry:

- *TC* – doba koncentrace povodí (hod)
- *R* – tzv. transformační faktor (hod), simulující dobu zadržení vody v povodí (storage coefficient)
- závislost doby dobíhání a velikosti plochy povodí při zasažené celé ploše povodí (tzv. time-area curve)

Parametry *TC* a *R* jsou odhadovány z fyzicko-geografických charakteristik povodí na základě vzorců:
Pro výpočet doby koncentrace je k dispozici několik vzorců, nejpoužívanější je vzorec SCS (Soil Conservation Service v USA) pro odvození tzv. TLAG (časový posun v hodinách mezi výskytem maxima příčinné srážky a výskytem kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí):

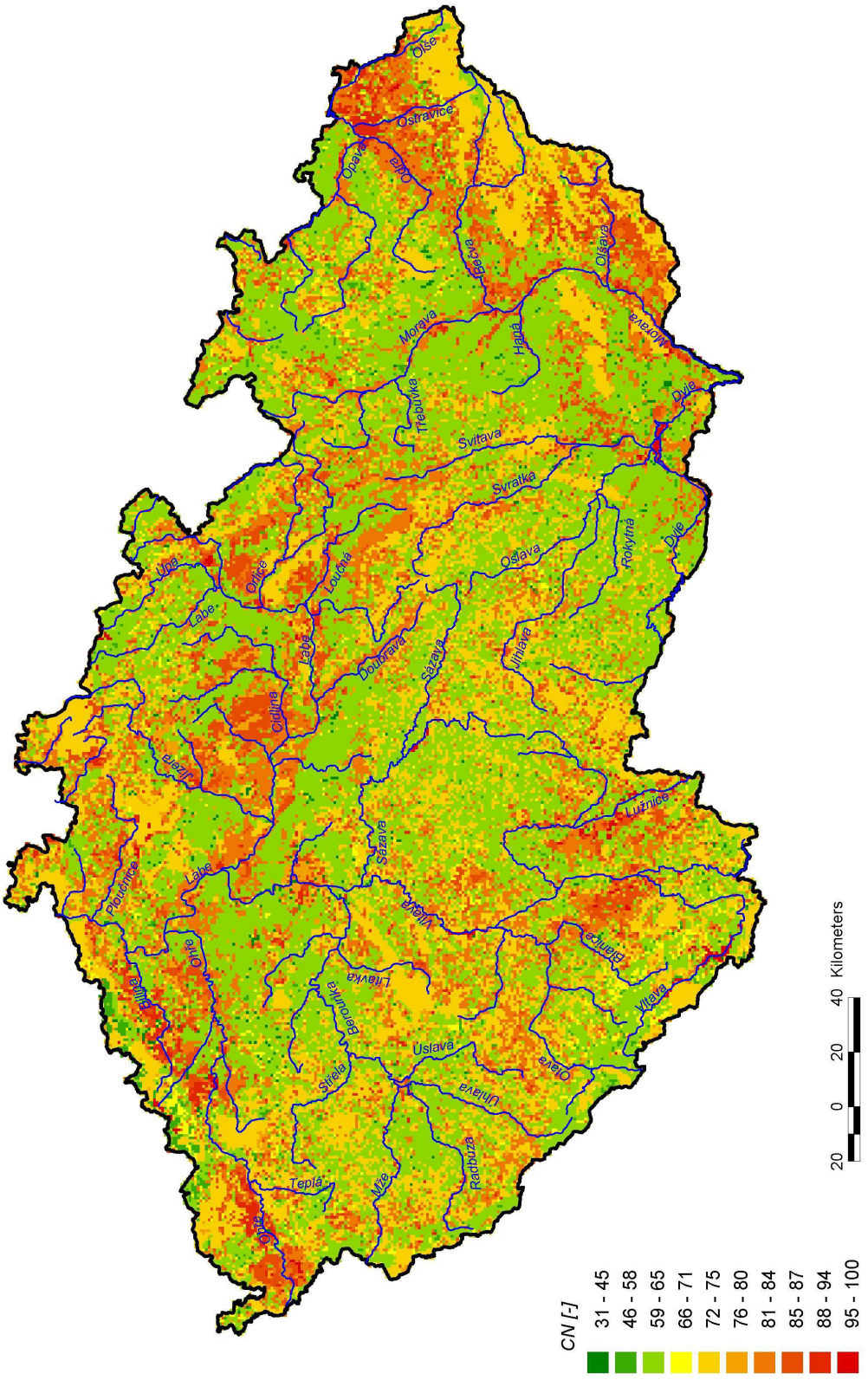
$$T_{LAG} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}}, \text{ kde} \qquad (1)$$

L délka údolnice k rozvodnici (feet)
S maximální retence povodí (inches)



Obr. 1 Maximální jednodenní srážka s dobou opakování 100 let

Fig. 1 Maximum 100year precipitation with duration 24 hours



Obr. 2 Hodnoty CN na území ČR odvozené na základě nových půdních charakteristik

Fig. 2 CN values on the Czech territory derived from the new soil characteristics

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad (2)$$

Y průměrný sklon povodí v procentech

Doba koncentrace TC je poté odhadnuta jako $1.67*T_{LAG}$. (3)

Extenze pro ArcView „HEC-GeoHMS Add-In“ zahrnuje kromě zmíněného vzorce (1) výpočet doby koncentrace i dle dalších přístupů, na každý je však vhodný pro daný typ podmínek zkoumaného povodí.

Pro určení koeficientu R existuje jen minimum výpočetních vzorců, zpravidla se pro výpočet teoretické vlny na nepozorovaných povodích odhaduje velikost koeficientu R jako n-násobek doby koncentrace:

$R = n \,.\, TC$ (hod), kde (4)

hodnota „n“ se nejčastěji pohybuje v rozmezí intervalu 1,2–2.

Po provedení důkladnější rešerše literatury byl implementován vzorec pro výpočet R ve tvaru:

$$R = A \cdot L^B \cdot S_{1085}^C, \text{ kde} \qquad (5)$$

L je maximální délka toku v povodí v mílích (mi),

S_{1085} je průměrný sklon povodí podél maximální délky toku ve stopách na míli (ft/mi) v úseku mezi 10–85% délky,

A, B, C jsou parametry rovnice odvozené pro stát Illinois v USA (Straub, Melching, Kocher – 2000), které pro podmínky ČR byly upraveny na hodnoty A = 80, B = 0.342, C = -0.79. Podle dosavadních zkušeností dává rovnice (5) vcelku přijatelné výsledky.

PŘÍKLAD 1 – POVODÍ JEZDECKÁ

Jako příklad malého povodí bylo zde vybráno povodí Jezdecká na Černé Desné v Jizerských horách s plochou povodí 4,73 km^2. Je to jedno ze sedmi experimentálních povodí ČHMÚ, kde jsou k dispozici relativně velmi podrobné údaje o spadlých srážkách. Je to proto povodí ideální pro testování srážkoodtokových modelů.

Model povodí je znázorněn na obr. 3, jedná se o nejjednodušší typ modelu, neboť sestává jen z jediného prvku povodí.

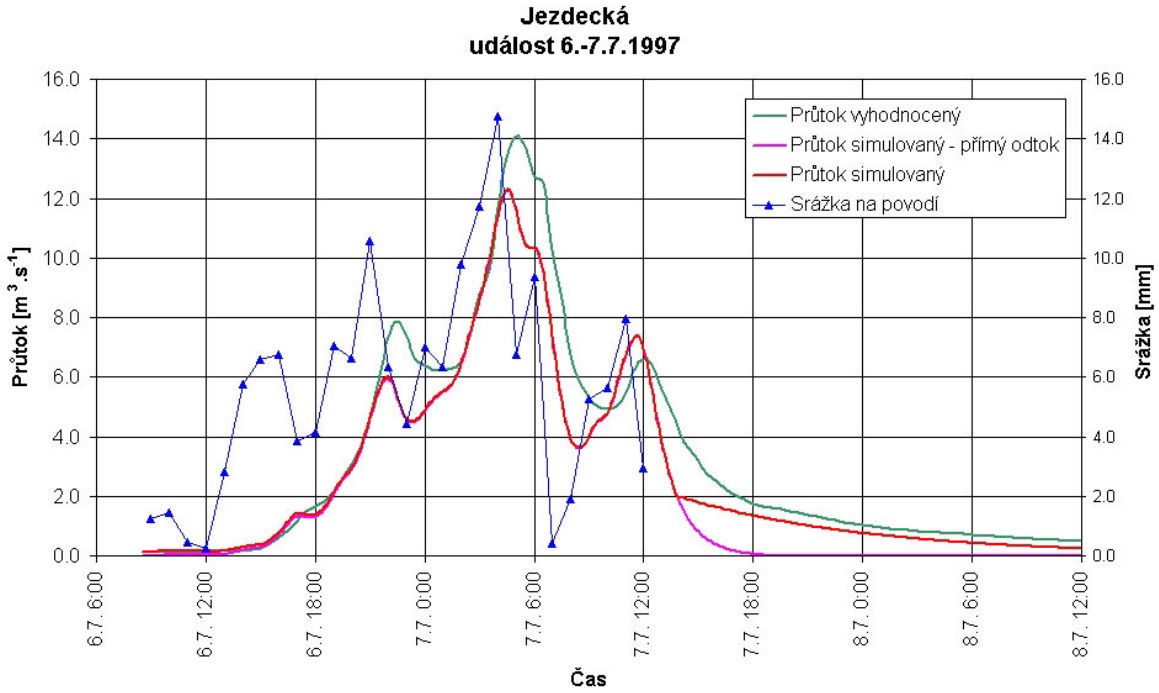
Na obrázcích 4-7 jsou znázorněny simulace vybraných srážkových událostí na povodí Jezdecká, kde parametry modelu byly odhadnuty z fyzicko-geografických charakteristik povodí. Výsledky prokazují celkem uspokojivou shodu simulovaných a dle měrné křivky odvozených průtoků.

Na obr. 8 jsou uvedeny návrhové hyetogramy stanovené dle obou dříve zmíněných metod, a to na podkladě odvozené plošné 100leté 1denní srážky. Odpovídající odtoková odezva je znázorněna na obr. 9.



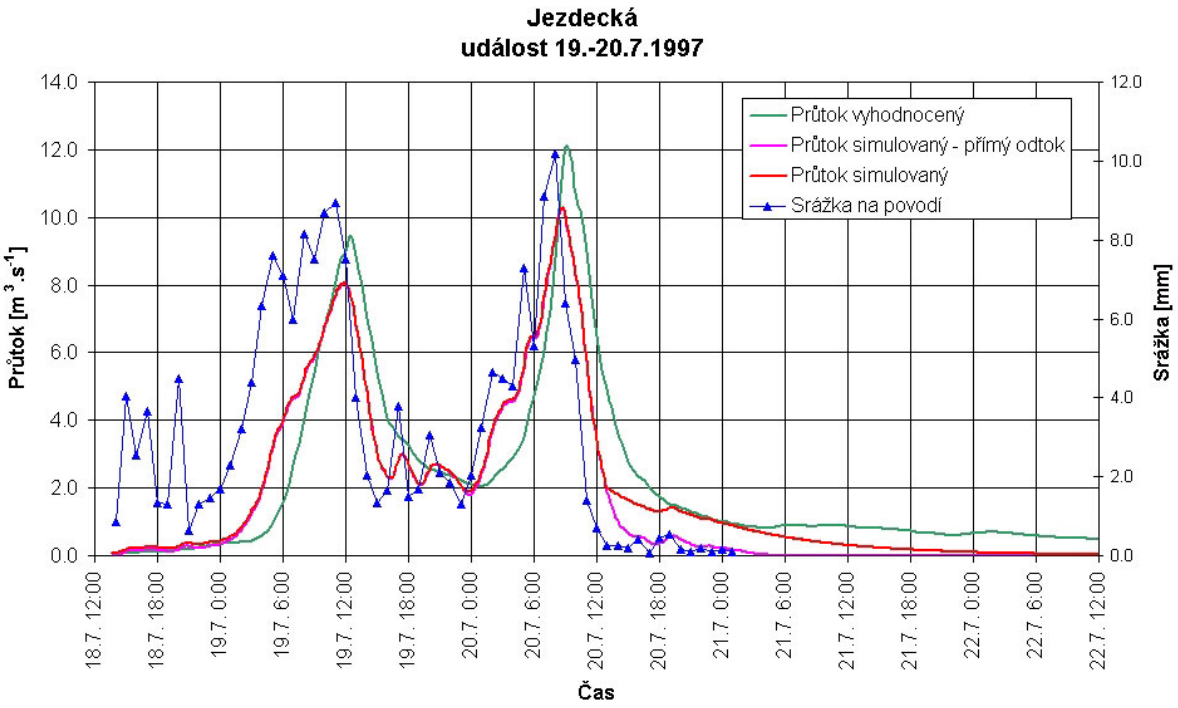
Obr. 3 Hydrologický model povodí Jezdecká po importu do prostředí HEC-HMS

Fig. 3 Hydrological model of Jezdecká catchment after the import into HEC-HMS environment



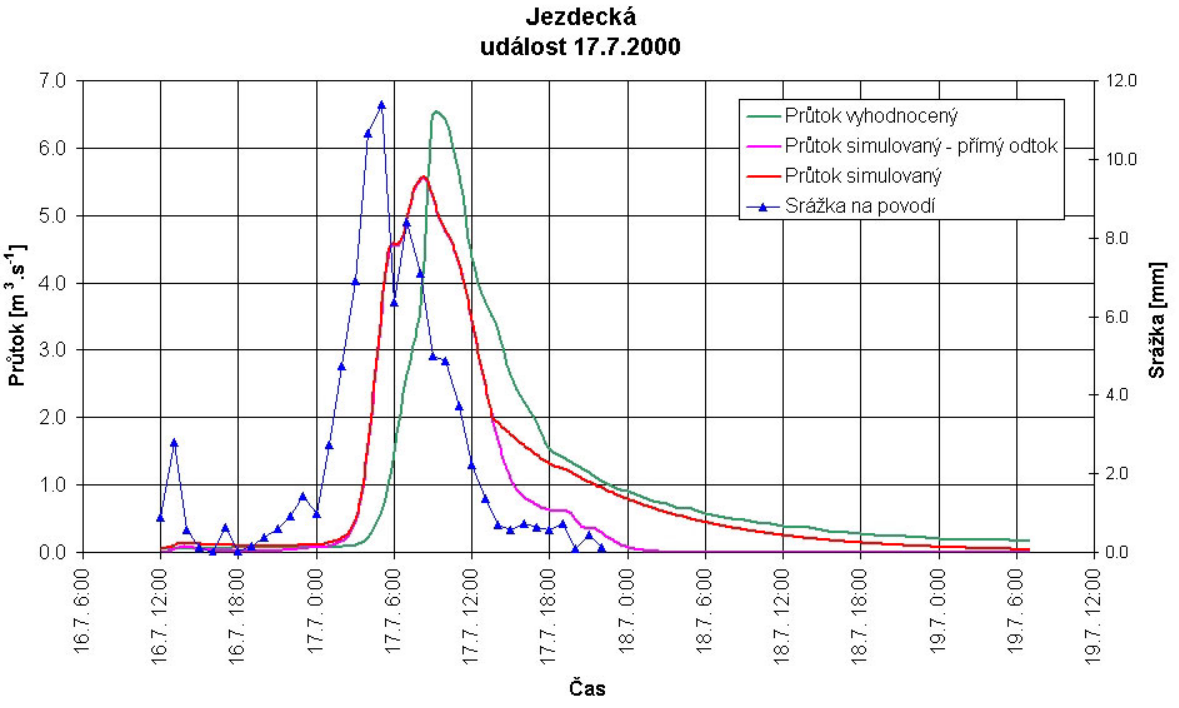
Obr. 4 Simulace povodňové události z 6. – 7. 7. 1997

Fig. 4 Simulation of the flood event 6–7 July 1997



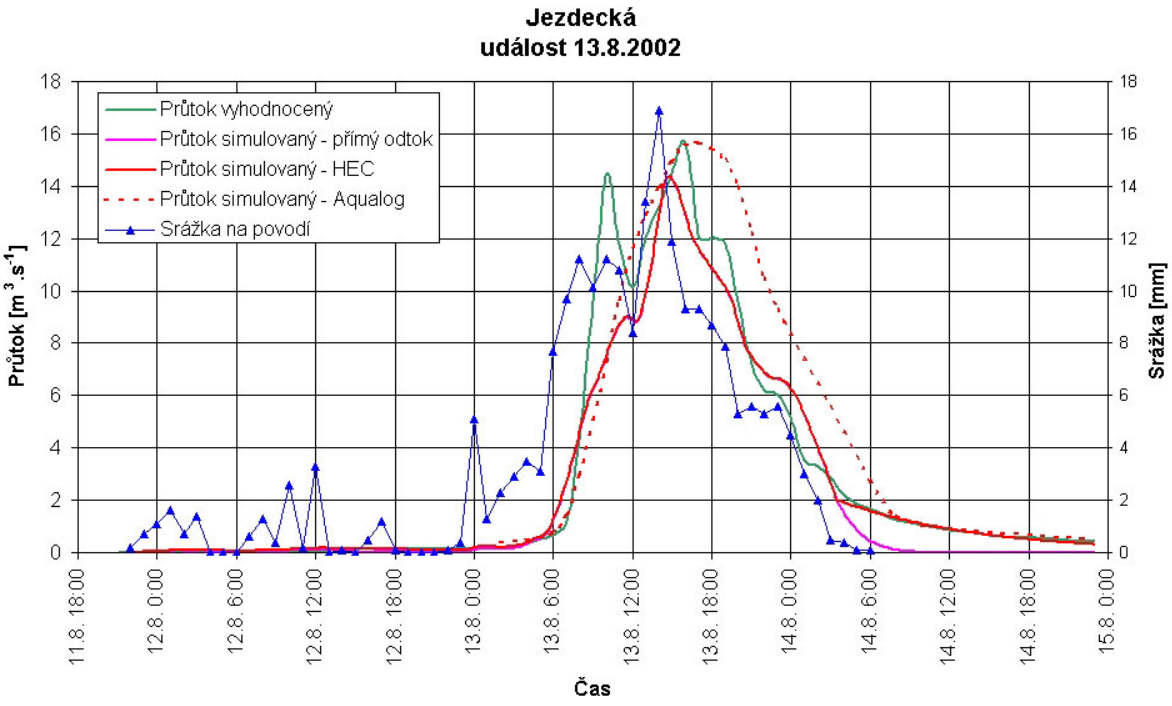
Obr. 5 Simulace povodňové události z 18. – 19. 7. 1997

Fig. 5 Simulation of the flood event 18–19 July 1997



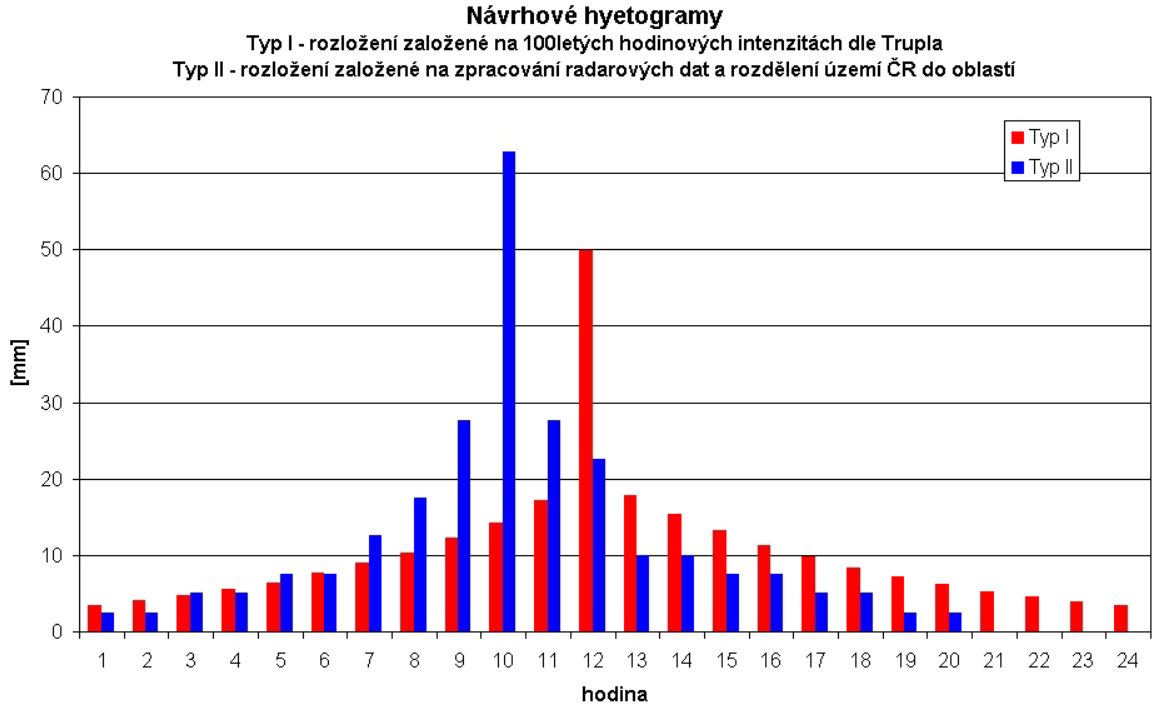
Obr. 6 Simulace povodňové události z 17. 7. 2000

Fig. 6 Simulation of the flood event 17 July 2000



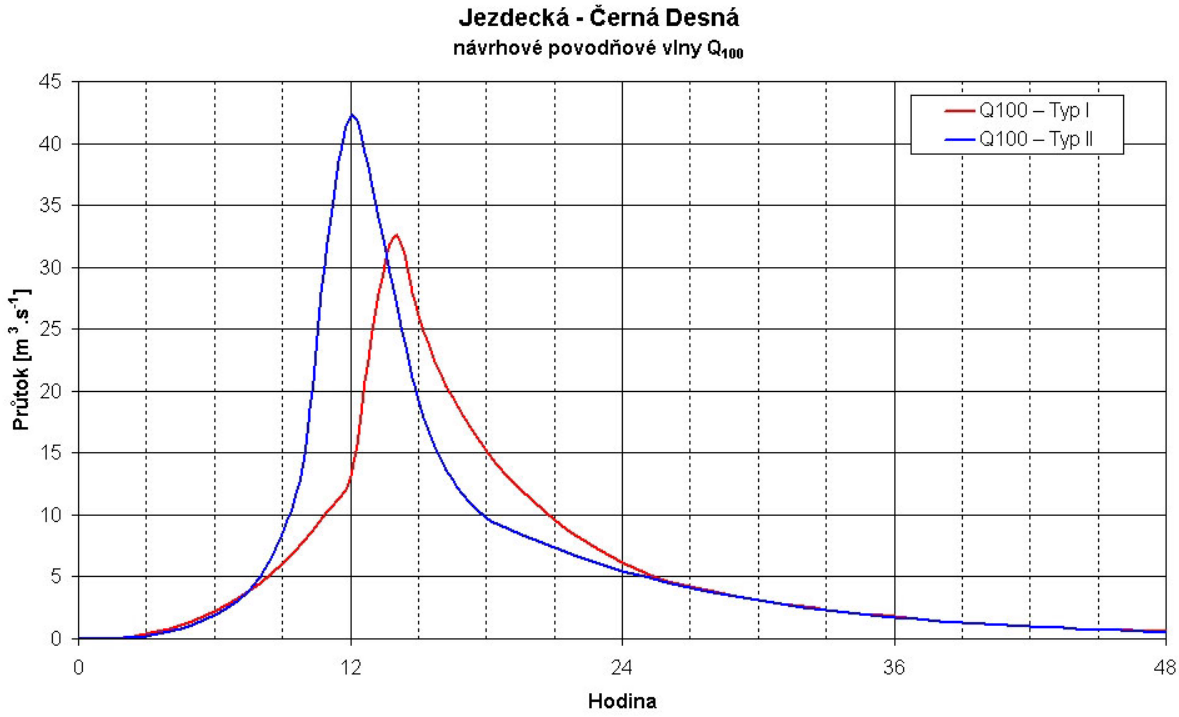
Obr. 7 Simulace povodňové události z 13. 8. 2002

Fig. 7 Simulation of the flood event 13 August 2002



Obr. 8 Návrhové hyetogramy 24hodinové 100leté srážky pro povodí Jezdecká

Fig. 8 Design hyetographs of 100year 24 hours precipitation for Jezdecká catchment



Obr. 9 Teoretické povodňové vlny s dobou opakování 100 let na povodí Jezdecká

Fig. 9 Design hydrographs with 100year recurrence interval for Jezdecká catchment

PŘÍKLAD 2 - NÁVRHOVÁ POVODŇOVÁ VLNA $Q_{10\,000}$ PRO VD ŽLUTICE NA STŘELE

Sestavení hydrologického modelu, odvození parametrů

Hydrologický model byl sestaven v prostředí HEC-GeoHMS, kde byly vypočteny po odvození průběhu rozvodnic na základě digitálního modelu terénu také potřebné fyzicko-geografické charakteristiky všech (pod)povodí a odhadnuty parametry modelu HEC-1.

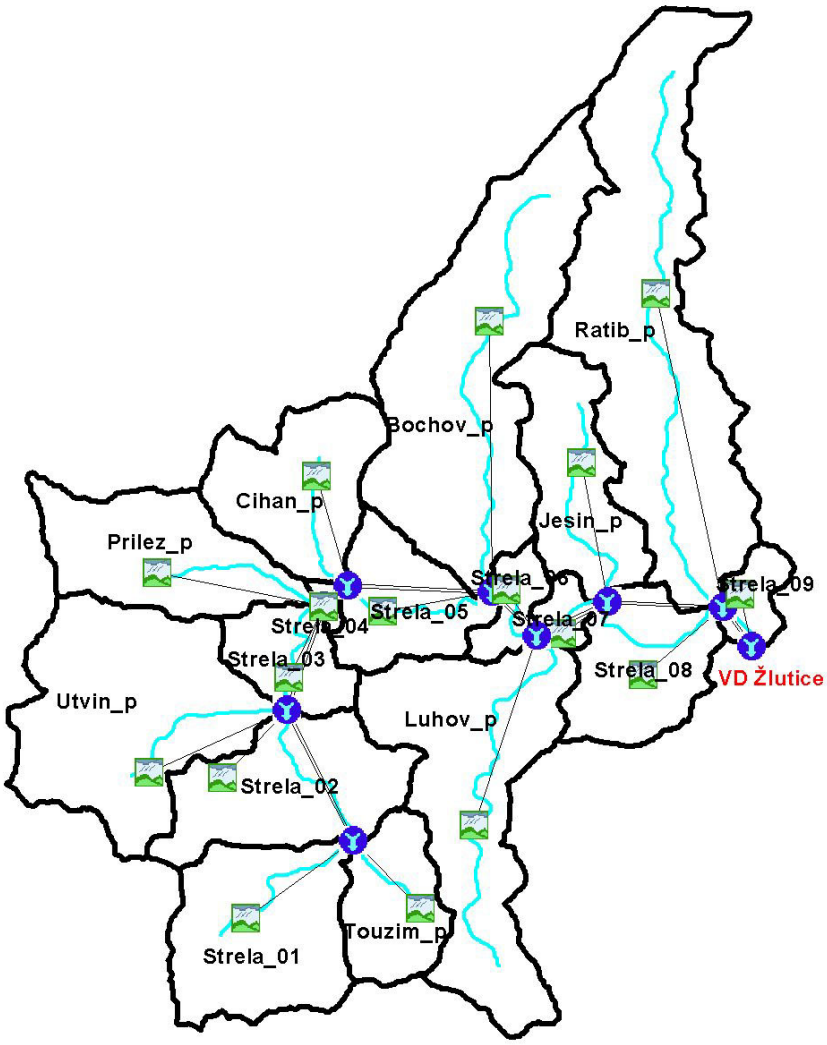
Tab. 1 Základní fyzicko-geografické a hydrologické charakteristiky povodí k hrázi VD Žlutice

Tab. 1 Basic physiogeographical and hydrological characteristics of Žlutice reservoir catchment

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Název	VD Žlutice	
Tok	Střela	
Číslo hydrologického pořadí	1-11-02-0190	
Plocha povodí	214.36	km^2
Průměrná nadm. výška	649	m n. m.
Sklon povodí	0.083	$m.m^{-1}$
Délka údolnice	29.42	km
Sklon údolnice	0.0095	$m.m^{-1}$
Srážka 1931–1980	650	mm
Odtok 1931–1980	188	mm

Charakteristika	Hodnota	Jednotka
Průměrný průtok 1931–1980	1.282	$m^3.s^{-1}$
$P_{10\,000}$ 1denní (korig.)	109	mm
$P_{10\,000}$ 2denní (korig.)	147	mm

Schematizovaný hydrologický model povodí je tvořen celkem 17 prvky představujícími povodí a dále 8 prvky představujícími říční úseky, viz obr. 10.



Obr. 10 Schéma hydrologického modelu povodí Střely po VD Žlutice

Fig. 10 Schema of the hydrological model of Žlutice reservoir catchment

Jako návrhové srážky byly použity plošné srážky trvání 1 den a doby opakování 10 000 let. Byly odvozeny z rastrových map o velikosti pixelu 1000×1000 metrů jako průměr z pixelů na ploše daného povodí. Na výsledné hodnoty srážek byla aplikována plošná redukce a korekce na plovoucí časový interval měření. Prostorové rozdělení srážky bylo uvažováno jako rovnoměrné pro celé povodí.

Návrhové hyetogramy byly odvozeny oběma přístupy uvedenými v předchozím textu a jsou znázorněny na obr. 11. V přístupu v odvození návrhového hyetogramu dle ÚFA AV ČR spadá povodí

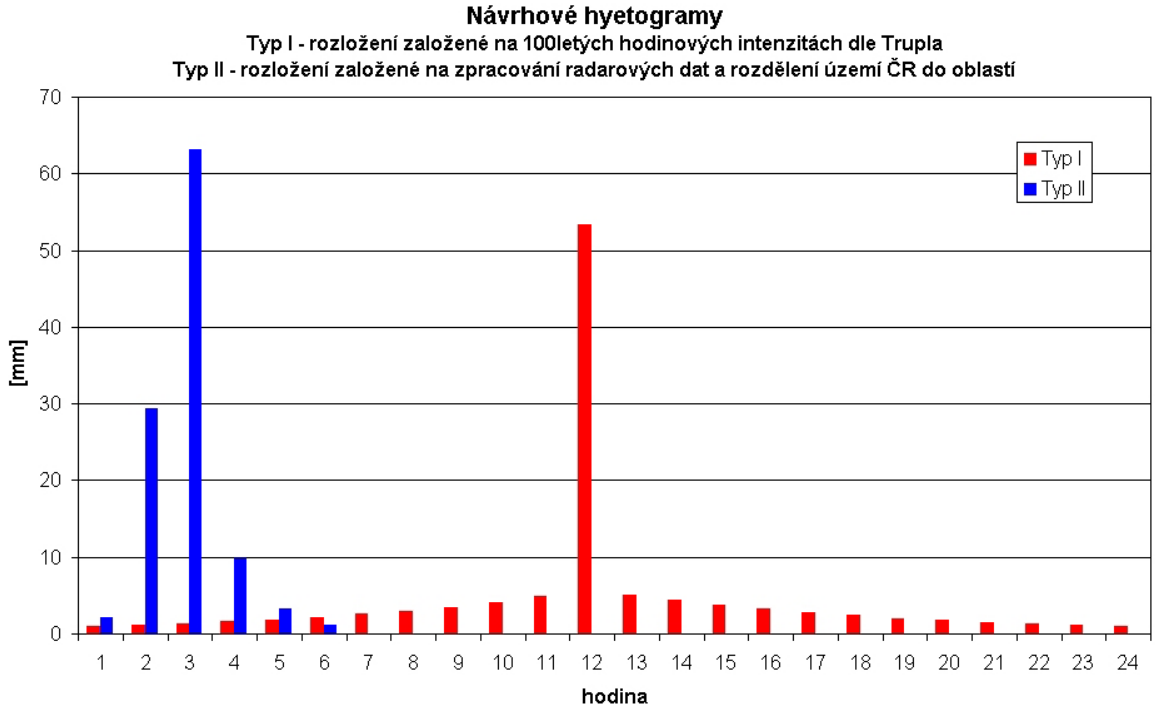
Střely po VD Žlutice do oblasti s výrazným vlivem konvektivních srážek na formování odtoku z malých a středních povodí.

Pro odvození parametrů odtokových ztrát byla použita rastrová mapa hodnot CN, získaných na základě využívání území (projekt Corine Land Cover) a hydrologických charakteristik půd (propustnost, max. retenční kapacita). Byly vždy určeny průměrné hodnoty CN na každé (pod)povodí s tím, že nebyly uvažovány počáteční ztráty.

Parametry jednotkového hydrogramu, tj. doba koncentrace povodí TC a tzv. „storage“ koeficient R charakterizující dobu zdržení vody v povodí (Clarkův model) byly určeny na základě fyzicko-geografických charakteristik povodí. Pro výpočet časového posunu a odhad transformace povodňové vlny v říčních úsecích byla použita metoda Muskingum.

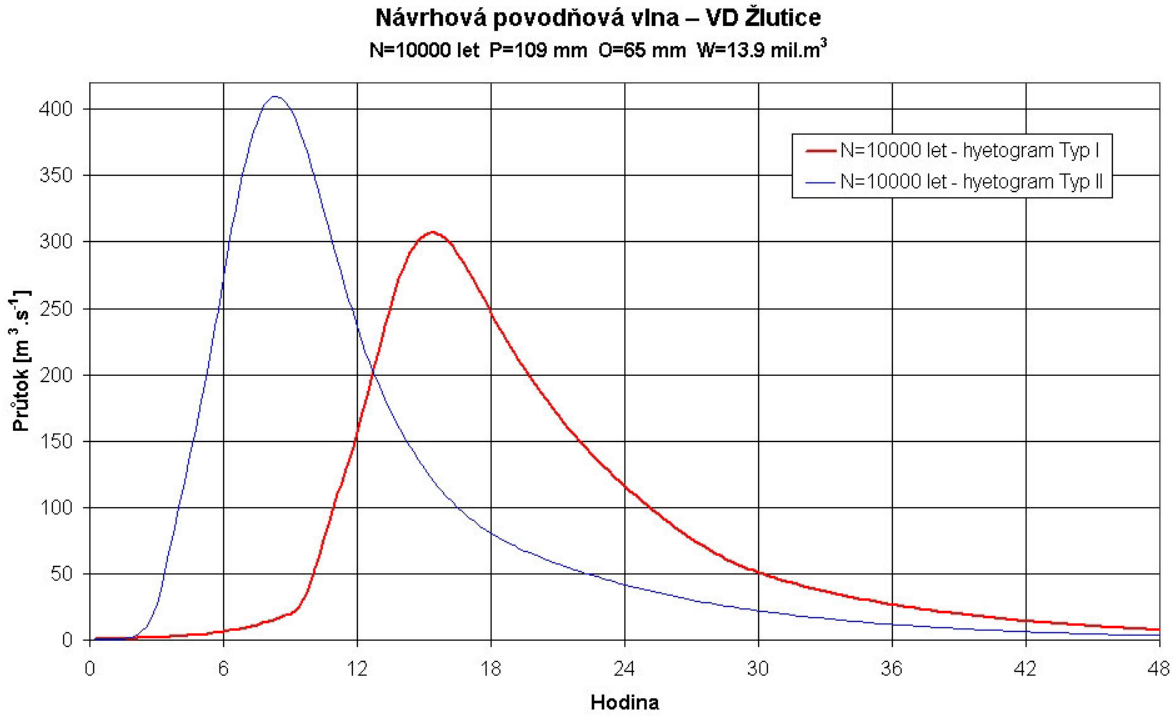
Odvození teoretických návrhových povodňových vln

Na základě obou typů hyetogramů (obr. 11) byly odvozeny teoretické návrhové povodňové vlny s dobou opakování N=10 000 let. Jejich průběh je znázorněn na obr. 12. Obě návrhové povodňové vlny mají shodný objem (vychází ze shodného celkového objemu srážek), liší se však výrazně v tvaru hydrogramu, přičemž vlna odvozená z hyetogramu dle metody ÚFA AV ČR má vyšší kulminaci a rychlejší nástup, což je dáno tvarem návrhového hyetogramu.



Obr. 11 Návrhové hyetogramy 24hodinové srážky s periodicitou 0.0001 pro povodí VD Žlutice

Fig. 11 Design hyetographs of 24 hours precipitation with 0.0001 periodicity for Žlutice reservoir catchment



Obr. 12 Teoretické povodňové vlny s peridicitou 0.0001 pro profil VD Žlutice

Fig. 12 Design hydrographs with 0.0001 periodicity for Žlutice reservoir catchment

ZÁVĚR

Kulminační průtok výsledné teoretické povodňové vlny stanovené na základě zatěžovacího hyetogramu návrhové srážky o době opakování N nemusí být nutně charakterizován stejnou dobou opakování N. Objem povodňové vlny by však u srážek s malou pravděpodobností výskytu měl mít shodnou dobu opakování jako návrhová srážka. Tvar výsledné vlny je silně determinován tvarem hyetogramu, je tudíž snahou stanovit co nejnepříznivější hyetogram.

Metodický postup založený na modelu HEC-1 lze zhodnotit takto:

a) Obecně je použitelný spíše pro menší povodí (cca do 500 km^2) horského a podhorského typu, příp. všude tam, kde jsou velikost a tvar povodňové vlny formovány morfologií terénu v povodí a hydraulicko-morfologické charakteristiky koryt a inundací hrají spíše podružnou roli.
b) V otázce návrhových srážek je nejsložitější otázkou definice vhodného návrhového hyetogramu pro dané povodí. V textu jsou zmíněny dvě metody odvození návrhového hyetogramu, které bude ale ještě třeba více prověřit v praxi.
c) Ke stanovení přímého odtoku (odtokových ztrát) byla i přes její nedostatky doporučena metoda CN-křivek, neboť je dobře aplikovatelná na nepozorovaná povodí a veškerá vstupní data jsou dnes již k dispozici. Otázkou zůstává další prověření hodnot CN odvozených empiricky z dat využívání území a hydrologických skupin půd, a to na konkrétních pozorovaných událostech, a jejich případná korekce.
d) Pro odhad parametrů jednotkového hydrogramu pro transformaci přímého odtoku jsou k dispozici regresní vztahy s vazbou na fyzicko-geografické charakteristiky povodí, které se zatím plně osvědčily.

Celkově je nutné konstatovat, že zmíněný metodický postup je založen na odvozování teoretických povodňových vln z přívalových či silně orograficky zesílených srážek, tedy se jedná o povodně vyskytující se převážně v letní polovině roku. Pro odvozování teoretických povodní zimního typu by bylo nutné zpracovat maximální srážky zvlášť za obě poloviny roku (zimní, letní), revidovat a

případně doplnit údaje o výšce a vodní hodnotě sněhové pokrývky a připravit metodický postup pro výpočet odtoku z tání sněhové pokrývky. Otevřenou otázkou dále zůstává metoda odvození návrhových hyetogramů, jejíž aktualizace závisí na okamžiku ukončení revize ombrografických pozorování v ČHMÚ a zpracování N-letých maximálních srážek kratšího trvání.

Literatura:

Janeček, M. (1998): Použití metody čísel odtokových křivek CN k navrhování protierozních opatření. Praha, VÚMOP.

Kulasová B., Šercl P., Boháč M. (2004): Projekt QD1368 „Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní". Závěrečná zpráva. Praha, ČHMÚ.

Straub T. D., Melching C. S., Kocher K. E. (2000): Equations for Estimating Clark Unit-Hydrograph – Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois. Water-Resources Investigations Report 00-4184. Urbana, Illinois, U.S. Geological Survey.

Trupl, J. (1958): Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Praha, VÚV.

US Army Corps of Engineers (1990): HEC-1 - Flood Hydrograph Package, User Manual.

US Army Corps of Engineers (1994): Flood-Runoff Analysis. Engineer manual EM 1110-2-1417. Washington, DC 20314-1000.

US Army Corps of Engineers (2000): Geospatial Hydrologic Modeling Extension HEC-GeoHMS, user's manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-geohms.html.

US Army Corps of Engineers (2000): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, technical reference manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-document.html.

US Army Corps of Engineers (2001): Hydrologic Modeling System HEC-HMS, user's manual, http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/hechms-document.html.

Autor

Ing. Petr Šercl, Český hydrometeorologický ústav, Na Šabatce 17, Praha 4 – Komořany, sercl@chmi.cz