MOŽNOSTI VYUŽITÍ MODELU KINFIL PRO SIMULACI VÝZNAMNÝCH PRŮTOKOVÝCH VLN NA MALÝCH POVODÍCH

Pavel Kovář

Model KINFIL vznikl kombinací metody odtokových křivek a řešení infiltrace, kdy hodnoty hydraulických půdních parametrů (nasycená hydraulická vodivost K_s a sorptivita S_f), byly vyjádřeny dříve získanými korelačními vztahy s hodnotami čísel odtokových křivek CN. Dále je tento model založen na transformaci procesu přímého odtoku kinematickou vlnou, řešením diferenciální rovnice ve tvaru konečných diferencí, vyjádřené explicitním numerickým schématem. Model je distributivní typu 2D, povodí je členěno do odpovídající odtokové sítě, podle fragmentace topografické a hospodářské ("land use"). Model využívá prostředků GIS, zejména digitální model terénu (DEM), vrstvy "land use", vrstvy říční sítě a vrstvy CN.

Vedle katastrofální povodně v srpnu 2002 v povodí Vltavy v České republice se vyskytla řada lokálních povodní na malých povodích, způsobených přívalovými dešti. Jedna z těchto povodní postihla i malé experimentální ($F=1,4$ km^2, převážně zemědělsky využívané) povodí Černičí (okr. Benešov). Během rekonstrukce povodňové události byly kalibrovány parametry modelu, se kterými byly implementovány scénářové simulace přívalových dešťů s vyšším opakováním výskytu N=10 a 50 let. Byly rovněž provedeny simulace změn hospodářského využití pozemků, nahražením části orné půdy trvalým travním porostem s implementací návrhových srážek a zjištěním, že tyto změny mohou částečně snížit kulminace povodňových průtoků, pouze však asi do 10%.

Využití modelu KINFIL, podpořené topografickou analýzou, provedenou prostředky GIS prokázalo vhodnost tohoto prostředku pro ohodnocení odtokových poměrů malých povodí při simulaci různých scénářů využití povodí.

Klíčová slova: infiltrační přístup, kinematická vlna, GIS, srážko-odtokové modely, návrhové průtoky, změny využití území

Simulation of the impact of land use on significant rainfall runoff events using the kinfil model. *This paper deals with the analysis of flood events, implementing the KINFIL hydrological model on small catchments where both land use and land management play a significant role, and where these human activities can influence the design discharges. A combination of GIS techniques with the KINFIL model, which is conceived on a physically based infiltration approach (INFIL) and on a kinematic wave transformation of direct runoff (KIN), provides a tool for analysing historical rainfall-runoff events, for assessing design discharges, and for simulating hypothetical flood scenarios. KINFIL is a complex model using the correspondence of Curve Number (CN) with soil parameters and the kinematic wave transformation with the physiographical parameters, and it serves as the implementation example of the Černici experimental catchment in Central Bohemia (Czech Republic). All topographical and morphological catchment data were analysed and prepared for the KINFIL model, using GIS facilities. Thus the model was first implemented for design discharge assessment (N=10 and 50 years) and then for simulation scenarios of changes in land use (part of arable land substitute by grassland) expressed by the model parameters. It has been shown again that land use changes do not affect peak flood discharges by more than 10 percent.Implementatation of trhe KINFIL model supported by GIS has been found as a proper tool for the runoff assesment on small catchments when using different scenarios of land-use changes.*

Keywords: infiltration approach, kinematic wave, GIS, rainfall-runoff models, design discharges, land use changes

---

ÚVOD

Zlepšování metod sloužících ke stanovení hodnot odtoku z povodí a zejména povodňových průtoků má velký význam jak pro ekonomiku, tak i pro životní prostřední. Základním hydrologickým podkladem pro návrh opatření proti záplavám nebo erozi jsou návrhové hodnoty N-letých průtoků, způsobených přívalovými dešti stejné periodicity výskytu. Předložený příspěvek slouží k prověření možností určení návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL (Kovář,1992). Tento model vznikl kombinací metody odtokových křivek a řešení infiltrace Morel-Seytouxovými rovnicemi (Morel-Seytoux,Verdin 1981). Simulace povrchového odtoku je řešena modelem

kinematické vlny při respektování podrobné topografie povodí. Topografické vlastnosti terénu jsou zpracovány softwarem ARC/INFO. Spolehlivost těchto moderních metod matematického modelování a jejich propojení se systémy GIS je úměrná věrnosti matematického popisu fyzikálního procesu a rozsahu i spolehlivosti použitého datového souboru. Model KINFIL byl použit pro rekonstrukci srážko-odtokového případu povodí Černičí z května 2001. Touto rekonstrukcí byly kalibrovány modelové parametry a model byl dále použit pro simulaci N-letých průtoků z návrhových dešťů, zpracovaných pro srážkoměrnou stanici Dolní Kralovice.

Charakteristika modelu KINFIL

Model KINFIL je založen na kombinaci teorie infiltrace a transformace přímého odtoku "kinematickou vlnou", který se osvědčil na řadě experimentálních povodí při rekonstrukci historických povodňových případů. Tento model používá fyzikálně-geometrické (fyziografické), hydraulické a klimatické parametry povodí, které se dají určit z mapových a jiných podkladů při absenci přímých pozorování a při zohlednění důsledků antropogenní činnosti v povodí. Model je určen přednostně pro stanovení návrhových průtoků pro různé "scénářové situace", dané touto činností, jako je změna kultur, odlesnění, urbanizace aj.
Současná verze modelu KINFIL je založena na infiltrační teorii Greena a Ampta se zavedením koncepce "výtopy" dle Morel-Seytouxe (Morel-Seytoux 1982)

$$K_s\left(\frac{z_f + H_f}{z_f}\right) = \left(\theta_s - \theta_i\right)\frac{dz_f}{dt} \qquad (1)$$

$$S_f = (\theta_s - \theta_i).H_f \qquad (2)$$

$$t_p = \frac{S_f}{i\left(\frac{i}{K_s} - 1\right)} \qquad (3)$$

kde:

K_s ... nasycená hydraulická vodivost ($m.s^{-1}$)
z_f ... hloubka infiltrační fronty (m)
θ_s ... nasycená půdní vlhkost (-)
θ_i ... počáteční půdní vlhkost (-)
H_f ...sací tlak pod infiltr. frontou (m)
i ... intenzita deště ($m.s^{-1}$)
S_f ... retenční součinitel sacího tlaku (m)
t_p ... doba výtopy (s)
t ... čas (s)

Základním úkolem je určení parametrů K_s a S_f (při stavu polní vodní kapacity - PVK). Řešením bylo využití dříve odvozených vztahů mezi těmito parametry a hodnotami čísel odtokových křivek CN (Curve Number), dnes dobře propracované metody a ve světě široce používané (U.S.SCS, 1986). Indexové hodnoty CN korespondují s konceptuálními hodnotami půdních parametrů K_s a S_f (PVK): $CN = f\ (K_s, S_f)$
Pro stanovení těchto vzájemných (párových), vztahů mezi CN a (K_s, S_f) byla použita data maximálních jednodenních srážkových úhrnů 62 stanic České republiky, přepočtených pro trvání 30, 60, 90, 120, 180 a 300 min., každý po dobu opakování 1, 2, 5, 10, 20, 50 a 100 let, implementovaných infiltračním submodelem pro 10 základních skupin půd podle U.S. klasifikace, která je však kompatibilní s naší klasifikací dle Nováka. Více než 22 tisíc hypotetických srážko-odtokových událostí bylo tak zpracováno regresní analýzou dle kritéria:

$$G = \frac{d}{dS}\left[\sum_{i=1}^{N}\rho_i^2\right] = 0 \qquad (4)$$

kde: S ... retence aktivní zóny (m)
N ... počet událostí (-)
ρ_i ... reziduální hodnoty (-)

Výsledkem této regresní analýzy je vyjádření funkční závislosti "koncepčních" hodnot K_S a S_f (pro subpovodí) na hodnotách čísla odtokových křivek CN (Kovář, 1994). Tyto závislosti buď pro některé regiony (např. Jizerské hory), nebo pro celé území České republiky byly publikovány (Kovář, 1994).
Druhým komponentem modelu KINFIL je jeho část, simulující postup a transformaci přímého odtoku. Rovnice popisuje neustálený pohyb, aproximovaný kinematickou vlnou (po zanedbání nevýznamných rychlostních členů dynamické St.Venantovy rovnice) po ploše skloněné rovinné desky (CPLANE). Druhý člen pravé strany rovnice (v hran. závorce) popisuje proudění po konvergentním segmentu (CONVER), který bývá často používán při geometrizaci topografických ploch povodí:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\alpha m h^{m-1}\frac{\partial h}{\partial x}=r_e(t).....+\left[\frac{\alpha h^m}{L-x}\right] \qquad (5)$$

kde:
h, t, x ... souřadnice hloubky, času a polohy (m, s, m)
α , m ... hydraulické parametry
$r_e(t)$ ... intenzita efektivního deště ($m.s^{-1}$)
L ... poloměr konvergentního segmentu (m)

Rov. (5) je převedena do tvaru konečných diferencí a řešena explicitním numerickým schématem Laxe - Wendroffa (L-W). Pro praktické řešení je povodí rozděleno na jednotlivá subpovodí do kaskád desek o přibližně obdobných sklonech, případně konvergentních segmentů tak, aby simulace topografických ploch povodí byla dostatečně věrná. Počáteční podmínky řešení L-W schématu jsou dány, jestliže h (x, 0) = 0 pro všechna x. Horní okrajová podmínka je dána polohou každé rovinné desky v kaskádě, případně horní hranou segmentu. Pro soustředěné neustálené proudění v korytě je možno použít submodelu Muskingum-Cunge, kdy autoři zavedli zjednodušující předpoklady do rovnice kinematické vlny transformované korytem toku.
Model KINFIL v případě simulace odtokových případů na povodí Černičí transformaci průtoků submodelem Muskingum-Cunge neřešil, protože transformační schopnost koryta toku je zanedbatelná.

Charakteristika experimentálního povodí Černičí

Experimentální povodí se nachází u obce Černičí (okres Benešov) v povodí vodárenské nádrže na Želivce a má rozlohu 139,8 ha. Bezejmenný tok je přítokem Čechtického potoka (číslo povodí 1-09-02-107), jenž je přítokem Sedlického potoka (1-09-02-108), který ústí nedaleko od odběrného objektu vodárenské nádrže. Povodí se nachází v III. ochranném pásmu vodárenské nádrže.
Povodí se rozprostírá na Vlašimsko - Humpolecké pahorkatině. Z geologického hlediska tvoří území pararuly s pláštěm zvětralin. Půdy jsou hnědé, illimerizované až oglejené, středně hluboké. Část plochy povodí je odvodněna. Povodí se nachází v klimatické oblasti mírně teplé, s průměrnou roční teplotou 6 - 7^{o}C a průměrným ročním úhrnem srážek 650 - 750 mm.
Další charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tab. 1, 2, 3.

Tab. 1 : Charakteristiky povodí
Tab. 1 : Catchment characteristics

Plocha povodí	139,8 ha
Délka toku	2,17 km
Průměrný sklon toku	4,4 %
Minimální nadmořská výška	448 m n. m.

Maximální nadmořská výška	543 m n. m.
Střední nadmořská výška	489 m n. m.
Obvod povodí	5,9 km

Tab. 2 : Plošné zastoupení kultur v povodí
Tab. 2 : Land use

Kultura	Plocha v ha	Plocha v %
Orná půda	88,3	63,2
Louky, trvalé travní porosty	26,3	18,8
Lesy	25,0	17,9
Ostatní	0,2	0,1

Tab. 3 : Hydrologické skupiny půd a zastoupení kultur (ha)
Tab. 4 : Hydrological groups of soils and land use allocation

Skupiny půd	B			C		
Třída kultur	ha	%	CN	ha	%	CN
I. orná půda	74,5	53	78	13,8	10	85
II. trvalé travní porosty	-	-	-	26,3	19	72
III. lesy	25	18	63	-	-	-

Průměrná hodnota čísla odtokových křivek na povodí:
CN_{II} = 0,53 . 78 + 0,18 . 63 + 0,1 . 85 + 0,19 . 72 = **75,0**
CN_{III}= **88,0**

Rekonstrukce povodňové události a kalibrace parametrů modelu

V době vzniku povodňové vlny (před 05/05/2001) bylo povodí značně nasyceno předcházejícími srážkami, kdy za předchozích 30 dnů spadlo 58,8 mm deště, což je stav PVP III (tj. stav předchozích vláhových poměrů PVP-III. stupeň nasycení). Tomuto stavu přispěly i nízké teploty (zanedbatelný výpar) a vytváření nepříznivé povodňové situace podmínila absence vegetačního krytu na ploše větší než 63% pozemku (před setím kukuřice na orné půdě). Náhlý intenzivní noční déšť 5. května 2001, kdy napadlo za 5 hod (od 19,00 do 24,00) 16,2 mm vyvolal povodňový odtok na nechráněném povrchu povodí, který svým kulminačním průtokem 4,2 $m^3 . s^{-1}$ je možno zařadit do kategorie průtoků o době opakování N = 2 až 3 roky. Tabulka 4 uvádí základní charakteristiky této povodňové vlny.

Tab. 4: Charakteristiky povodňové vlny 05/05/2001 na povodí Černičí
Tab. 4: Description of flood wave 05/05/2001 on Cernici catchment

začátek příčinného deště: 05/05/2001, 19^{oo} hod
konec příčinného deště: 05/05/2001, 24^{oo} hod
max.intenzita příčinného deště: 0,3 mm . min^{-1}
celková výška předchozích dešťů za 30 dnů: 58,8 mm
celková výška příčinného deště H_s: 16,2 mm
celková výška efektivního deště H_o: 9,3 mm
kulminační průtok Qmax: 4,2 $m^3 . s^{-1}$ ve 20^{50} hod
trvání zvýšených průtoků: t_o = cca 4 hod
doba koncentrace t_k = cca 40 min

Základní hydrologické charakteristiky potřebné jako vstupní údaje do modelu byly měřeny v uzávěrovém profilu povodí. Ten je vybaven měrným přelivem Thomsonova typu s klasickým limnigrafem zapisující výšku vodní hladiny na pásku s týdenním chodem. Intenzita srážek je měřena elektronickým impulsním člunkovým ombrografem.

Topografické rozdělení povodí bylo provedeno v GIS softwarem ArcInfo. Jako základ byla použita digitální topologicko vektorová data systému ZABAGED (Základní báze geografických dat) v měřítku 1 :10 000 zakoupená od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního. Digitální data obsahovala polohopis a výškopis. Po převedení do ArcInfo byla vykreslena hlavní rozvodnice, rozvodnice subpovodí a jednotlivé desky. Vypočtené hodnoty, potřebné pro schematizaci povodí (viz Tab. 5) byly provedeny v ArcInfo včetně vykreslení obr. G1. Z tohoto obrázku jsou patrné hranice mezi sousedními kaskádami, tvořené rozvodnicemi. Hranice mezi „deskami" v rámci jedné kaskády jsou odvozeny z „vrstvy svažitosti", případně „vrstvy land use". Všechna subpovodí byla převedena na rovnoploché obdélníkové prvky kaskády. U každé kaskády byla vyjádřena její střední šířka a podle této šířky a skutečné plochy byla vypočtena délka jednotlivých „desek" (tj. dráhy odtoku) viz Tab.5.

Tab. 5 : Schematizace povodí Černičí (pro model KINFIL2)
Tab. 5 : Scheme of Cernici catchment (for KINFIL2 model)

Kaskáda	**Plocha [km^2]**	**Deska**	**Plocha [km^2]**	**Průměrná šířka [km]**	**Délka [km]**	**Svažitost [--]**	**Pole [%]**	**Louka [%]**	**Les [%]**	**Zástavba [%]**
DL 11	0,252	111 112 113	0,183 0,053 0,016	1,093	0,167 0,048 0,015	0,051 0,074 0,111	1 56 0	0 30 100	99 14 0	0 0 0
DL 12	0,396	121 122 123	0,079 0,127 0,190	1,076	0,073 0,118 0,177	0,057 0,097 0,085	59 84 41	1 16 59	40 0 0	0 0 0
DP 21	0,189	211 212 213	0,105 0,071 0,013	0,845	0,124 0,084 0,015	0,032 0,074 0,103	68 81 32	4 18 67	28 0 0	0 1 1
DP 22	0,109	221 222 223	0,049 0,038 0,022	0,436	0,112 0,087 0,050	0,056 0,106 0,138	99 98 32	1 2 68	0 0 0	0 0 0
DP 23	0,190	231 232	0,127 0,063	0,284	0,447 0,222	0,073 0,091	99 56	1 44	0 0	0 0
DP 24	0,263	241 242	0,139 0,124	0,604	0,230 0,205	0,036 0,096	99 78	0 22	0 0	1 0

Princip číslování „desek" je následující (Kovář et. al, 2002)

- 1 xx levá část (DL 1 xx)
- 2 xx pravá část (DP 2 xx)
- x1x – x4x číslo kaskády
- xx1 – xx3 číslo desky v kaskádě (číslování po svahu)

Tato schematizace na jednotlivé útvary je dobře patrná z přílohy G1 a tabulky Tab5, která přehledně uvádí geometrické parametry jednotlivých subpovodí. Pro rekonstrukci povodňové vlny byly použity proměnlivé hydraulické drsnosti, charakterizující výrazně turbulentní svahové proudění, Manningova drsnost n se pohybuje v mezích 0,2 – 0,4 podle „land use". Výsledky rekonstrukce jsou vyhodnoceny v Tab.6:

Tab. 6: Statistické vyhodnocení shody měřených a vypočtených údajů
Tab. 6: Statistical evaluation of correlation of measured and modelled data

Vlna: Černičí	Koef. Determinace RE (-)	chyba v objemu TVOL (%)	chyba v kulminaci PEAK (%)
05/05/2001	0.75	0.20	0.70

Poznámka: Pro nejlepší shodu pořadnic průtoku platí: RE = 1.0

Simulace povodňových odtoků z N-letých přívalových dešťů

Po rekonstrukčních výpočtech povodňové události z 5. května 2001 bylo přistoupeno k simulaci scénáře povodňových odtoků z N-letých návrhových dešťů periodicity výskytu: p=0,1 (N=10 let) a p=0,02(N=50 let). Výpočet těchto dešťů byl proveden z hodnot maximálních denních srážkových úhrnů (Šamaj, Brázdil, Valovič, 1983) pro nejbližší stanici Dolní Kralovice se vztahy odvozenými pro trvání dešťů
t_d= 20,40,60 a 120 min. (Hrádek, Kovář, 1994):

$$H_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{1-c} \quad (8)$$
$$i_{t,N} = H_{1d,N} \cdot a \cdot t^{-c} \quad (9)$$

kde $H_{t,N}$ … srážkový úhrn pro trvání deště t, a opakování N
$H_{1d,N}$ … 1-denní max. srážkový úhrn pro dobu opakování N
a,c ….. parametry (Hrádek, Kovář, 1994)

Tabulka 7 obsahuje výpočet i hodnoty jednotlivých „scénářových" návrhových dešťů, které byly použity modelem KINFIL pro simulaci návrhových průtoků stejné periodicity výskytu N=10 a 50 let a doby trvání 20-120 min (tj. 20, 40, 60, 120´). Tyto scénářové simulace jsou zpracovány do simulovaných scénářových hydrogramů v přílohách G3 (N=10 let) a G4 (N=50 let). Z výsledků vyplývá, že nejnebezpečnější doba trvání dešťů pro obě periodicity výskytu je kolem 40 min, což odpovídá době koncentrace zjištěné dle Metodiky (Janeček a kol., 1992) t_c= 42 min.

Tab. 7: Výpočet návrhových dešťů $H_{t,N}$ pro stanici Dolní Kralovice pro t=20´, 40´, 60´, a 120´, N=10 a 50 let
Tab. 7: Computed design rainfall events $H_{t,N}$ for Dolni Kralovice station for t= 20´, 60´ and 120´, N= 10 and 50 years.

Opakování N *(roky)*	**Trvání t** *(min)*	**Parametry**		**Výška deště $H_{t,N}$** *(mm)*	Intenzita deště *(mm/min)*	Intenzita deště i/Δt (Δt=20´) *(mm/ Δt)*	**Intenzita efekt. deště (CN_{II}=75)** *(mm/ Δt)*
		a *(-)*	c *(-)*				
10	20´	0,163	0,656	29,2	1,460	29,20	25,5
	40´	0,222	0,730	38,5	0,963	19,35	15,8
	60´	0,280	0,803	40,1	0,668	13,37	10,1
	120´	0,330	0,835	46,5	0,388	7,75	4,8
50	20´	0,174	0,638	45,2	2,260	45,20	41,4
	40´	0,249	0,721	61,2	1,530	30,60	26,9
	60´	0,323	0,803	63,5	1,058	21,17	17,6
	120´	0,452	0,864	76,1	0,634	12,68	9,4

Simulace povodňových odtoků při změně užívání území

Dalším krokem implementace modelu KINFIL bylo vytvoření scénáře využití pozemků, kdy 20% orné půdy bylo nahrazeno trvalým travním porostem. Tento scénář způsobil snížení kulminace průtoku o 7,1%. Je pozoruhodné, že i ostatní scénáře využití půdy (i když poměrně drastických: redukce plochy orné půdy o 40%, z nich polovina ve prospěch TTP a polovina ve prospěch lesa) nepřinesly snížení kulminace větší než max. o 12%. I tak jsou ovšem změny pozitivní a nepochybně přispívají ke zmírnění škod při povodních.

Závěry

Model KINFIL, je fyzikálně založeným deterministickým distributivním modelem významných srážko-odtokových procesů, sestaveným speciálně pro účely rekonstrukční, simulační (scénářové simulace) i návrhové. Ve spojení s technologiemi GIS (ArcInfo), které stejně jako model KINFIL

respektují plošnou heterogenitu povodí, vytváří výkonný a sofistikovaný aparát pro povodňové analýzy. Scénářové simulace N-letých průtoků poskytují poměrně spolehlivé prognostické představy o těchto povodňových vlnách – jejich tvaru, kulminaci a době trvání. Implementace tohoto modelu nabízí také solidní, fyzikálně podložený nástroj k určení doby koncentrace a doby doběhu na malých, i středně velkých povodích. V další etapě výzkumu chceme rozšířit scénářové simulace do oblasti zjišťování stupně ovlivnění odtokových procesů změnami „land use".

Literatura

Hrádek, F., Kovář, P., 1994: *Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů* . Vodní hospodářství 44, č. 11, 2.

Janeček, M., a kol., 1992: *Metodiky: Ochrana zemědělské půdy před erozí,* 5, 1992, ÚVTIZ, ISSN 0231-9470

Kovář, P., 1992: *Možnosti určování návrhových průtoků na malých povodích modelem KINFIL.* Vodohospodářský časopis 40, č.2, s.197-220.

Kovář, P., 1994: *Využití hydrologických modelů pro určování maximálních průtoků na malých povodích.* Doktorská disertační práce, SIC ČZU Praha.

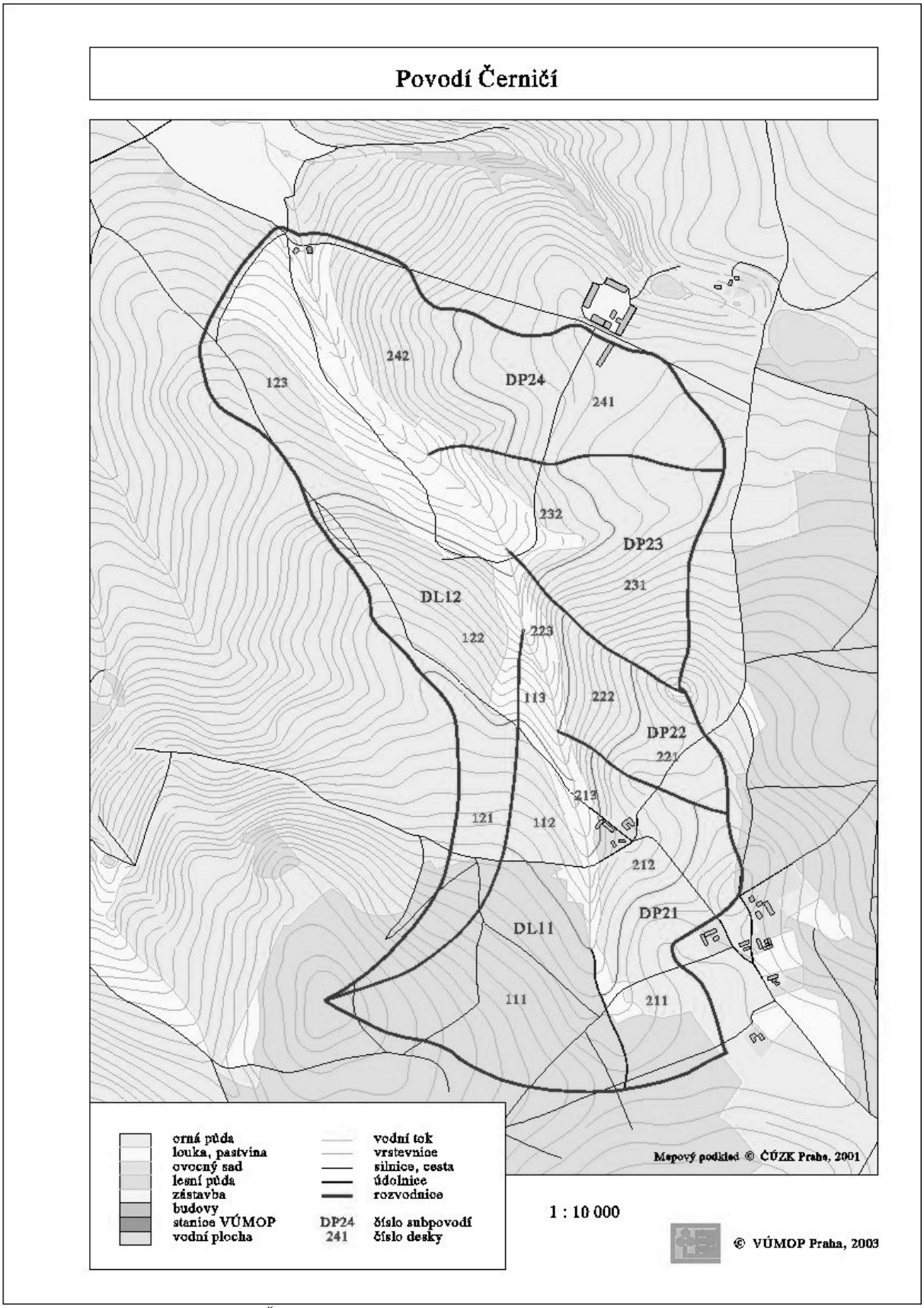
Kovář, P., Cudlín, P., Heřman, M., Zemek, F., Koryrář, M., 2002: *Analysis of Flood Events on Small River Catchments using the KINFIL Model.* Journal of Hydrology and Hydromechanics, 50, 2002, 2, s. 157-171.

Morel-Seytoux, H. J., Verdin, J. P., 1981: *Extension of the SCS Rainfall Runoff Methodology for ungaged Watersheds.* Report FHWA/RD-81/ 060, 79s. U.S. National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22161.

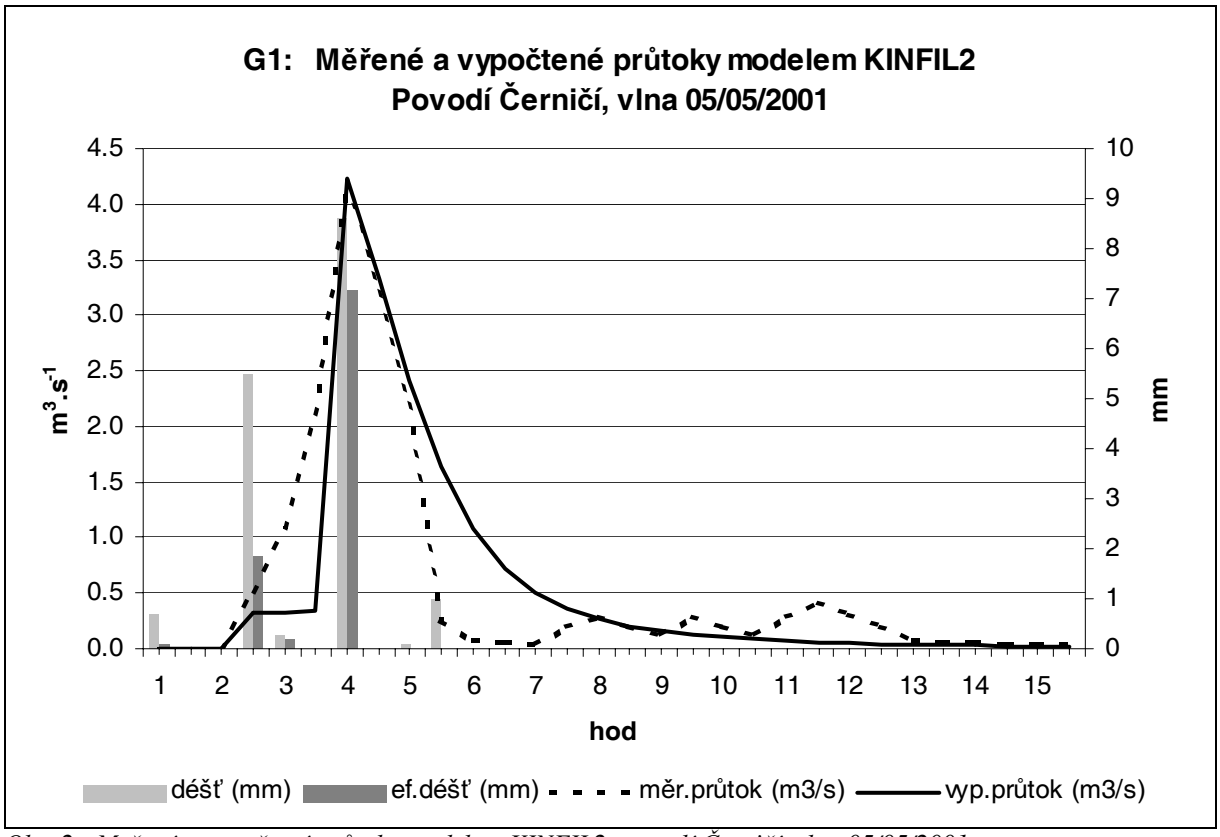
Morel-Seytoux, H. J., 1982: *Analytical results for prediction of variable rainfall infiltration.* Journal of Hydrology, No.59., s. 209-230.

Šamaj, F., Brázdil, R., Valovič. J., 1983: *Denné úhrny zrážok s mimoriadnou vydatnosťou v ČSSR v období 1901-80.* Sborník prác SHMÚ, nakl.Alfa, Bratislava.

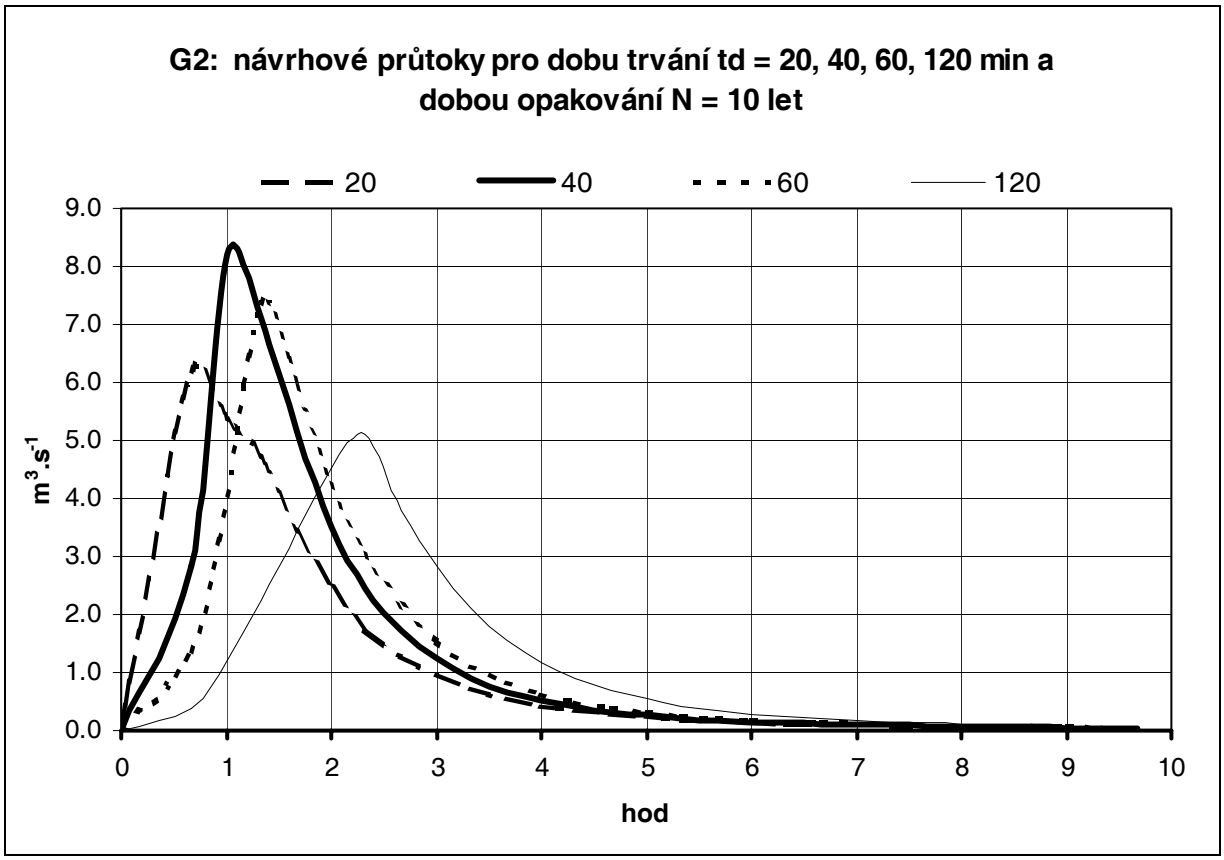
U.S. SCS, 1986: *Urban hydrology for small watersheds.* U.S. Soil Conservation. Technical Release 55(13), SCS, Washington.



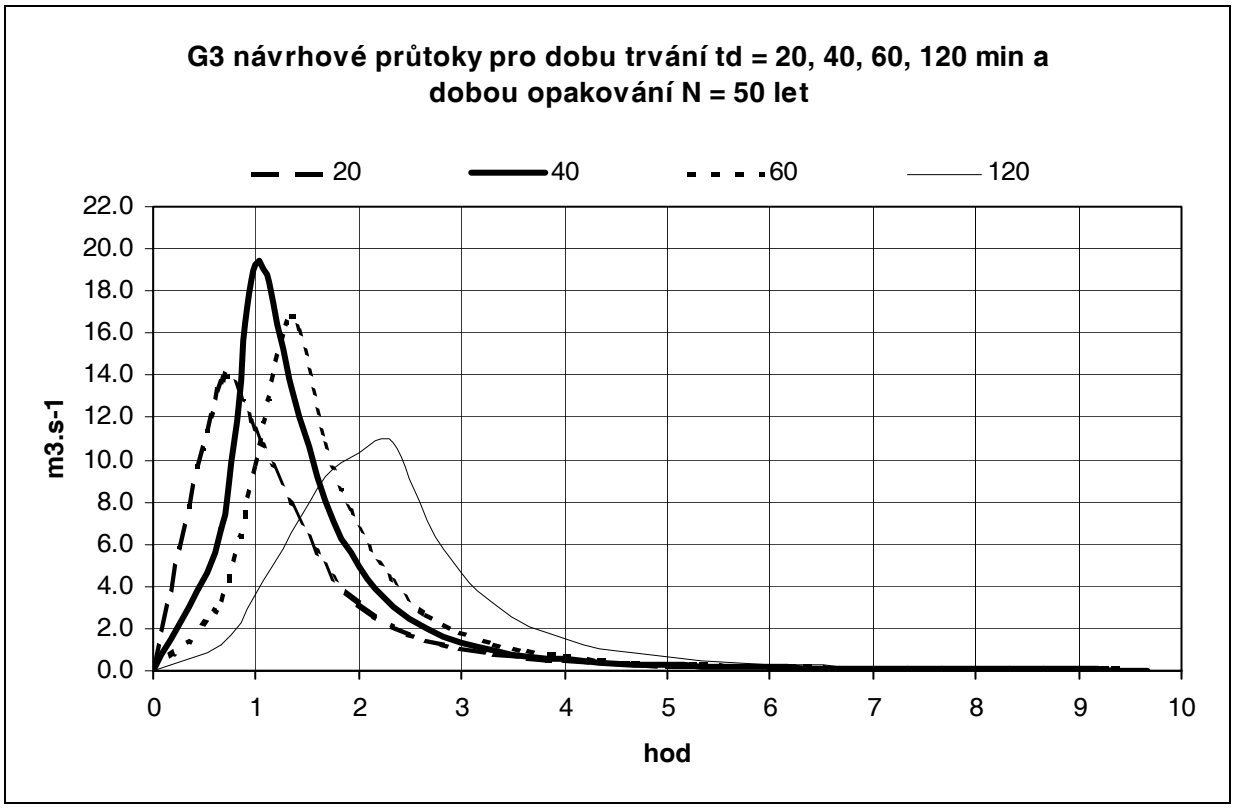
Obr1. Tografická mapa povodí Černičí s využitím pozemků a rozdělením na subpovodí
Figř1.Topografic map of Cernici catchment with land use pattern and division into sub-catchments.



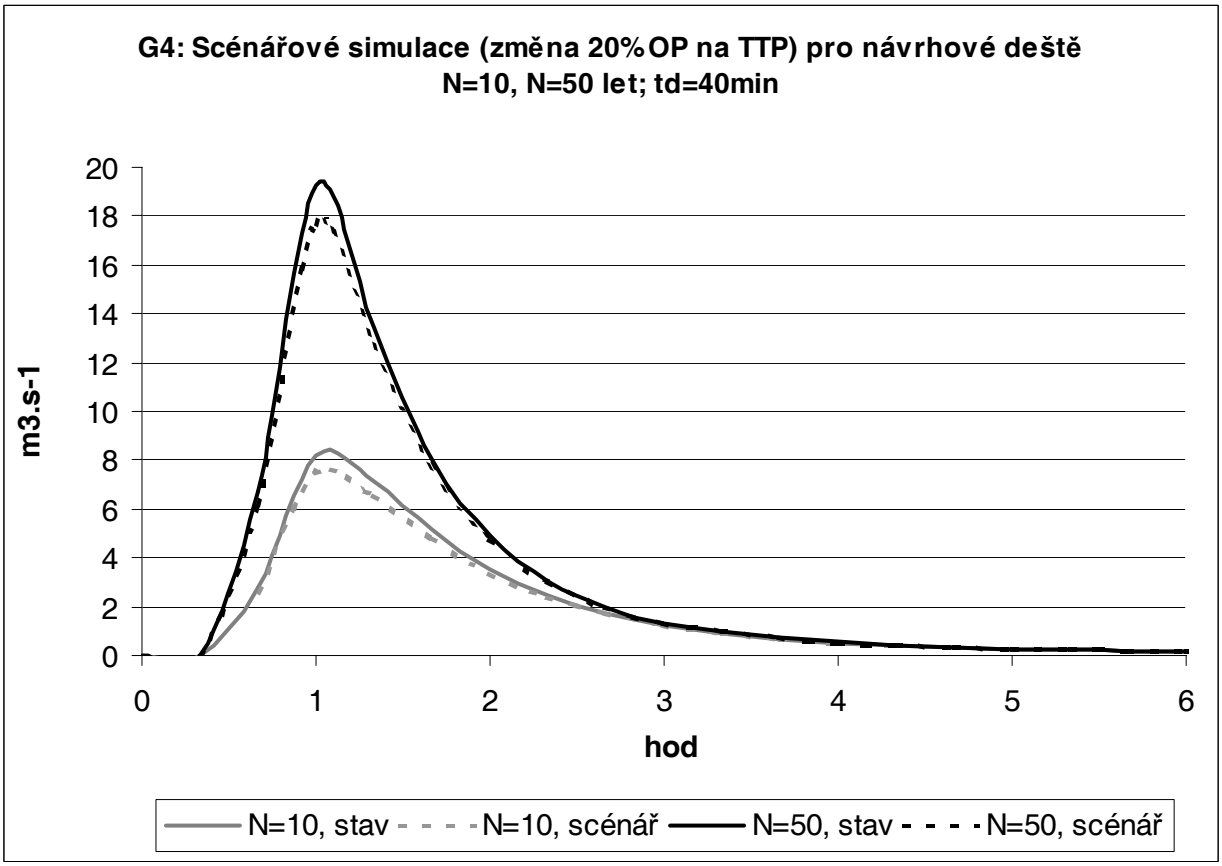
Obr. 2 : Meřené a vypočtené průtoky modelem KINFIL2; povodí Černičí, vlna 05/05/2001
Fig. 2 : Discharges measured(měř) and computed(vyp.) by KINFIL2 model; Cernici catchment, wave 05/05/2001



Obr. 3 : návrhové průtoky s dobou opakování 10 let a dobu trvání td = 20´, 40´, 60´, 120´
Fig 3: design discharges with time period of 10 years and event duration 20´, 40´, 60´, 120´



Obr. 4 : návrhové průtoky s dobou opakování 50 let a dobu trvání td = 20´, 40´, 60´, 120´
Fig. 4 : design discharges with time period of 50 years and event duration 20´, 40´, 60´, 120´



Obr. 5: Scénářové simulace (změna 10% OP na TTP) pro návrhové deště N= 10, N= 50 let, td=40 min
Fig. 6: Scenario simulations (change of 10% fields to meadows) for design rainfalls of N= 10, N= 50 years and td=40 min.