

OVĚŘOVÁNÍ PREDIKCÍ MODELŮ ODTOKU MAPOVÁNÍ NASYČENÝCH PLOCH V TERÉNU

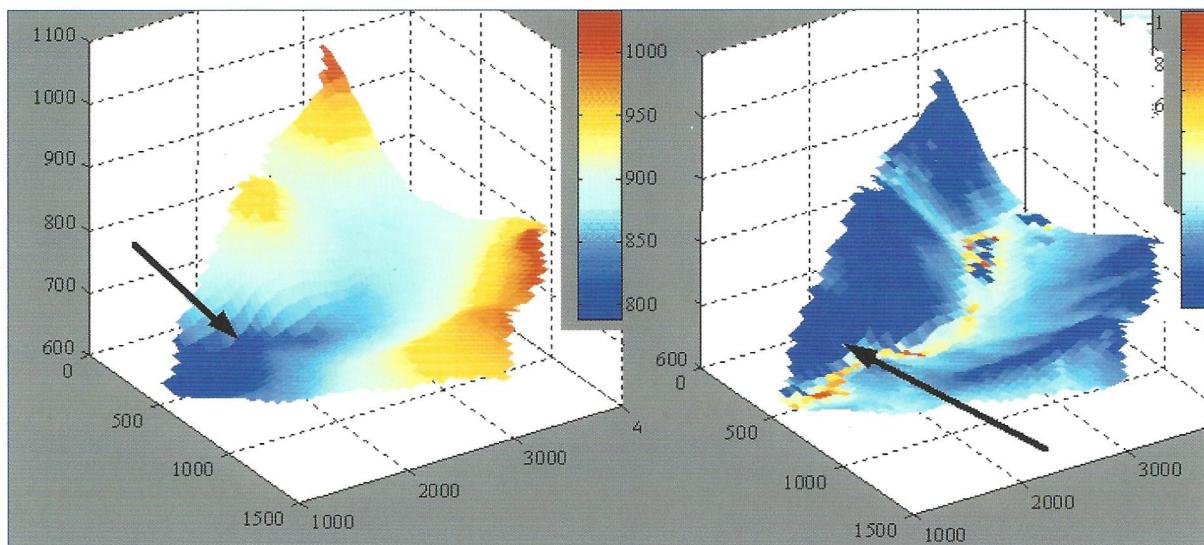
Matematické modely v životním prostředí jsou velmi zjednodušeným obrazem skutečnosti. Požadavky na jejich věrohodnost se liší podle účelu modelování. Mnoho modelů odtoku s velmi různou strukturou dává uspokojivé výsledky, je-li naším požadavkem pouze vystížení průběhu průtoků v závěrovém profilu, tzn. integrované odezvy celého povodí, a to pro srážkooodtokové epizody o zhruba stejných velikostech, jaké se vyskytovaly v kalibračních datech. U řady úloh (modelování extrémních epizod, modelování hydrologických důsledků klimatické změny nebo změny využití území, modelování transportu láttek v povodí) jsou však důležité cesty (flowpaths), kterými se voda dostává k závěrovému profilu: po povrchu – může vyvolat erozi, pod povrchem – může se obohatovat různými látkami apod. To znamená, že nás musejí zajímat vnitřní stavy systému. U odtoku je to nasycenosť povodí.

V literatuře existují studie o takovém mapování jen ojediněle (např. Ambroise et al., 1996, ale i naše studie Blažková et al., 2002a) ve srovnání se stovkami studií bez kontroly dynamiky nasycenosnosti. Důvodem je především to, že mapování je obtížná a časově náročná práce. Dále prezentujeme vývoj metod mapování v našich experimentálních povodích v Jizerských horách a na jejich úpatí.

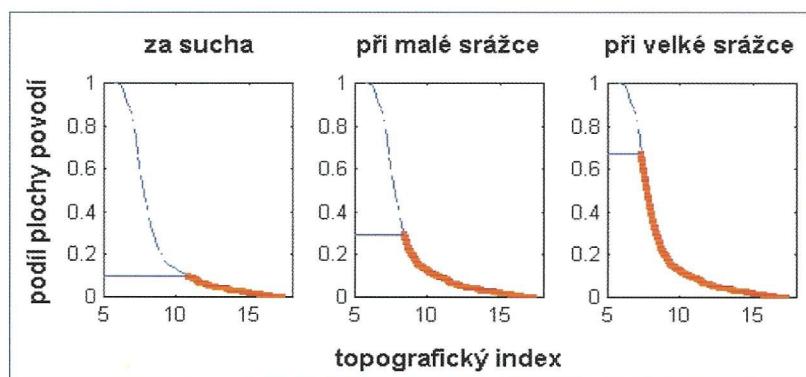
V matematických modelech v mírném vlhkém klimatu je vhodné vyjádřit dynamiku nasycených ploch tzv. topografickým indexem $\ln(a/T_0 \operatorname{tg}\beta)$ (Kirkby, 1975), kde a je plocha odvodňující se od rozvodnice k danému bodu vzhledem k délce vrstevnice, T_0 je efektivní transmisivita, když je půda právě nasy-

cena, a $\operatorname{tg}\beta$ je sklon terénu v daném bodě. Mapa topografického indexu ve srovnání s mapou nadmořských výšek je na obr. 1. Topografický index jednotlivých gridů lze nasčítávat od jeho vysokých hodnot blízko u toku (např. 12 až 18), kde je půda trvale zamokřena, až k nízkým hodnotám na svazích (např. 4 až 6). Takto sestrojená kumulativní funkce je zobrazena na obr. 2 (modrá čerchovaná čára) pro tři různé stavy nasycení povodí vyjádřené touto kumulativní čarou topografického indexu. Na obr. 3 jsou nasycené gridy překresleny červenou barvou, a to pro dvě velmi odlišné situace: sucho v červenci před povodní 2002 a stav nasycenosnosti po ní.

Při mapování nasycených ploch v terénu



Obr. 1. Nadmořská výška (vlevo) a topografický index (vpravo) na povodí Jezdecká v Jizerských horách



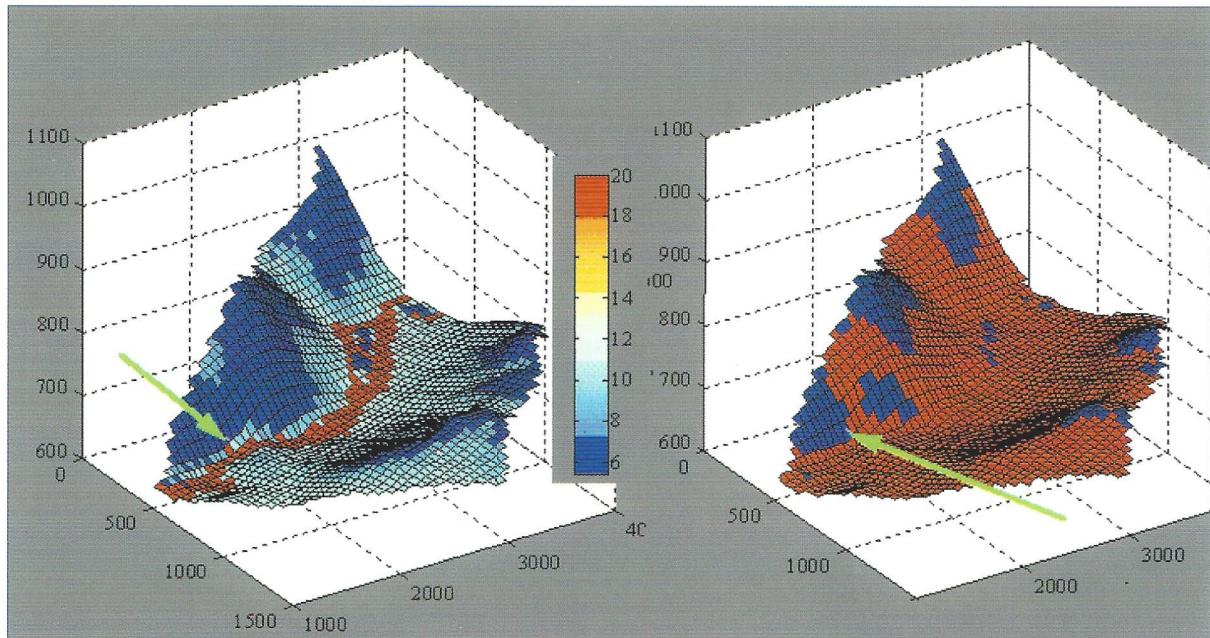
Obr. 2. Kumulativní normalizovaná plocha povodí (nasčítáno od vysokých hodnot topografického indexu); červená čára označuje rozsah nasycených gridů při různých hydrologických situacích

ověřujeme, zda nasycené plochy v modelu k určitému datu odpovídají plochám v terénu. Matematický model TOPMODEL vypočítává vnitřní proměnnou „deficit“, která nabývá kladných i záporných hodnot (grid není, nebo je nasycen). Mapování v terénu je subjektivní a vystihuje v několika stupních stav zkoumané plošky povodí od sucha (dry) po povrchový odtok (overland flow). Takové

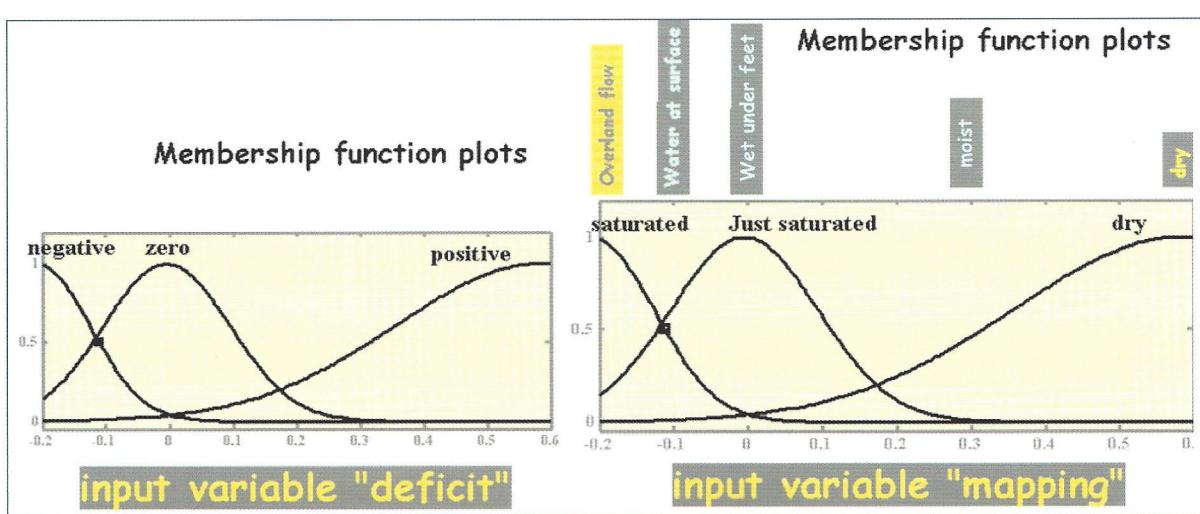
srovnání lze dobře vystihnout s využitím fuzzy množin (obr. 4; Blažková et al., 2004).

Jinou možností je vyjádřit věrohodnost vzorcem založeným na srovnávání počtu nasycených gridů v modelu s počtem bodů v terénu, u nichž byla zjištěna nasycenosť mapováním (Blažková et al., 2002a), např. věrohodnost L_i^T pro transekt označený červenou šipkou na obr. 5 byla vypočtena jako

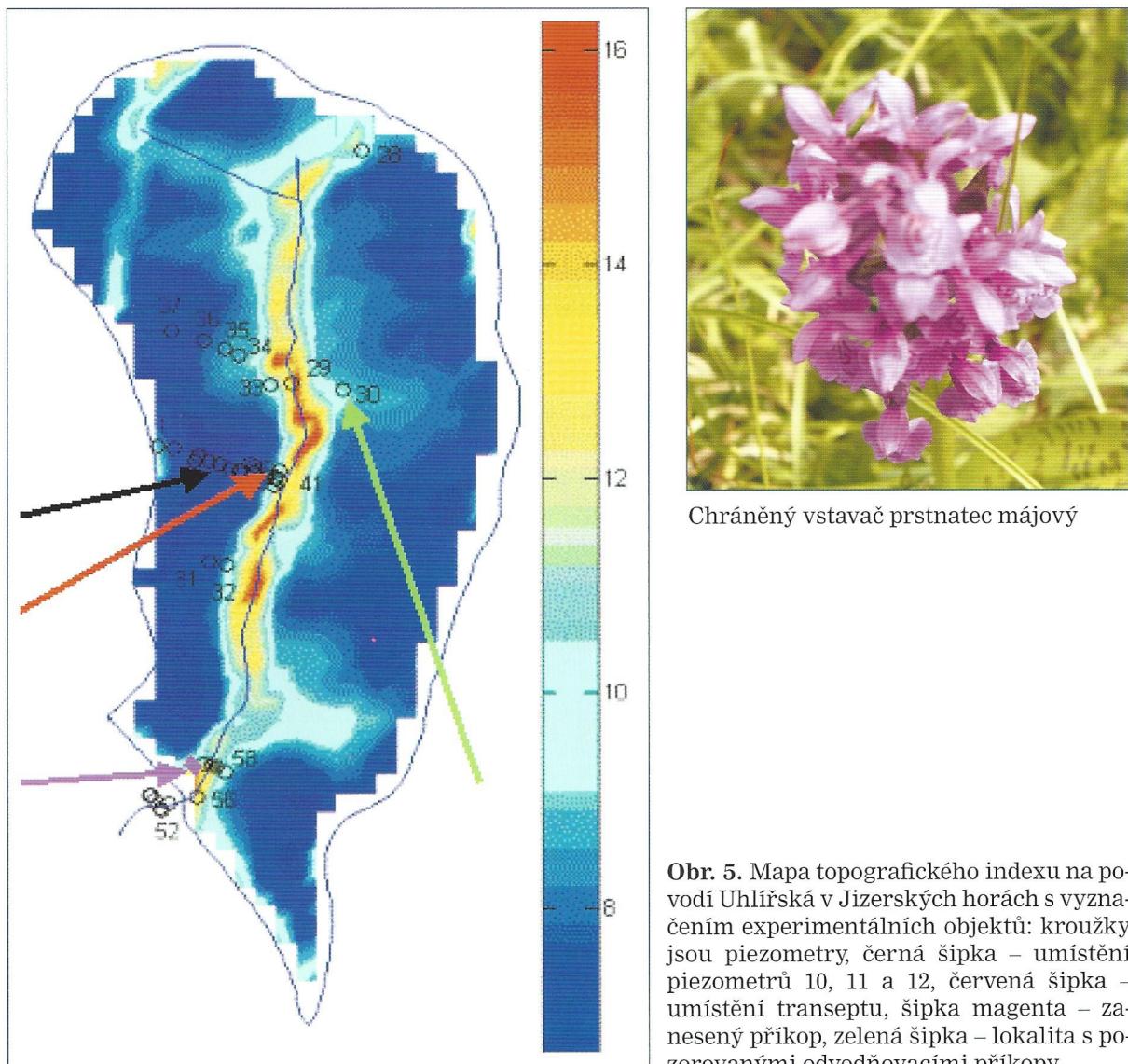
$$L_i^T = \frac{1}{\sum \left| \frac{\text{predicted saturated ATB cells}}{\text{cells in transect}} - \frac{\text{observed saturated points}}{\text{points in transect}} \right|}$$



Obr. 3. Srovnání rozsahu nasycených ploch (červeně) na povodí Jezdecká na pozadí topografického indexu: za sucha (vlevo) a po povodni (vpravo); šipka označuje polohu experimentálního svahu



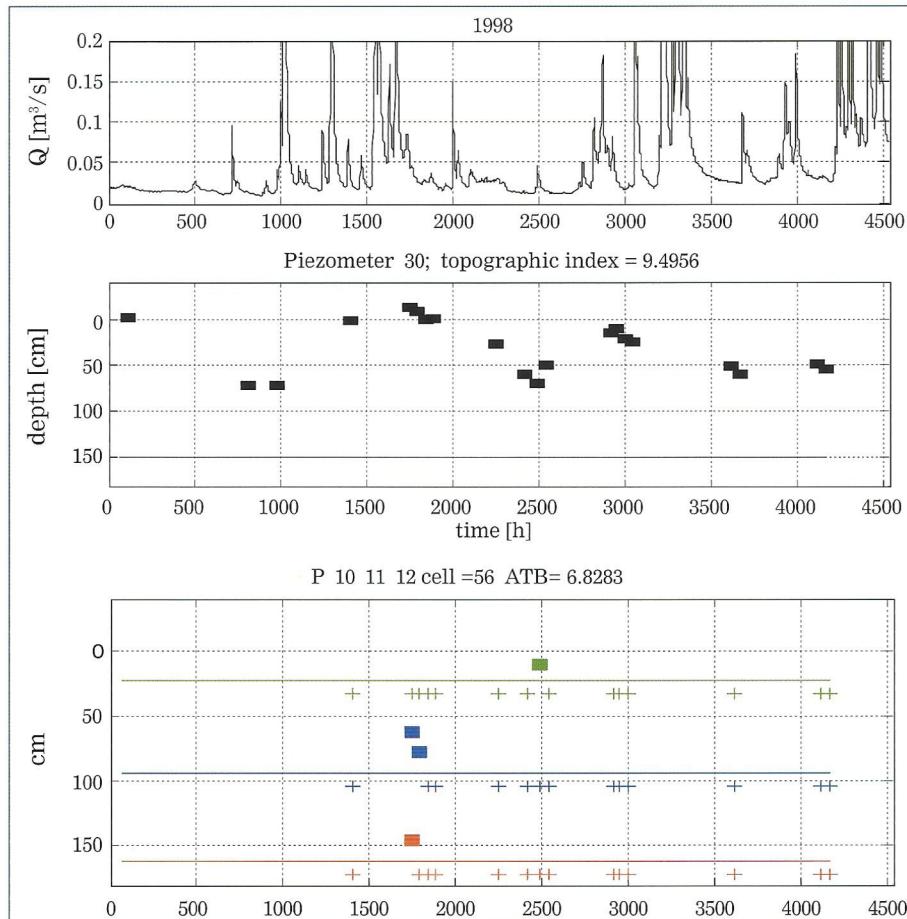
Obr. 4. Příklad volby funkcí příslušnosti pro srovnání vypočteného nasycení s mapováním v terénu ve fuzzy modelu (software Matlab)



Obr. 5. Mapa topografického indexu na povodí Uhlířská v Jizerských horách s vyznačením experimentálních objektů: kroužky jsou piezometry, černá šipka – umístění piezometrů 10, 11 a 12, červená šipka – umístění transeptu, šipka magenta – zanesený příkop, zelená šipka – lokalita s pozorovanými odvodňovacími příkopy

a věrohodnost L_i^D zaneseného příkopu (šipka magentou na obr. 5) ze vztahu

$$L_i^D = \frac{1}{0,0001 + \sum |predicted deficit at just saturated cell|}$$

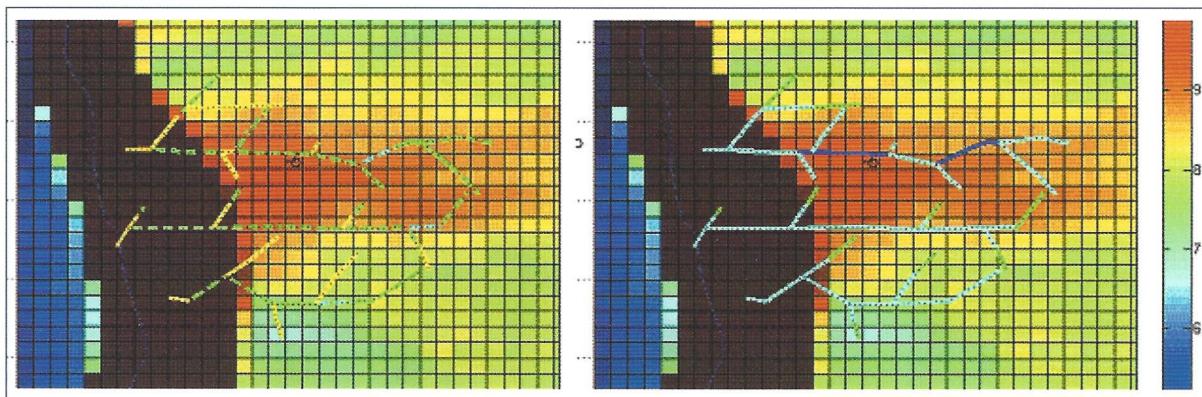


Obr. 6. Dynamika hladiny mělké podzemní vody v povodí Uhlířská (pozorování P. Tachecího) ve dně údolí (piezometr 30) – černě, výskyt hladiny podzemní vody v piezometrech 10, 11 a 12 na svahu – zeleně, modré, červeně

Další možnosti mapování je využití piezometrů (Lamb et al., 1998; Blažková et al., 2002b). Obrázek 6 ukazuje průběh hladiny mělké podzemní vody ve dně údolí (piezometr 30 na obr. 5) a na svahu (piezometry označené černou šipkou na obr. 5), kde byla hladina zjištěna pouze výjimečně. Hloubka hladiny podzemní vody v určitém piezometru je však bodová hodnota, i když na povodí Uhlířská je piezometrů asi 60.

Pro určení stavu povodí však potřebujeme ukazatele popisující co největší plochu povodí tak, aby výsledky mapování byly souměřitelné s výstupy modelu. Na povodích Jez-

decká a Uhlířská v Jizerských horách jsme pracovali s mapovanými plochami velikosti 20×70 m a 40×40 m. Na druhém břehu Černé Nisy v povodí Uhlířská se ukázaly vhodným objektem k mapování nasycenosti odvodňovací příkopy (poloha přibližně naznačena zelenou šipkou na obr. 5), jejichž dynamika od delšího zcela suchého stavu až po prudce se ženoucí a pěnící se vodu dobře charakterizovala dynamiku vysýchaní a nasycování povodí. Mapovaná plocha zde činí 200×160 m. Dva velmi rozdílné stavy nasycení jsou zachyceny v povodňovém roce 2002 – první ve velmi suchém červenci, kdy většina per je zcela suchá a hlavní příkopy jsou jenom vlhké, dru-



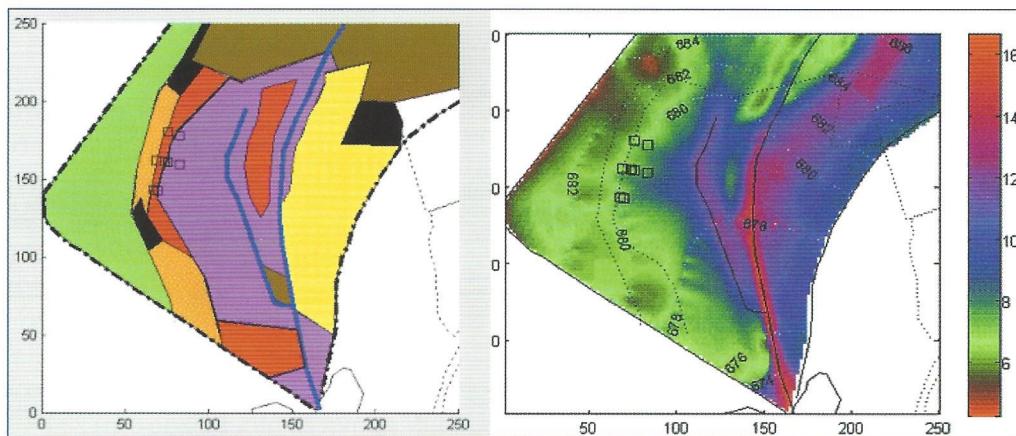
Obr. 7. Srovnání nasycenosti svahu na základě pozorování odvodňovacích příkopů v povodí Uhlířská, sucho před povodní (vlevo), několik dní po povodni (vpravo); žlutá – sucho, zelená čárkovaná – vlhko, zelená plná – čvachtá při sešlápnutí, cyan čárkované – hladina v úrovni terénu, cyan plně – odtok, modré – prudké proudění s pěnou

hý několik dní po kulminaci povodně, kdy se stupně mapování pohybují od hladiny vody v úrovni terénu až po rychle tekoucí vodu (*obr. 7*).

Ve světové literatuře se objevily úvahy, že by snad bylo možno identifikovat často nasycené části povodí, které fungují jako zdrojová plocha odtoku, ze struktury vegetace, stejně jako jsou popsány pokusy identifikovat tyto oblasti z fyzikálních vlastností půdy nebo z indexů založených na topografii, jak jsme ukázali výše.

Pokusili jsme se takovou identifikaci realizovat v podhůří Jizerských hor v povodí Smržovského potoka nad rybníkem Křísá-

kem. Většina této plochy o rozloze $0,15 \text{ km}^2$ je odvodněná louka, na menší části se však nacházejí zbytky původního mokřadu. Srovnání zjednodušené struktury porostu (zjednodušeno z práce Maruškové, 2003) s mapou topografického indexu je na *obr. 8*. Mapování s využitím vegetace bylo zároveň kontrolováno původními způsoby mapování vyvinutými pro horské povodí Uhlířská. Na dílčím povodí „Za Křísákem“ se vyskytuje více než 30 druhů rostlin (některé jsou chráněné) a ve zvoleném zjednodušení uvažujeme pro účel mapování nasycenosti sedm společenstev. Nejnápadnějšími zástupci nasycených ploch jsou blatouch bahenní (*obr. 9*) a orobinc (obr. 10). Tato metodika otvírá možnost



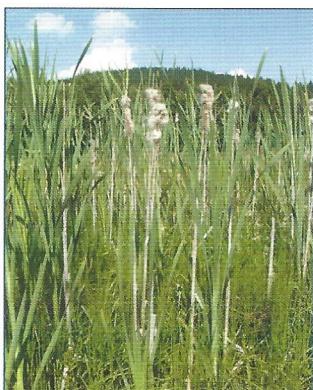
Obr. 8. Srovnání mapování s využitím vegetace (vlevo) s mapou topografického indexu (vpravo); čtverčeky – piezometry; levý obrázek: zelené – sečená a spásaná louka, hnědě – les, černě – křoviny, oranžově – neobhospodařovaný přechod, žlutě – odvodněná louka, červeně – rostliny vyžadující vlhkost, magenta – rostliny vyžadující stálou přítomnost vody

přiblížit velikost mapované plochy ve větší míře ploše povodí, což je v současné době zkoumáno v oblasti Lučan nad Nisou.

Výsledkem studií o mapování nasycených ploch je lepší hodnocení simulací (tj. sad pa-



Obr. 9. Porosty blatouchu bahenního se starými porosty orobince širokolistého a ostřicí obecnou, duben 2007

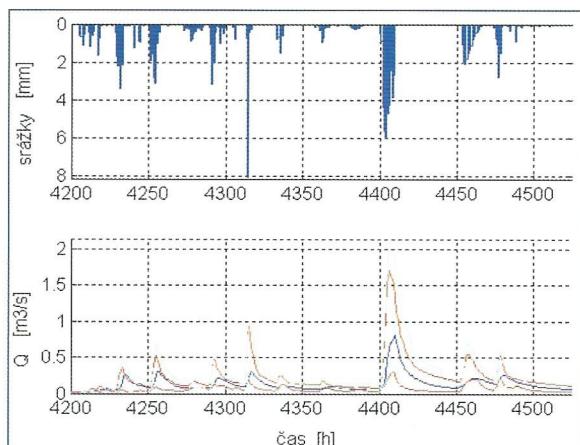


Obr. 10. Orobinec širokolistý, přeslička a tužebník jilmový

Literatura

- Ambroise, B., Freer, J., and Beven, KJ. (1996) Application of a generalized TOPMODEL to the small Ringelbach catchment, Vosges, France. *Water Resour. Res.*, 31: 1q467–1481.
 Blazkova, S., Beven, KJ., and Kulasova, A. (2002a) On constraining TOPMODEL hydrograph simulations using partial saturated area information. *Hydrological Processes*, 16, 441–458.
 Blazkova, S., Beven, K., Tacheci, P., and Kulasova, A. (2002b) Testing the distributed water table predictions of TOPMODEL (allowing for uncertainty in model calibration): the death of TOPMODEL? *Water Resour. Res.*, 38, 11, Doi: 10.1029/2001WR000912.
 Blažková, Š., Beven, K., and Kulasová, A. (2004) Trying to reduce modelling uncertainty with the help of satura-

rametrů matematického modelu). Z akceptovaných sad, které modelují přijatelně jak průtoky v závěrovém profilu, tak dynamiku nasycování povodí, je možno sestrojit věrohodnější predikční meze průtoků v závěrovém profilu (příklad je na obr. 11). Taková studie se vedle vědecké hodnoty může ukázat využitelná i v praxi, např. při zkoumání účinnosti měkkých opatření pro povodňovou ochranu.



Obr. 11. Meze nejistoty predikce průtoků na povodí Uhlířská: modré měřené průtoky, cyan – meze vypočtené s věrohodností odvozenou pouze z přiléhavosti simulací odtoku v závěrovém profilu, červeně – meze vypočtené s věrohodností odvozenou z přiléhavosti simulací odtoku v závěrovém profilu a přiléhavosti simulací nasycených ploch

ted area mapping on a small catchment. EGU, Nice, 2004, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 6. ISSN 1029-7006.
 Kirkby, MJ. (1975) Hydrograph Modelling Strategies. In R. Peel et al. (Eds) *Processes in Physical and Human Geography*, 69–90, Heinemann : London.
 Lamb, R., Beven, KJ., and Myrabo, S. (1998) Use of spatially distributed water table observations to constrain uncertainty in a rainfall-runoff model. *Adv. in Water Resour.*, 22, 4, 305–317.
 Marušková, L. (2003) Flora a vegetace mokřadních luk pod Bukovou horou – CHKO Jizerské hory podklady pro vyhlášení PP (Flora and vegetation of wetland grasslands under the Bukova Mountain – Protected Area Jizera Mountains). Diplomová práce, Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická, katedra ekologie, Praha, 1–76.

Kontakt:

- Ing. Alena Kulasová, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
 Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel.: 724 545 054, e-mail: alenakulas@email.cz
 prof. Keith Beven, Lancaster University, k.beven@lancaster.ac.uk
 Ing. Šárka Blažková, DrSc., Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.,
 Podbabská 30, 160 00 Praha 6, tel.: 724 602 956, e-mail: sarka_blažkova@vuv.cz