

MONITORING A MODELOVÁNÍ POVRCHOVÉHO ODTOKU S VYUŽITÍM GIS

Vendula HEJLOVÁ, Vilém PECHANEC, Jakub MIŘIJOVSKÝ

Katedra geoinformatiky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 17. listopadu 50, 779 00, Olomouc, Česká republika
venda.hejlova@gmail.com

Abstrakt

Hydrologické procesy probíhající v krajině jsou velmi složité a tvoří komplexní systém. Vliv na hydrologické procesy má mnoho faktorů, a tak jejich předpovídání zahrnuje nejen sledování veličin, které mohou být změřeny přímo v korytě vodního toku, ale i sledování klimatických činitelů, kteří ovlivňují hydrologické procesy. Kromě těchto závislostí jsou důležité i morfologické, půdní, krajinné a vegetační charakteristiky vybrané oblasti.

V rámci terénní části práce byl prováděn monitoring vybrané části vodního toku, na který navazoval sběr meteorologických a hydrologických dat. Výzkum povrchového odtoku byl prováděn v místě nově vybudované experimentální stanice ve Vysokém Poli, kde byla pro modelování vymezena oblast příslušného mikropovodí. V této oblasti byly vytvořeny vhodné podmínky pro lokalizaci senzorů, které zaznamenávají meteorologická data. Hydrologická data byla sbírána diskontinuálně s pravidelnými časovými odstupy tak, aby mohl být zohledněn i vliv extrémních situací. Pro meteorologický i hydrologický monitoring byly vymezeny čtyři výzkumné plochy, kde byly data sbírána. V článku budou popsány senzory využívané pro vlastní meteorologický monitoring a jejich základní nastavení. Kromě uvedení informací o měřících senzorech budou popsána i získaná data, která budou dále využívána. Vlastní zpracování dat probíhá průběžně během celého období sledování vybraných meteorologických a hydrologických veličin. Zpracovávána jsou jak meteorologická, tak hydrologická data, která jsou zaznamenána do grafů a jsou z nich vyvozeny závislosti.

Poslední část článku se bude zabývat vybraným postupem modelování povrchového odtoku. Pro modelování povrchového odtoku byla zvolena metoda CN křivek.

Abstract

Hydrological processes running in the nature are complicated and form a complex system. There are many factors having influence on these processes. That's why their prediction includes not only monitoring variables which can be measured directly in the river bed but also observing climatic factors which influence hydrological processes. There are also other important factors such as morfolological, soil, landscape and vegetation characteristics of chosen area.

Within terrain part of work monitoring of chosen part of river bed and collection of meteorological and hydrological data were carried out. So the research of surface runoff was realised in a new built experimental station in Vysoké Pole where an area of a small water basin was defined for modelling. In this area there were created suitable conditions for localization of sensors which record meteorological data. Hydrological data were collected discontinuously with regular time intervals so that influence of extreme situation could be evaluated. Sensors used for meteorological and hydrological monitoring and their basic setting will be described in the article. Except for information on measuring sensors obtained data which will be used further will be described.

Data processing runs continuously throughout the whole period of monitoring of chosen meteorological and hydrological variables. Both meteorological and hydrological data are treated and they are recorded into graphs and dependences and prediction are deduced. The last part of the article will deal with the chosen method of modelling of surface runoff. The method of CN curves was chosen for modelling surface runoff.

Klíčová slova: povrchový odtok; přímý odtok; CN číslo; monitoring; modelování

Keywords: surface runoff; direct runoff; CN number; monitoring; modelling

1. ÚVOD

Studium a následné modelování srážko-odtokových poměrů území je velmi důležité s ohledem na vzrůstající výskyty hazardů spojených s vodním živlem. Je důležité zaměřit se na sběr dat, která pomohou nebezpečí vzniku hazardu minimalizovat a v případě jeho vzniku předpovídat jeho další postup a navrhnout opatření, která předejdou dalším škodám. Srážko-odtokové procesy jsou velmi komplikované a jsou vázány na velké množství dat, která jsou fyzicko-geografického i antropogenního charakteru. Na základě aktuálních dat je možné s využitím geografických informačních systémů (GIS) modelovat situaci, která by mohla nastat ve vymezené lokalitě při extrémních srážkových situacích. Díky tomuto by bylo možné provést preventivní opatření, která by zmenšila rozsah škod.

V příspěvku bude popsána sledovaná oblast, která je vymezena mikropovodím sledovaného vodního toku, který se nachází na východní Moravě. Monitorování meteorologických a hydrologických prvků bylo uskutečňováno v období od 12. 5. 2011 do 29. 2. 2012. V severní části mikropovodí byly rozmístěny senzory, které snímaly potřebné meteorologické prvky a zároveň zde byla prováděna i diskontinuální hydrologická měření. K meteorologickému monitorování bylo využito několika typů senzorů, které byly rozmístěny ve čtyřech lokalitách. Tyto lokality jsou v rámci příspěvku nazývány výzkumnými plochami. Data získaná v rozdílných výzkumných plochách byla porovnávána a byly zjišťovány příčiny, které vedly k odchylkám v naměřených datech. Hydrologické monitorování vodního stavu a jemu odpovídajícímu průtoku bylo prováděno ve vymezených termínech ve čtyřech výzkumných plochách, které byly situovány v rozdílných částech vodního toku. Výška přímého odtoku z mikropovodí byla modelována na podkladu poskytnutých dat. K modelování výšky přímého odtoku byla zvolena metoda čísel odtokových CN-křivek, která je vhodná pro modelování výšky přímého odtoku v malých povodích. Na základě modelování této problémové oblasti je možné navrhnout opatření, která snižují rizika spojená s možným propuknutím hazardů.

2. VÝZKUMNÁ LOKALITA

Výzkumnou lokalitou bylo vybrané mikropovodí, které má rozlohu 2,82 km², a nachází se na východní Moravě. Jeho největší částí spadá do katastrálního území Vysoké Pole. Obec Vysoké Pole leží ve Zlínském kraji v okrese Zlín. Nedaleko jsou města Valašské Klobouky, vzdálené 7 kilometrů a Vizovice, které jsou ve vzdálenosti 13 kilometrů. Výměra katastrálního území Vysoké Pole je 1211 ha. Průměrná nadmořská výška katastrálního území je 423 m.n.m. (Obec Vysoké Pole, 2012). V katastrálním území Vysoké Pole byly rozmístěny všechny senzory pro meteorologický monitoring. V tomto území se nachází i sledovaný vodní tok, a tak zde byla prováděna i diskontinuální hydrologická měření. Menší, jižní část mikropovodí, náleží katastrálnímu celku Drnovice u Valašských Klobouk.

Sledované mikropovodí spadá k vodnímu toku 4. řádu, který nemá stanovené oficiální jméno. Vodní tok pramení v nadmořské výšce 488 m.n.m. pod vrchem Rovné, který se nachází v nadmořské výšce 519. Tok se po 2,3 km délky vlévá do Vláry, a tak spadá do povodí Váhu a úmoří Černého moře. Hydrologické pořadí vodního toku je 4-21-08-048/0 (HEIS, 2012). V horním úseku vodního toku byly vymezeny výzkumné plochy pro meteorologická a hydrologická měření. Z rozdílu hodnot mezi nejvyšším a nejnižším bodem lze určit spád sledované části toku (Zapletal, 2000), který činí 89 metrů. Mikropovodí je z největší části pokryto trvalým travním porostem, který zaujímá 1,1 km² z celkové rozlohy mikropovodí. Kromě trvalého travního porostu se v mikropovodí hojně vyskytují smíšené a jehličnaté lesy, které zaujímají 0,95 km². Orná půda tvoří 0,4 km² z celkové rozlohy mikropovodí.

3. ODTOK

Odtok vody z povodí tvoří hlavní komponentu oběhu vody. Odtok představuje množství vody, která odečte z povodí za jednotku času (Pokorná a Zábranská, 2007), a dělí se na: povrchový, podpovrchový (hypodermický) a podzemní. Tvorba odtoku je ovlivňována mnoha procesy. Dle míry působení procesů může být odtok klasifikován. Povrchový a podpovrchový (hypodermický) odtok se souhrně označují jako přímý odtok. Tento typ odtoku je způsoben vypadáváním srážek a pokračuje bezprostředně po ukončení srážkové činnosti (Kulhavý a Kovář, 2000). Pro modelování srážko-odtokových procesů je důležité

předpovídat velikost povrchového případně podpovrchového odtoku. Velikost těchto typů odtoku je výrazně ovlivňována srážkovou činností. Na povrchovém odtoku se podílí veškerá voda, která nebyla zachycena vegetací tzv. procesem intercepce a ani nebyla infiltrována do půdy. Míra infiltrace záleží nejen na intenzitě srážky a délce jejího trvání, ale i na vlastnostech povrchu, na který dopadá. Na nepropustných površích nedochází k infiltraci, a tak je povrchový odtok uskutečňován s vyšší intenzitou (Daňhelka, 2007).

4. METODY PRÁCE

Metody práce jsou rozděleny do dvou částí, z nichž první se zabývá monitoringem a popisem výzkumných ploch. Druhá část metod se věnuje modelování výšky přímého odtoku v mikropovodí.

4.1 Monitoring a výzkumné plochy

Pod pojmem monitoring se rozumí sledování vybraného procesu nebo jevu, který je sledován pomocí vybraného snímače, který naměřená data zaznamenává na vhodný datalogger. Monitoring může být kontinuální nebo diskontinuální (Pechanec, 2011).

Pro potřeby modelování byla diskontinuálně sledována meteorologická i hydrologická data v období od 12. 5. 2011 do 29. 2. 2012. Mezi sledovaná meteorologická data patří: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu a srážky. Tyto základní meteorologické prvky byly sledovány minimálně na třech ze čtyř výzkumných ploch. Sledovaná hydrologická data tvořil vodní stav a jemu odpovídající průtok. Jejich hodnoty byly měřeny ve čtyřech výzkumných plochách nacházejících se v rozdílných částech vodního toku.

Pro meteorologická měření byly zvoleny čtyři výzkumné plochy, které byly označeny písmeny A - D. Každý meteorologický prvek byl měřen na třech výzkumných plochách. Důvodem zavedení čtvrté výzkumné plochy byla příliš velká vzdálenost srážkoměru od teplotního a vlhkostního čidla. Tato vzdálenost činila 210 metrů, a tak nebylo možné tyto dvě lokality považovat za totožné, protože hodnoty naměřené ve stejné lokalitě by se mohly lišit. Hydrologická data byla získávána v předem vybraných místech v horní části vodního toku. Tato místa byla čtyři a byla označována jako výzkumné plochy Q1 – Q4. Ve vybraných dnech v nich probíhala měření vodních stavů a průtoků. K měření byl využíván žlab pro měření průtoků a metoda, která počítá čas, za který se naplní nádoba o známém objemu podle vzorce $Q = V/t$. Ke správnému odečtu hodnot je třeba umístit žlab pro měření průtoků vodorovně ve všech směrech a zajistit, aby všechna voda protékala skrz přístroj. Rozdíly mezi výzkumnými plochami jsou v odlišném stupni pokrytí vegetací, typu půdy, nadmožské výšce, sklonu svahu. V případě malého území má na měřené meteorologické prvky největší vliv pokrytí vegetací. Ostatní faktory, které mají vliv na sledované meteorologické prvky, nejsou na tak malém prostoru příliš výrazné. Výzkumná plocha A se nachází v oblasti s lesnatým porostem, ve kterém převládají stromy nad nízkými dřevinami. Skladba lesa je smíšená. Nacházejí se zde borovice, jedle, buky a duby. Průměrná výška stromů se pohybuje kolem 18 metrů. Ve výzkumné ploše B se nachází trvalý travní porost, který v letních měsících dosahoval výšky až dvou metrů. Výzkumná plocha C se nachází na malé pastvině, která je ze severní strany zastíněna budovou. Poslední výzkumná plocha D je situována na okraj pastviny a je obklopena stromořadím.

Ve výzkumných plochách A a B byly nainstalovány teplotní a vlhkostní datalogery HOBO R08, které jsou umístěny ve stínítku ve výšce dvou metrů nad zemským povrchem. Tento typ dataloggeru má vestavěny čtyři kanály. V tomto případě jsou využívány jen dva. První měří teplotu ve ve stupních Celsia (°C) a Fahrenheita (F), a druhý zaznamenává relativní vlhkost. Dále jsou dopočítávány údaje o rosném bodu, absolutní vlhkosti a znova je dopočítávána relativní vlhkost. Dataloggeru lze nastavit interval, ve kterém má sledované veličiny zaznamenat. Pro monitorování byl zvolen nejnižší půlhodinový interval. Pro zaznamenávání srážek je ve výzkumné ploše A a B nainstalován jednočlunkový srážkoměr Amet se sběrnou plochou 200 cm². Počet překlopení člunku je zaznamenáván na datalogger HOBO Event Data Logger. Tento datalogger je propojen s mechanismem člunku srážkoměru a pomocí tohoto propojení zaznamená uzavření události, kterou je v tomto případě překlopení člunku. K události překlopení je automaticky zaznamenáno datum a čas překlopení. Čas je měřen s přesností na půl desítky sekundy (Miřijovský, 2009, Daňhelka, 2007, Mikrodaq, 2010, BoxCar Por 4.3). Ve výzkumné ploše C se nachází datalogger MiniCube od firmy EMS Brno, který umožňuje připojení až 12 kabelových vstupů. Z dále využívaných prvků je zde měřena

teplota vzduchu a relativní vlhkost vzduchu. Data byla zaznamenávána v 15ti minutovém časovém intervalu. Výzkumná plocha D je vybavena varovnou srážkoměrnou stanicí TS-200. Celý soubor se skládá z člunkového srážkoměru a telemetrické jednotky typu STELA 1. Srážkoměr má sběrnou plochou 200cm² a je nabízený společností Fiedler - Mágr (Fiedler - Mágr: elektronika pro ekologii, 2010). V případě deště se zaznamenává čas překlopení člunku, a tak když je stanovena hodnota překlopení, je možné dopočítat srážkový úhrn ve stanoveném intervalu.

4.2 Modelování výšky přímého odtoku

K modelování přímého případně povrchového odtoku je možné využít mnoha modelů a metod. Z těchto modelů a metod je důležité vybrat nejvhodnější variantu s ohledem na dostupnost a kvalitu vstupních dat, na vybrané území, na účel použití, dostupnost a náročnost vybraného modelu nebo metody. Základ pro velkou část srážko-odtokových modelů tvoří metoda odtokových CN-křivek, která je považována za jednoduchý srážko-odtokový model. Tato metoda byla zvolena i pro modelování přímého odtoku ve vybraném mikropovodí. Podkladové vrstvy k modelování přímého odtoku z mikropovodí byly poskytnuty ČÚZK, který poskytl polohopisná a výškopisná data z mikropovodí. Půdní data byla uvolněna výzkumnou organizací VÚMOP a půdní data v lesních oblastech uvolnil ÚHÚL.

Metoda čísel odtokových křivek umožňuje stanovení objemu přímého odtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm, který má určitou pravděpodobnost výskytu (Janeček, 2007). Základním vstupem metody odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového deště. Předpokládá se rovnoměrné rozdělení srážkového úhrnu na ploše povodí. Pomocí čísel odtokových křivek (CN) je transformován objem (výška) srážek na objem (výšku) odtoku. S využitím hodnoty CN lze zjistit, zda-li v území probíhá přímý odtok a jaká je jeho velikost. Čím vyšší je hodnota čísla CN, tím je pravděpodobnější, že v území probíhá odtok povrchový. Hodnota CN čísla závisí na třech faktorech, mezi které patří: hydrologické vlastnosti půd, vlhkost půdy a využití půdy. K určení tohoto čísla posloužila tabulka podle Janeček (2007). Hodnoty CN čísel odtokových křivek jsou ovlivněny předchozím nasycením půdy srážkami a jsou rozděleny do tří kategorií (Koehn, 2008). Základní vztah počítající objem přímého odtoku (H_0) je podle Janeček (2007) vyjádřen následovně:

$$H_0 = (H_s - 0,2A)^2 / (H_s + 0,8A), \text{ pro } H_s > 0,2A$$

kde: H_0 ... přímý odtok [mm]

H_s ... úhrn návrhového deště [mm]

A ... potenciální retence [mm], vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN)

Potenciální retence (A) se podle Janeček (2007) vypočítá pomocí vztahu:

$$A = 25,4 (1000/CN - 10)$$

Půdní data, která sloužila jako podklad pro modelování, vznikla sloučením půdních dat týkajících se zemědělských a lesních půd. K hlavní půdní jednotce (HPJ) byla přiřazena hydrologická skupina půd a její hydrologické podmínky. U lesních typologických dat nejsou určovány hlavní půdní jednotky, ale lesní typy, a tak k těmto datům byly přiřazeny skupiny typů geobiocénů (STG). Toto přiřazení bylo provedeno pomocí tabulky podle Löw (1995). Na základě znalosti STG a souboru lesních typů bylo pomocí aplikace přiřazeno souboru lesních typů číslo, které by odpovídalo hlavní půdní jednotce, kdyby se v tomto místě nacházela zemědělská půda. Číslo CN bylo přiřazeno na základě tabulky, která řeší nelesní a lesní oblasti. Po určení čísel CN byly pomocí rovnic podle Janeček (2007) určeny hodnoty potenciální retence pro jednotlivá čísla odtokových křivek. Čím vyšší je číslo CN, tím nižší je hodnota potenciální retence a tím je vyšší pravděpodobnost, že v oblasti probíhá povrchový odtok. Vysoká čísla CN křivek jsou proto situována do nepropustných oblastí. Číslo odtokové křivky je zvyšováno špatnými hydrologickými vlastnostmi půd. Kromě znalosti čísla CN je k výpočtu třeba stanovit rovnoměrný úhrn návrhového deště na povodí za pět dní přede dnem výpočtu výšky přímého odtoku. Při určování čísla CN nebylo uvažováno zvlhčení půdy na základě

faktoru IPS. Všechny výpočty byly prováděny s rastry, a tak se hodnoty vztahují k pixelům, které tvoří oblasti, které jsou stejně ohodnoceny.

5. VÝSLEDKY

Výsledky jsou rozděleny, stejně jako metody práce, na dvě hlavní části. První část se věnuje popisu a porovnání získaných dat z meteorologických a hydrologických měření. Druhá část se zabývá výsledky modelování výšky přímého odtoku ve sledovaném mikropovodí.

5.1 Monitoring meteorologických a hydrologických prvků

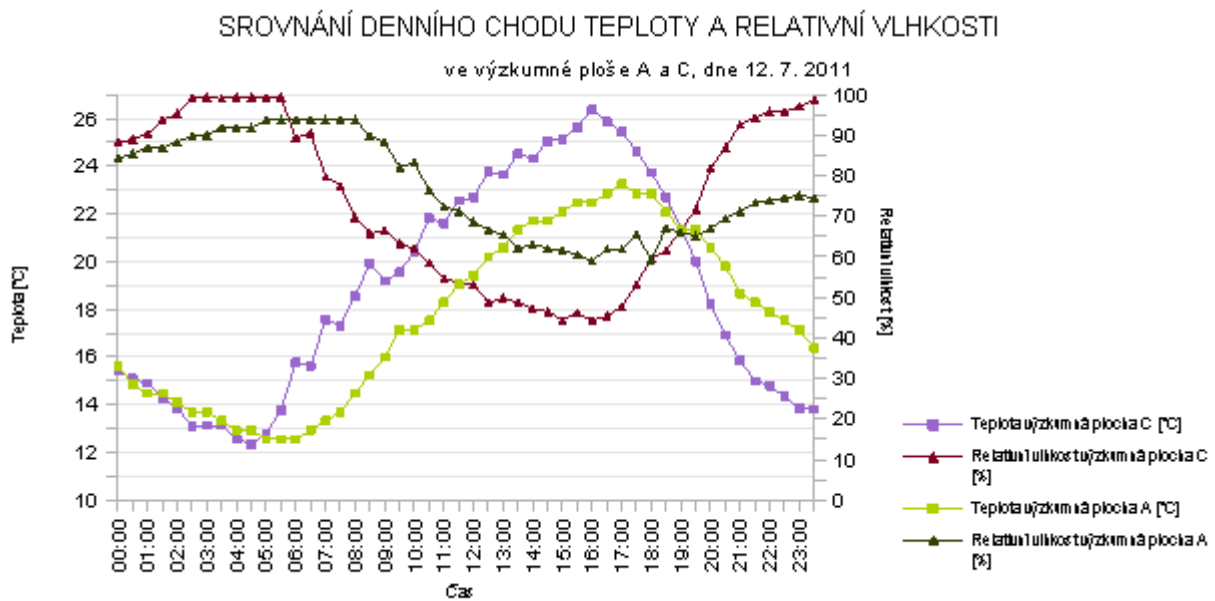
Měření meteorologických i hydrologických prvků probíhalo od 12. 5. 2011 do 29. 2. 2012. V tomto období byla meteorologická data ve dvou výzkumných plochách zaznamenávána každou půlhodinu, a tak bylo za jeden den nasbíráno 48 hodnot z výzkumné plochy A a B. Ve výzkumné ploše C bylo zaznamenáno 96 hodnot denně. Tato data musela být opravena, zpracována a vyhodnocena. Průměrné denní hodnoty teploty a relativní vlhkosti vzduchu byly získány s využitím standardizovaného výpočtu, který počítá průměr hodnot v klimatologických termínech měření (Vysoudil, 2006). Pro lepší názornost byly průměrné denní hodnoty rozčleněny do ročních období a jejich hodnoty jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1. Hodnoty meteorologických prvků v jednotlivých obdobích

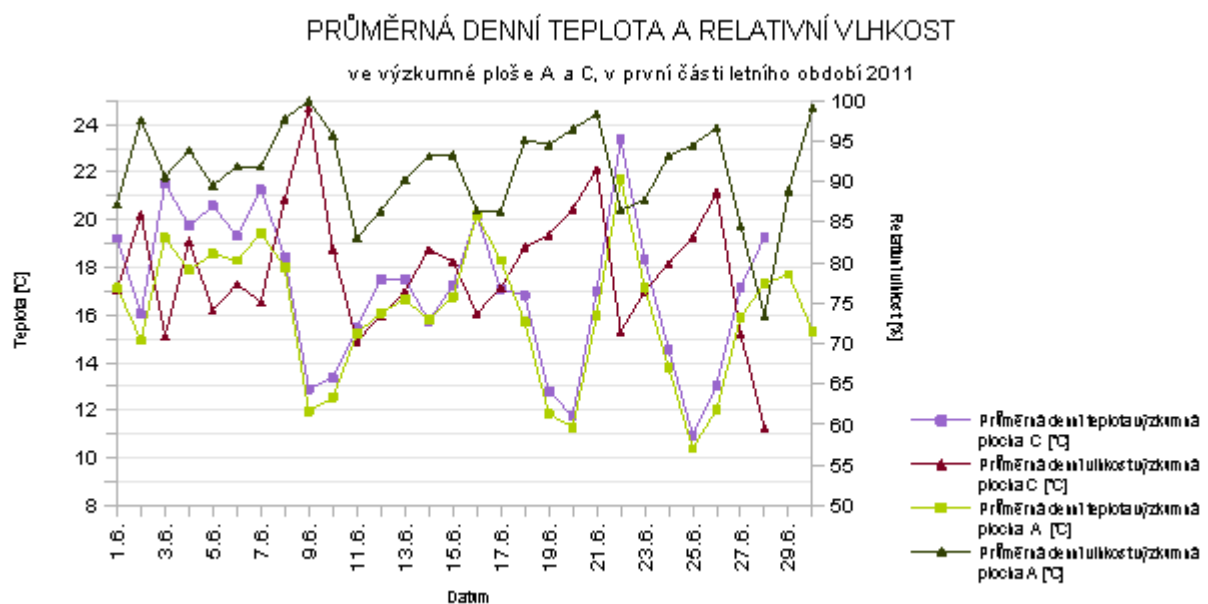
Jarní období (květen)	Průměrná teplota [°C]	Průměrná relativní vlhkost [%]	Srážkový úhm [mm]
Výzkumná plocha A	14,61	80,97	19,72
Výzkumná plocha B	no data	no data	no data
Výzkumná plocha C	15,34	72,76	
Výzkumná plocha D			41,81
Letní období (červen, červenec, srpen)			
Výzkumná plocha A	15,85	81,34	54,4 (červen)
Výzkumná plocha B	no data	no data	94,35 (červen)
Výzkumná plocha C	17,44	88,26	
Výzkumná plocha D			
Podzimní období (říjen, listopad)			
Výzkumná plocha A	5,62	40,1	19,4
Výzkumná plocha B	5,51	83,38	27,88
Výzkumná plocha C	5,54	85,99	
Výzkumná plocha D			46,25
Zimní období (prosinec, leden, únor)			
Výzkumná plocha A	-2,4	45,1	no data
Výzkumná plocha B	-2,22	82,72	218,14
Výzkumná plocha C	-1,95	91,93	
Výzkumná plocha D			160,8

Ovlivněno táním sněhu

Po zpracování denních i průměrných hodnot sledovaných meteorologických prvků bylo zjištěno, že výrazný vliv na jejich denní i průměrné hodnoty má vegetační pokryv v okolí senzoru (Obr. 1 a Obr. 2). Ve výzkumné ploše A, která je obklopena vegetací, je pozvolnější denní nástup maximálních teplot a tyto teploty nejsou tak výrazně vysoké jako na volném prostranství. Denní průběh teplot je v zalesněné oblasti vyrovnanější a zároveň denní teplotní amplitudy nejsou tak výrazné. Velikost teplotní amplitudy závisí i na míře oslunění samotného senzoru, který by měl být opatřen stínítkem, aby maximální naměřené hodnoty nebyly zkreslovány. Čím vyšší teplotní amplitudy byly naměřeny ve výzkumné ploše, tím je pravděpodobnější, že převládá radiční typ počasí. Před východem Slunce a po jeho západu jsou okolním porostem zachovány tepelné vlastnosti, a tak v zarostlých oblastech nejsou tak nízké teploty v nočních hodinách, jako v porostem nechráněných oblastech. Naměřené relativní vlhkosti vzduchu mají inverzní průběh k teplotám, a tak jejich maximální hodnoty byly dosaženy tehdy, když byly naměřeny minimální hodnoty teplot.



Obr. 1. Srovnání denního chodu teploty a relativní vlhkosti dne 12. 7. 2011

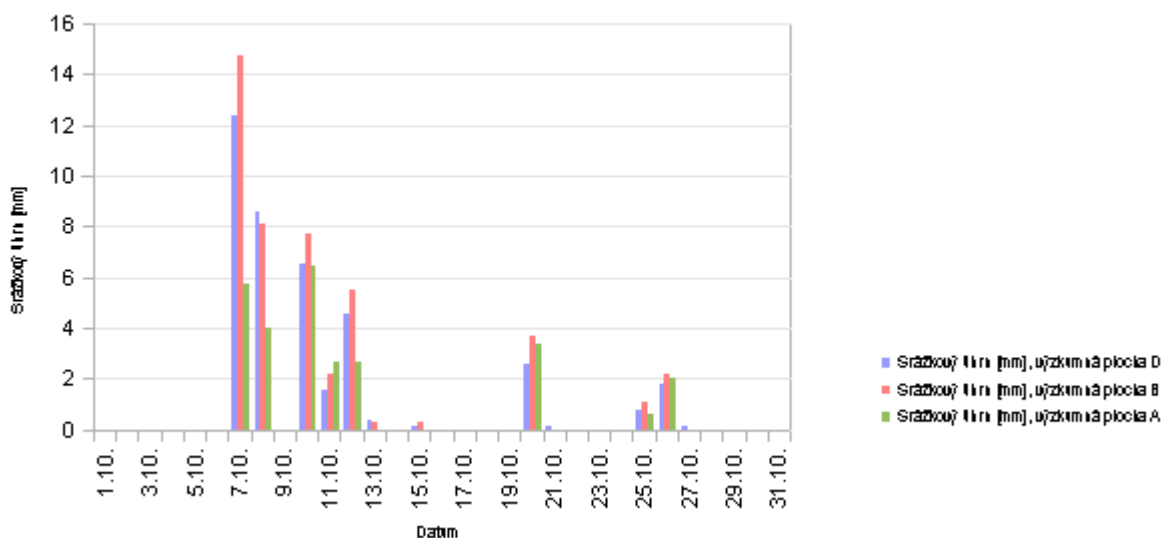


Obr. 2. Průměrná denní teplota a relativní vlhkost v letním období 2011

Srážkoměr, který je umístěn ve vegetací porostlém území, vykazuje odlišné hodnoty srážkového úhrnu, než srážkoměr umístěný na volném prostranství (Obr. 3). Pro objektivní pozorování je třeba se vyvarovat umístění srážkoměru v porostu, kdy voda z dešťových kapek nedopadá přímo do přístroje, protože je zachycena procesem intercepce nebo stéká po kmeni stromů. Z porovnání dvou takto umístěných srážkoměrů vyplývá, že na vegetací zastíněném místě je nástup deště pozvolnější a hodinový i celkový srážkový úhrn je nižší. Srážkový úhrn v jarním, letním a podzimním období byl ve výzkumné ploše zastíněné porostem průměrně o 54 % nižší než v ostatních výzkumných plochách. Výsledný srážkový úhrn v zimním období byl velmi ovlivněn charakterem srážek, protože jen srážkoměr ve výzkumné ploše D je vytápěn, a tak

jako jediný mohl zaznamenat aktuální srážkový úhrn. Z tohoto důvodu nebylo možné porovnat hodnoty srážkového úhrnu získané během zimního období.

SROVNÁNÍ DENNÍHO CHODU SRÁŽEK ve výzkumné ploše A, B a D, v říjnu 2011



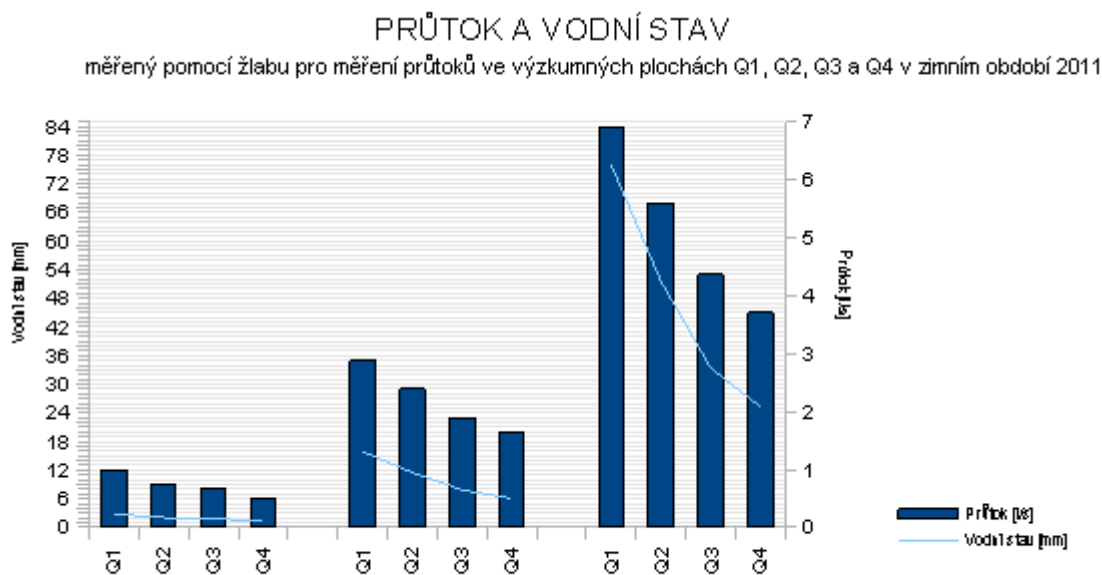
Obr. 3. Srovnání denního chodu srážek v říjnu 2011

Z hydrologických měření bylo zjištěno, že nejvyšší průtok a vodní stav jsou měřeny v dolní části toku. Strmost vzrůstu těchto veličin směrem k hornímu toku závisí na velikosti hodnot změřených v dolní části toku. Čím vyšší byl naměřen průtok a vodní stav v dolní části toku, tím strmější byl pokles jejich hodnot směrem k hornímu toku (Obr. 4). V jednom případě byla zjištěna odchylka od tohoto tvrzení. Toto nastalo v období velmi malé vodnosti, kdy průtoky ve všech částech vodního toku byly velmi vyrovnané a hodnota průtoků v dolní části toku byla ovlivněna absorpcí vody kořeny rostlin na březích vodního toku. Průměrná hodnota průtoků musí být vypočítána pro každou výzkumnou plochu zvlášť, protože naměřená data se vztahují pouze k místu měření. Abnormálně vysoké hodnoty průtoků byly změřeny dne 10. 1. 2012. V tento den bylo zaznamenáno intenzivní odtávání sněhové pokrývky a dešťové přeháňky. Tyto hodnoty výrazně ovlivňují průměrné hodnoty průtoků ve všech výzkumných plochách (Tab. 2).

Tab. 2. Průtoky a jejich průměrné hodnoty ve všech výzkumných plochách

Výzkumná plocha Q1	Průtok [l/s]	Výzkumná plocha Q2	Průtok [l/s]
14.6.2011	0,55	14.6.2011	0,43
29.6.2011	0,09	29.6.2011	0,11
16.7.2011	0,32	16.7.2011	0,29
6.8.2011	1,25	6.8.2011	0,75
30.8.2011	0,19	30.8.2011	0,13
21.9.2011	0,25	21.9.2011	0,19
18.10.2011	0,29	18.10.2011	0,19
17.11.2011	0,21	17.11.2011	0,17
7.12.2011	0,23	7.12.2011	0,17
27.12.2011	1,31	27.12.2011	0,95
10.1.2012	6,25	10.1.2012	4,25
Průměr se zahrnutím dne 10.1.	0,39	Průměr se zahrnutím dne 10.1.	0,63
Průměr bez zahrnutí dne 10.1.	0,47	Průměr bez zahrnutí dne 10.1.	0,34

Výzkumná plocha Q3	Průtok [l/s]	Výzkumná plocha Q4	Průtok [l/s]
14.6.2011	0,32	14.6.2011	0,29
29.6.2011	0,09	29.6.2011	0,07
16.7.2011	0,19	16.7.2011	0,17
6.8.2011	0,55	6.8.2011	0,39
30.8.2011	0,11	30.8.2011	0,09
21.9.2011	0,13	21.9.2011	0,11
18.10.2011	0,13	18.10.2011	0,09
17.11.2011	0,11	17.11.2011	0,07
7.12.2011	0,15	7.12.2011	0,11
27.12.2011	0,65	27.12.2011	0,5
10.1.2012	2,75	10.1.2012	2,09
Průměr se zahrnutím dne 10.1.	0,47	Průměr se zahrnutím dne 10.1.	0,36
Průměr bez zahrnutí dne 10.1.	0,24	Průměr bez zahrnutí dne 10.1.	0,19



Obr. 4. Průtok a vodní stav v zimním období 2011

5.2 Modelování výšky přímého odtoku

Pro mikropovodí byly za dobu sledování provedeny dva výpočty výšky přímého odtoku. První výpočet výšky přímého odtoku se vztahoval ke dni 31. 5. 2011, druhý se vázal ke dni 17. 10. 2011. Před oběma dny, kdy byly uskutečňovány výpočty výšky přímého odtoku, bylo využíváno naměřených srážkových úhrnů, které byly zjištěny pět dní před sledovanými dny a tvořily průměrnou hodnotu srážkových úhrnů naměřených ve výzkumných plochách A, B a D. Vyšší hodnota srážkového úhrnu byla vypočítána pro den 17. 10. a činila 27,06 mm. Dne 31. 5. byla hodnota předcházejícího pětidenního srážkového úhrnu o 5,6 mm nižší.

Výpočet výšky přímého odtoku byl prováděn v rastrových vrstvách, a tak před vlastním výpočtem výšky přímého odtoku z mikropovodí je třeba vyloučit pixely, které nevyhovují podmínce výpočtu přímého odtoku z mikropovodí. Pokud bude stanovena podmínka $H_s > 0,2A$, tak podmínce budou vyhovovat pouze pixely, na kterých se předpokládá, že voda ze srážky bude odtékat po zemském povrchu a nebude součástí procesu infiltrace, retence nebo intercepce. Kromě velikosti přímého odtoku je možné na základě ohodnocení pixelů CN číslem vypočítat i objem přímého odtoku, který je nejvyšší v místech, kde je nejvyšší velikost přímého odtoku.

Výška přímého odtoku je závislá na CN čísle odtokové křivky. Čím vyšší je toto číslo, tím je pravděpodobnější, že v místě probíhá povrchový odtok, a tak nejvyšší čísla odtokových křivek se nacházejí na nepropustných površích. Míra zvyšování výšky přímého odtoku v pixelech ohodnocených stejným číslem CN závisí na výšce návrhové srážky (Tab. 3). V tabulce jsou modře vyznačeny hodnoty, které vyhovují stanovené podmínce ($H_s > 0,2A$) a vstupují tak do dalších výpočtů.

Tab. 3. Přímý odtok a objem přímého odtoku pro pixely ohodnocené CN číslem při dvou návrhových srážkách

CN	A [mm]	Januárobdobí Hs = 21,46 [mm]		Podzimníobdobí Hs = 27,06 [mm]		Januárobdobí Hs = 21,46 [mm]		Podzimníobdobí Hs = 27,06 [mm]	
		0,2 A [mm]	Přímý odtok dne 31.5. 2011 [mm]	Přímý odtok dne 12.10. 2011 [mm]	Q [m ³ , 31.5. 2011	Q [m ³ , 12.10. 2011	Q [m ³ , 31.5. 2011	Q [m ³ , 12.10. 2011	
55	207,81818	41,96364	2,15304	1,08815	6071561,83	3068586,58			
58	183,93103	36,78621	1,39315	0,54303	3928696,42	1531355,17			
60	169,33333	33,86667	0,98087	0,28507	2766066,31	803884,11			
61	162,39344	32,47869	0,80206	0,18705	2251806,62	527482,03			
63	149,17460	29,83492	0,49815	0,05260	1404781,67	148323,55			
65	136,76923	27,35385	0,26542	0,00063	748494,7	1784,16			
66	130,84848	26,16970	0,17585	0,00502	496891,18	16967,24			
69	114,11594	22,82319	0,01648	0,15167	46476,53	427709,65			
71	103,74648	20,74930	0,00484	0,36186	13636,05	1020437,4			
73	93,94521	18,78904	0,07384	0,66926	208225,41	1887301,36			
75	84,66667	16,93333	0,22973	1,08182	647848,93	3050734			
76	80,21053	16,04211	0,34280	1,33066	966701,29	3752461			
77	75,87013	15,17403	0,48096	1,60988	1366296,86	4539848,17			
78	71,64103	14,32821	0,64569	1,92122	1820834,19	5417836,4			
79	67,51899	13,50380	0,83870	2,26667	2365138,37	6392006,84			
80	63,50000	12,70000	1,06197	2,64847	2994741,66	7468675,47			
82	55,75610	11,15122	1,60858	3,53157	4536208,99	9959018,08			
83	52,02410	10,40482	1,93751	4,03899	5463791,19	11389957,2			
84	48,38096	9,67619	2,30797	4,59512	6508461,4	12958232,43			
85	44,82353	8,96471	2,72393	5,20416	7681478,28	14675733,2			
86	41,34884	8,26977	3,19005	5,87094	8995934,56	16556049,36			
88	34,63636	6,92727	4,29638	7,40065	8995936,56	16556050,36			
90	28,22222	5,64444	5,67994	9,23946	16017421,96	26056263,42			
91	25,12088	5,02418	6,50043	10,29711	18331204,15	29037837,4			
94	16,21277	3,24255	9,63907	14,17107	27182188,64	39962405,09			
98	5,18367	1,03673	16,28894	21,70063	45934797,2	61195786,12			

Nejvyšší vypočítané hodnoty výšky přímého odtoku jsou v místech, kde se nacházejí komunikace, areály účelové zástavby a zastavěné území, které mají sklon svahu v rozmezí od 2° do 5°. Nejnižší vypočítané hodnoty výšky přímého odtoku jsou v nejvíce případech situovány do území s různorodým sklonem svahu, protože se jedná o území, ve kterých převládají louky, které mohou mít různorodý sklon svahu. Při výpočtu přímého odtoku metodou CN křivek nelze určit, že vyšší hodnoty přímého odtoku jsou vztaženy k oblastem s vyšším sklonem povodí, protože terénní vlastnosti nejsou do výpočtů podle metody CN odtokových křivek zahrnuty. U nepropustných ploch, které jsou označeny číslem CN 98, byl při dvou navržených srážkách rozdíl v přímém odtoku 5,41 mm. Nejnebezpečnější potenciál k vysoké hodnotě přímého odtoku je v místech, kde se nachází orná půda. 13035 pixelů s velikostí přímého odtoku od 4,5 mm do 7,5 mm, při návrhové srážce 27,06 mm, se nachází v místech, kde je orná půda, a tak je vhodné v těchto oblastech navrhnout opatření, která by snížila vysoké hodnoty přímého odtoku, a zamezilo by se tak působení povrchové vody na zemský povrch.

6. ZÁVĚR

Přímý i povrchový odtok tvoří velmi komplexní a složitý proces, který je ovlivněn mnoha činiteli, a tak je třeba znát velké množství dat, aby mohl být vypočítán a určen (Kulhavý a Kovář, 2002). Záměrem tohoto příspěvku bylo měření dat v rozdílných výzkumných plochách, tak aby data z těchto výzkumných ploch mohla být dále porovnáвана. Dalším cílem bylo zjistit možnosti získávání dat, která by sloužila jako vhodný podklad pro modelování výšky přímého odtoku.

Potřebná meteorologická data byla získávána na výzkumných plochách situovaných v mikropovodí, a tak mohlo být předem určeno vlastní nastavení senzorů, které byly pro měření využívány. Data byla dále zpracovávána a porovnáвана. Na základě porovnání dat z rozdílných výzkumných ploch mohly být určeny rozdíly, které vyplývají z okolního prostředí, kterým je výzkumná plocha obklopena. Pro další využívání se jeví jako nevhodné srážkové úhrny získané srážkoměrem situovaným v lesním porostu, protože výsledná data jsou velmi zkreslena procesem intercepce a stokem vody po kmeni stromů. Naměřené teploty a relativní vlhkosti vzduchu mohly být zprůměrovány, protože proměnlivost těchto meteorologických prvků záleží na více faktorech, než jenom uložení v porostlém území. Díky tomuto mohla být do dalšího výpočtu zahrnuta větší variabilita. Část dat, která nebyla měřena v terénu, ale byla třeba k modelování povrchového odtoku, byla získána od poskytovatelů, mezi které patřily ČÚZK, VÚMOP a ÚHUL. Přesnost celého výpočtu by byla vyšší, kdyby byla provedena vlastní terénní měření, která by odpovídala aktuálnímu stavu využití země, půdním jednotkám a digitálnímu modelu reliéfu. Toto by bylo velmi technicky a časově náročné, a tak by se musela určit menší oblast, kde by toto bylo prováděno. Všechna vstupní data byla v měřítku 1 : 10

000. Data týkající se využití země byla aktualizována na základě současných podkladů, znalostí území a měření v terénu, tak aby konečná vrstva odpovídala aktuální situaci. Měřítko 1 : 10 000 bylo pro oblast mikropovodí dostatečně přesné a podrobné.

Kromě vstupních dat je pro modelování přímého odtoku důležité zvolit odpovídající metodu pro modelování. Metoda čísel odtokových CN křivek se jeví jako vhodná pro základní stanovení výšky přímého odtoku v mikropovodí k vybranému dni, kterému předcházela srážkový úhrn v posledních pěti dnech před stanovením výšky přímého odtoku. Díky této metodě může být vypočítána výška přímého odtoku a objem odtoku z pixelů v mikropovodí, které jsou ohodnoceny CN číslem. Hodnoty vypočítané výšky přímého odtoku ve více obdobích lze srovnávat a zjišťovat, které plochy s jakým půdním typem a využitím území, jsou nejnáchylnější k tvorbě přímého odtoku. Nevýhoda této metody může spočívat ve špatném určení parametrů na jejichž základě se určuje číslo CN, v nezohledňování krátkodobých intenzivních srážek, ve využití pro dlouhodobější simulace odtokové situace a nezohledňování sklonových poměrů území. S využitím této metody byly zjištěny odtokové poměry v jednotlivých pixelech ohodnocených CN číslem v celém mikropovodí. Na základě rozvržení ploch nejnáchylnějších k tvorbě přímého odtoku mohou být navržena opatření, která by snižovala rizika spojená s vysokými hodnotami přímého odtoku, který se může při vyšších hodnotách návrhové srážky představovat možné ohrožení.

V mikropovodí probíhají další výzkumy, které na tento navazují, a odhalují další možné problémy, které mohou představovat možné hazardy a před kterými je možné zavést včasné opatření, aby byl vznik hazardu minimalizován.

LITERATURA

BoxCar Pro 4. 3.: User's Guide (1995-2000). [online]. Bourne, USA. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <http://www.edsc.dk/Dansk/Produkter/Meteorologi/Hobo/bcp_43_user_guide.pdf>.

DAŇHELKA, J. (2007): Operativní hydrologie: Hydrologické modely a nejistota předpovědí. Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, Praha, 104 s.

Fiedler – Mágr: elektronika pro ekologii (2010).[on line]. Dostupné z: <view source:<http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/male-telemetricke-stanice/telemetricka-stanice-stela-i->>.

[HEIS VÚV \(2012\) \[on line\]. \[cit. 2012-02-26\]. Dostupné z: <http://heis.vuv.cz/data/webmapisapi.dll?map=mp_heis_voda&>](http://heis.vuv.cz/data/webmapisapi.dll?map=mp_heis_voda&).

JANEČEK, M. (2007): Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 76 s.

KOEHN, K. (2008): Runoff using a combined geographic information system and curve number approach [online]. Inquiry, Vol. 9 [cit. 2012-11-11]. Dostupné z <<http://inquiry.uark.edu/issues/v09/2008a09.pdf>>.

[KULHAVÝ, Z a KOVÁŘ, P. \(2002\): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha, 123 s.](http://www.vyzkumny-ustav-melioraci-a-ochrany-pudy.cz/vyuziti-modelu-hydrologicke-bilance-pro-mala-povodi)

LÖW, J.: (1995): Přílohy: Převod souborů lesních typů. Rukověť projektanta místního územního systému ekologické stability. DOPLNĚK, Brno. 122 s.

MikroDaq: Box Car 3.7 for Windows (2010). [online]. [cit. 2012-02-02]. Dostupné z: <<http://www.microdaq.com/occ/software/boxcar.php>>.

MIŘIJOVSKÝ, J. (2009): Cvičení pro předmět dynamická geomorfologie [online]. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc [cit. 2011-09-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.geoinformatics.upol.cz/file/vyuka/cvicebnice.pdf>>.

Obec Vysoké Pole (2012). [online]. [cit. 2012-02-21]. Dostupné z: <<http://vysokepole.cz/cz/index.php?page=o-nasi-obci>>.

PECHANEC, V. (2011): Přednáška modelování přírodních hazardů – Monitoring, Sensor web application. Olomouc.

[POKORNÁ, D a ZÁBRANSKÁ, J](#) (2007): Hydrologie a hydropedologie. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 218 s.

VYSOUDIL, M. (2006): Meteorologie a klimatologie. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 281 s.

ZAPLETAL, M. (2000): Sbíрка řešených příkladů z hydrologie. Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, Vodňany, 150 s.