

Redakčně upravená periodická zpráva projektu QJ1520265 za rok 2016

Název projektu: Vliv variability krátkodobých srážek a následného odtoku v malých povodích České republiky na hospodaření s vodou v krajině

Číslo projektu: QJ1520265

Program: Komplexní udržitelné systémy v zemědělství 20122018 "KUS"

Podprogram: Udržitelný rozvoj lesního a vodního hospodářství a ostatních oblastí zemědělství

Cíl podprogramu: Stanovit možnosti zvýšení retence a akumulace povrchových a podzemních vod v povodí na základě analýzy generování rychlé složky odtoku povrchových a podzemních vod

Doba řešení: 1. 4. 2015 - 31. 12. 2017
Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.
Příjemce koordinátor: ČVUT v Praze (PK) 68407700

Příjemce: Ústavy fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.
Další účastník: Sweco Hydroprojekt a.s.

Číslo smlouvy: 7009/2015-MZE-17012
Číslo jednací: 115-2015-17012

Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

.....

Praha, Leden 2017

Osnova zprávy a její součásti

1. Cíle projektu	4
2. Náklady za projekt celkem	5
3. Úvod k průběhu řešení v roce 2016	7
3.1. Řešitelský tým	7
3.2. Shrnutí postupu v roce 2016	8
3.2.1. ČVUT	8
3.2.2. UFA	9
3.2.3. SWECO	9
4. Aktivity v roce 2016	11
4.1. A1601 Optimalizace mapových serverů (návaznost na cíl C2)	11
4.2. A1602 Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR (návaznost na cíl C3).	16
4.3. A1603 Zastoupení generalizovaných hyetogramů ve vybraných lokalitách ČR (návaznost na cíl C4)	23
4.4. 1604 Testování vlivu srážkových scénářů na výstupy vybraných hydrologických modelů s ohledem na variabilitu ostatních vstupů (návaznost na cíl C5)	25
4.4.1. Vstupní data	25
4.4.2. Popis zpracování a výsledků z jednotlivých vybraných hydrologických modelů	28
4.4.3. Porovnání výsledků	41
4.5. A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (návaznost na cíl C6)	44
4.5.1. Povodí Býkovického potoka	52
4.5.2. Povodí Struhařovského potoka	53
4.5.3. Povodí Chouzavé	54
4.5.4. Povodí Škvoreckého potoka	56
4.5.5. Povodí Halounského potoka	58
4.6. A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní analýzy (návaznost na cíl C7)	60
4.6.1. Malá vodní nádrž	60
4.6.2. Suchá nádrž	61
4.6.3. Protierozní sedimentační nádrž	62
4.6.4. Ochranná hrázka	62
4.6.5. Retenční příkop	62
4.6.6. Odváděcí příkop	63
4.6.7. Retenční a odváděcí průleh	63
4.6.8. Propustek	64
4.6.9. Mostek	64
4.7. A1607 Měření v terénu (návaznost na cíl C8)	66

5.	Plánované aktivity na 2017	70
5.1.1.	A1701 Metodika (C001)	70
5.1.2.	A1702 - Uspořádání konference (C001)	70
5.1.3.	A1703 - Optimalizace mapových serverů a tvorba mapových výstupů projektu (C002)	71
5.1.4.	A1704 - Lokalizace zobecněných hyetogramů v ČR (C004).....	72
5.1.5.	A1705 - Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (C006)	72
5.1.6.	A1706 - Vliv na vodohospodářské stavby (C007)	72
5.1.7.	A1707 - Analýza vlivu rozdělení srážky ve vybraných hydrologických modelech (C005)	73
5.1.8.	A1708 - Měření v terénu (C008)	74
6.	Literatura	76
7.	Dosažené výsledky	78
8.	Popis uplatnění	79
9.	Přílohy	79

Organizace účastníků se projektu

Příjemce koordinátor	České vysoké učení technické v Praze
Příjemce	Ústavy fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.
Další účastník	Sweco Hydroprojekt a.s.

Řešitelský tým

České vysoké učení technické v Praze

Ing. Petr Kavka, Ph.D. - odpovědný řešitel

doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál

doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.

Ing. Luděk Strouhal

Ing. Martin Landa, Ph.D.

Ing. Tomáš Janata, Ph.D.

Ing. Lenka Weyskrabová

Ing. Martin Neumann

Ing. David Zumr, Ph.D.

Ing. Jakub Jeřábek

Ústavy fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.

RNDr. Miloslav Müller, Ph.D. - řešitel

RNDr. Marek Kašpar, Ph.D.

RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D.

Mgr. Blanka Gvoždíková

Mgr. Kateřina Skripniková, Ph.D.

Sweco Hydroprojekt a.s.

Ing. Martin Pavel - další řešitel

Ing. Libuše Kudrnová

Ing. Miroslav Lubas

Ing. Petr Kožant

1. Cíle projektu

Cílem projektu je zpracování návrhových krátkodobých dešťů pro potřeby hydrologického či erozního modelování v kontextu navrhování typických opatření na podporu retence a akumulace vod v povodí. Návrhové scénáře krátkodobých dešťů budou vycházet ze staničních a radarových měření s ohledem na úhrn epizodních událostí, četnost jejich výskytu, vnitřní rozdělení intenzit a prostorové rozložení v rámci ČR.

Odezvy těchto scénářů budou na vybraném vzorku simulačních modelů analyzovány s cílem zhodnotit jejich variabilitu způsobenou kromě výběru srážkového scénáře i použitou simulační metodou. Nejistoty modelových výstupů budou vyhodnoceny z hlediska dopadů na realizaci vodohospodářských opatření (protierozní opatření, společných zařízení PÚ, úprav malých vodních toků a objektů na nich). Cílem je také výsledky promítnout do metodiky a veřejnosti umožnit přístup k výsledkům formou map a webové mapové aplikace pro získání návrhových scénářů krátkodobých srážek.

Tab. 1 Dílčí cíle projektu QJ1520265

Identifikace	Název dílčího cíle
C001	Vytvoření metodiky využití návrhových krátkodobých dešťů pro hydrologické a erozní modely při navrhování opatření pro retenci a odvádění povrchových vod v malých povodích
C002	Vytvoření aplikace mapového serveru a tématických map
C003	Vytvořit generalizované koncepční modely srážkových událostí (již ukončen)
C004	Určit plošné rozdělení generalizovaných koncepčních modelů srážkových intenzit na území ČR
C005	Výběr reprezentativních prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelů a následné provedení analýzy citlivosti jejich výstupů na přesnost návrhové srážky s ohledem na nejistoty dalších vstupů
C006	Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice
C007	Dopad zpřesněných základních návrhových parametrů povrchového odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb
C008	Terénní měření, jejich vyhodnocení a porovnání s modelovanými hodnotami

2. Náklady za projekt celkem

Náklady za projekt v roce 2016 v tisících Kč.

1.5.3.1. Náklady za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
18. UZNANÉ NÁKLADY	tis. Kč	4 038	4 021
19. PŘÍMÉ NÁKLADY	tis. Kč	3 060	2 991
19.10 Osobní	tis. Kč	2 386	2 386
19.20 Pořízení HMM	tis. Kč	78	93
19.30 Pořízení NHMM	tis. Kč	115	77
19.40 Provoz a údržba HMM	tis. Kč	129	118
19.50 Služby	tis. Kč	109	113
19.60 Materiál	tis. Kč	52	66
19.70 Cestovné	tis. Kč	176	135
19.80 Specifické	tis. Kč	15	3
20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY	tis. Kč	978	978

1.5.3.2. Zdroje za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
MZE18. DOTACE Z MZe	tis. Kč	2 650	2 650
VRATKA18. Vrácení dotace	tis. Kč	0	0
MZE19.10. Osobní z MZe	tis. Kč	1 323	1 323
NZF18. CELKEM Z NZF	tis. Kč	1 311	1 311
OVZ18. CELKEM Z OVZ	tis. Kč	0	0

1.5.3.3. FUUP za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Skutečnost
30. PŘEVOD DO FUUP	tis. Kč	77	52
30. ČERPÁNÍ Z FUUP	tis. Kč		77

Náklady za projekt v roce 2017 v tisících Kč.

2.2.2.1. Náklady za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
18. UZNANÉ NÁKLADY	tis. Kč	5 117	5 117
19. PŘÍMÉ NÁKLADY	tis. Kč	3 857	3 857
19.10 Osobní	tis. Kč	2 937	2 937
19.20 Pořízení HMM	tis. Kč	90	90
19.30 Pořízení NHMM	tis. Kč	170	170
19.40 Provoz a údržba HMM	tis. Kč	133	133
19.50 Služby	tis. Kč	278	278
19.60 Materiál	tis. Kč	46	46
19.70 Cestovné	tis. Kč	153	153
19.80 Specifické	tis. Kč	50	50
20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY	tis. Kč	1 260	1 260

2.2.2.2. Zdroje za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
MZE18. DOTACE Z MZe	tis. Kč	3 428	3 428
VRATKA18. Vrácení dotace	tis. Kč	0	0
MZE19.10. Osobní z MZe	tis. Kč	1 714	1 714
NZF18. CELKEM Z NZF	tis. Kč	1 689	1 689
OVZ18. CELKEM Z OVZ	tis. Kč	0	0

2.2.2.3. Fuup za projekt			
Ukazatel	Jednotka	Schváleno	Výhled
30. ČERPÁNÍ Z FUUP	tis. Kč		52

Celkové uznané náklady projektu za celé období řešení jsou 13 040 tis. Kč.

3. Úvod k průběhu řešení v roce 2016

Vzhledem k celkové délce projektu byl rok 2016 prostředním rokem řešení. V souladu s návrhem projektu jsou aktivity jednotlivých řešitelských týmů navzájem propojeny nebo na sebe navazují. Průběh řešení letošního roku lze rozdělit do čtyřech hlavních částí: (a) zpracování návrhových srážek (A1602 a A1603), (b) kategorizace povodí IV. řádu včetně výběru reprezentativních povodí (A1605), (c) modelování vybranými hydrologickými modely nebo citlivostní analýza v případě méně často využívaných modelů (A1604), (d) řešení poskytování výsledků projektu pomocí GIS/webových služeb (A1601).

Z prostředků projektu je také spolufinancována podpora dlouhodobého měření na experimentálních povodích a podpora krátkodobých terénních měření s pomocí mobilního dešťového simulátoru. V rámci řešení projektu v roce 2016 byla provedena rešerše možných (nejběžnějších) staveb na malých vodních tocích nebo v dočasné hydrografické síti.

Předkládaná redakčně upravená zpráva je rozdělena do dvou částí. První shrnuje průběh aktivit ve druhém roce řešení podle ve výše uvedených částí. V navazující druhé části jsou pak popsány plánované aktivity na třetí, tj. poslední rok řešení projektu.

3.1. Řešitelský tým

Řešitelský kolektiv se skládá z členů tří pracovišť. Během roku 2016 řešitelský tým pracoval v obdobném složení jako v prvním roce a nedošlo k významným změnám rolí pracovních skupin. Řešitelský kolektiv se jako celek se scházel čtvrtletně. Zapojená pracoviště pak v častějších intervalech dle potřeb řešení. Dílčí úkoly, které vyžadovaly vzájemnou komunikaci mezi jednotlivými částmi týmu, byly konzultovány mezi konkrétními osobami řešitelského kolektivu.

Za ČVUT na projektu pracovali Ing. Petr Kavka, Ph.D., Ing. Luděk Strouhal, Doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál a doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D. Dále byli do řešení zapojeni Ing. Martin Landa, Ph.D, Ing. Tomáš Janata, Ph.D. a Ing. David Zumr, Ph.D. Formou dohody o provedení práce byli zapojeni studenti doktorského studia Ing. Lenka Weyskrabová, Ing. Martin Neumann a Ing. Jakub Jeřábek.

Řešitelský tým Ústavu fyziky atmosféry AV ČR pracoval ve složení: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D., RNDr. Marek Kašpar, Ph.D. a RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D. V rámci dohody o provedení práce byla zapojena Mgr. Kateřina Skripniková, Ph.D.

Za rok 2016 v řešitelském týmu za Sweco Hydroprojekt a.s. nedošlo k žádné změně ve složení. Na řešení jednotlivých úkolů se podíleli následující členové řešitelského týmu: Ing. Martin Pavel, Ing. Libuše Kudrnová, Ing. Miroslav Lubas a Ing. Petr Kožant.

3.2. Shrnutí postupu v roce 2016

3.2.1. ČVUT

Pracoviště ČVUT pracovalo v roce 2016 v rámci projektu na třech hlavních aktivitách. První z nich je modelování návrhových srážek v hydrologických modelech. V prvním roce řešení projektu byla provedena rešerše, rozdělení modelů podle jejich principů řešení a výběr reprezentativních modelů z každé skupiny. V roce 2016 byly sestaveny modely reprezentativních povodí (viz kapitola 4.4) pro výpočet v HEC-HMS a SMODERP a provedeny základní simulace všech srážkových scénářů s využitím výsledků řešitelského týmu ÚFA.

V modelu MIKE-SHE byla provedena komplexní citlivostní analýza infiltračních parametrů s ohledem na vybrané srážkové scénáře na jednoduchém modelu svahu. Analýza byla zpracována v rámci disertační práce člena řešitelského kolektivu, práce byla dokončena s podporou tohoto projektu. Na jednom z reprezentativních povodí byla dále otestována GRASS implementace Topmodelu. V průběhu testování byly zjištěny výpočetní komplikace a nestability, které se do konce roku 2016 nepodařilo odstranit. U posledního z uvažovaných modelů KINFIL bylo oproti očekáváním a častým zmínkám v metodikách zjištěno, že vývoj modelu byl poměrně dávno ukončen. Tento model byl v současné podobě shledán jako velmi těžko využitelný. Nasazení náhradního modelu bude zvaženo v příštím roce řešení.

Druhou aktivitou ČVUT je zajištění webových služeb, které budou poskytovat data návrhových srážek. Kromě vlastního řešení poskytování dat byla část věnována zajištění autorizovaného přístupu k webovým službám. Služby jsou postupně zpřístupňovány na rozcestníku rain.fsv.cvut.cz.

Třetí aktivitou je experimentální výzkum v měřítku povodí. V této aktivitě se jedná o zajištění dlouhodobého monitoringu na experimentálních povodích Býkovice a Nučice a ověřovacích měření pomocí mobilního dešťového simulátoru.

Pracoviště ČVUT má také z pozice hlavního řešitele řídicí úlohu. Mimo řešení jednotlivých dílčích úloh má na starosti vedení celého týmu, zajištění komunikace mezi jednotlivými složkami, propojení a návaznosti aktivit v rámci celého řešitelského kolektivu.

3.2.2. UFA

Řešitelský tým ÚFA AVČR, v. v. i. vycházel při svém výzkumu z dat připravených v prvním roce řešení v rámci aktivity A1501. V prvním pololetí roku 2016 bylo prostřednictvím aktivity A1602 dosaženo cíle C003, totiž vytvoření generalizovaných koncepčních modelů srážkových událostí o délce šest hodin (viz Tab. 1 Dílčí cíle projektu QJ1520265). Na základě trojice indexů, vyjadřujících koncentraci srážek v různě dlouhých časových oknech, bylo sestaveno šest shluků srážkových epizod, které se navzájem podstatně liší z hlediska průběhu srážek. Shluky CL1 a CL2 se vyznačují rovnoměrnými srážkami během šesti, resp. tří hodin, shluky CL3 a CL4 přestávkou ve srážkové činnosti, shluky CL5 a CL6 pak koncentrací srážek do hodiny, resp. půlhodiny nebo i méně. Příslušné zobecněné hyetogramy byly konstruovány tak, aby představovaly průměrný průběh srážek při epizodách daného shluku a zachovaly tvar hyetogramu, který je pro daný shluk charakteristický.

Ve vybraných lokalitách byla v rámci aktivity A1603 provedena analýza zastoupení navržených shluků v souboru největších událostí, a to i s ohledem na jejich uvažovaný počet a způsob výběru. Ukázalo se, že obojí značně ovlivňuje výsledky. Pokud jsou uvažovány případy, které se v teplé části roku opakují v průměru jednou za měsíc, je zastoupení shluků v rámci ČR obdobné bez ohledu na lokalitu. Při zúžení výběru na více extrémní události v nížinách výrazně dominují koncentrované, na horách naopak rovnoměrné srážky. Při výběru na základě kratších než 6-hodinových úhrnů roste převaha koncentrovaných srážek, v souboru 24-hodinových maxim roste podíl srážek rovnoměrných.

3.2.3. SWECO

Řešitelé společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. v roce 2016 pracovali na dvou aktivitách A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí. (návaznost na cíl C6) a A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní analýzy (návaznost na cíl C7).

Aktivita A1605 navazovala na aktivitu z roku 2015 A1502 Určení základních charakteristik povodí v České republice a zároveň je součástí dílčího cíle C006 Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice. Charakteristiky jednotlivých malých povodí byly statisticky vyhodnoceny a na základě tohoto vyhodnocení byla jednotlivá povodí rozčleněna podle reprezentativnosti do jednotlivých kategorií povodí. V těchto povodích pak byla vybrána konkrétní povodí, na kterých byly provedeny analýzy pomocí

srážko-odtokových matematických modelů v rámci aktivity A1603, která je součástí dílčího cíle C005.

Dále v aktivitě A1606, která je součástí dílčího cíle C007 Dopad zpřesněných základních návrhových parametrů povrchového odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb, byly vytipovány nejvýznamnější typy vodohospodářských a protierozních konstrukcí (opatření), které jsou navrhovány v malých povodích. Typické stavby budou posuzovány tak, aby zohledňovaly reálné podmínky a zároveň podrobnost jejich návrhu odpovídala potřebám pro zpřesnění návrhových parametrů. Výsledky dimenzování jednotlivých staveb budou porovnány s parametry získanými na základě v současné době používaných výpočetních postupů odtoku z malých povodí. V rámci této aktivity proběhne rešerše současného způsobu dimenzování a navrhování typických vodohospodářských staveb v malém povodí.

4. Aktivity v roce 2016

Dle plánu projektu byla činnost v roce 2016 rozdělena do sedmi aktivit. Aktivita A1602 - Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR, byla ukončena v průběhu roku. Ostatní aktivity mají dlouhodobý charakter a budou pokračovat i v navazujícím roce řešení. Některé dílčí úkoly jsou detailněji popsány v publikacích řešitelského kolektivu nebo byly prezentovány na konferencích.

- A1601 Optimalizace mapových serverů
- A1602 Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR
- A1603 Zastoupení generalizovaných hyetogramů ve vybraných lokalitách ČR
- A1604 Testování vlivu srážkových scénářů na výstupy vybraných hydrologických modelů s ohledem na variabilitu ostatních vstupů
- A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí
- A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní analýzy
- A1607 Měření v terénu

Aktivity jsou v následujícím textu uvedeny chronologicky dle označení v návrhu projektu. Jejich návaznost je mírně odlišná. Aktivita A1601 je spojena s prezentací a zpřístupněním výsledků ostatních aktivit. Aktivita A1604 zabývající se hydrologickým modelováním navazuje jak na aktivity zabývající se přímo srážkami (A1602 a A1603), tak na A1605 zabývající se klasifikací povodí. Odděleně jsou pak řešeny aktivity A1606, která má v letošním roce charakter přehledu a A1607 zabývající se hydrologickým monitoringem a měřením.

4.1. A1601 Optimalizace mapových serverů (návaznost na cíl C2)

V roce 2016 bylo pokračováno ve vývoji geoprocesingových služeb jak na obou zvolených platformách (open source a komerční Esri).

V rámci webových geoprocessingových služeb OGC WPS (Web Processing Service) postavených na open source projektech GRASS GIS a PyWPS došlo jejich optimalizaci a rozšíření. Z nabídky nástrojů WPS byly ve snaze o přehlednost odstraněny přebytečné nástroje, které se chovaly podobně jako nástroj *subdayprecip-design-shp*, s tím že vracely výsledek výpočtu v jiném formátu než Esri Shapefile, konkrétně GML a DBF. Počet původně nabízených nástrojů WPS pro výpočet úhrnu návrhových srážek byl zredukován na tři

funkčně rozdílné nástroje - *subdayprecip-design-shp*, *subdayprecip-design-csv*, *subdayprecip-design-point*.

První dva uvedené nástroje umožňují výpočet úhrnu návrhové srážky pro vstupní bodová či polygonová vektorová data. Liší se formátem výstupu, první vrací výsledek ve formátu Esri Shapefile, tj. kompletní vektorová data rozšířená v atributové tabulce o vyčíslené úhrny návrhových srážek. Druhý nástroj vrací pouze atributovou složku s vyčíslenými úhrny jako soubor ve formátu CSV (Comma Separated Values). Na základě uživatelem definovaného klíčového atributu (*keycolumn*) může být výsledný soubor CSV připojen k atributové tabulce vektorových dat. Nástroj *subdayprecip-design-csv* tedy na rozdíl od *subdayprecip-design-shp* nevrací geometrii vstupních dat, ale pouze atributovou část s vyčíslenými úhrny návrhových srážek. To klade řádově menší nároky na datové toky v případě stahování výsledku výpočtu z WPS serveru. Poslední uvedený nástroj *subdayprecip-design-point* počítá úhrn návrhové srážky pro bod definovaný zeměpisnými souřadnicemi v systému WGS-84. Tyto nástroje jsou od roku 2016 poskytovány jako veřejné.

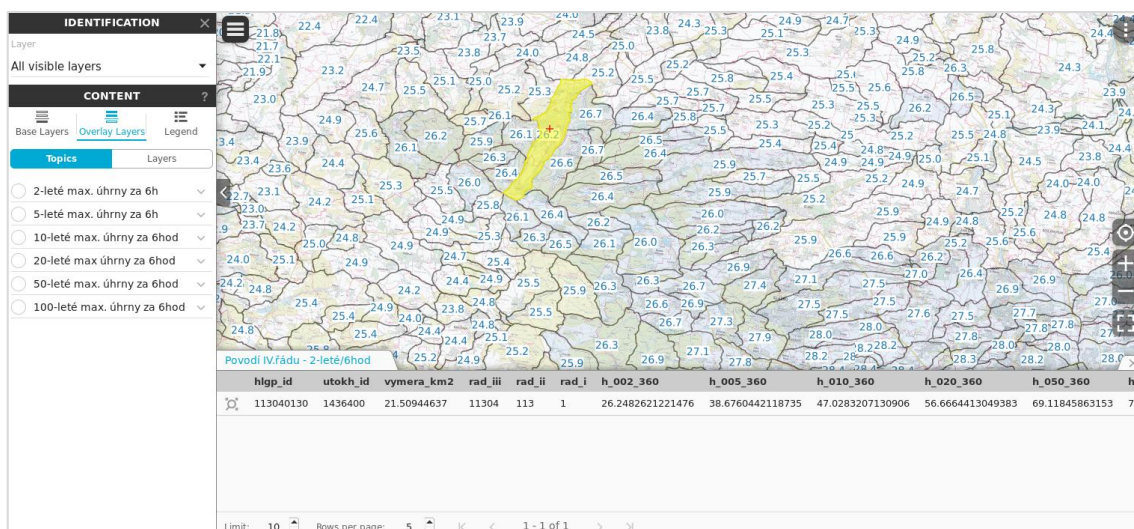
Dále byl implementován nový nástroj služby WPS s názvem *subdayprecip-design-shapes* poskytovaný na rozdíl od ostatních nástrojů prozatím jako neveřejný (pro jeho použití musí uživatel kontaktovat řešitele projektu). Tento nástroj funguje obdobně jako výše popsany *subdayprecip-design-csv* s tím rozdílem, že na místo úhrnu návrhových srážek vrací jeho tvar (průběh) počítaný s pevně definovanou dobou srážky 6 hodin. Výsledek je uživateli poskytován ve formátu CSV v podobě tabelovaného hyetogramu. Výše uvedené nástroje služby WPS jsou podrobně popsány na webových stránkách projektu včetně podrobného popisu a ilustrace jejich využití ve vybraných desktopových GISech QGIS a Esri ArcGIS, <http://rain.fsv.cvut.cz/webove-sluzby/ogc-wps>.

Dále byla upravena pilotní webová aplikace vyvinutá v roce 2015 umožňující bodové odečítání úhrnu návrhové srážky. Změny v roce 2016 se týkaly především uživatelského rozhraní tak, aby umožňovalo definovat dobu opakování nezávisle na zvolené podkladové vrstvě (viz Obr. 1 níže).



Obr. 1 Ukázka výpočtu úhrnu návrhové srážky pro zvolený bod, dobu opakování a délku srážky. Výsledek je zobrazen v dolní pravé části mapového okna.

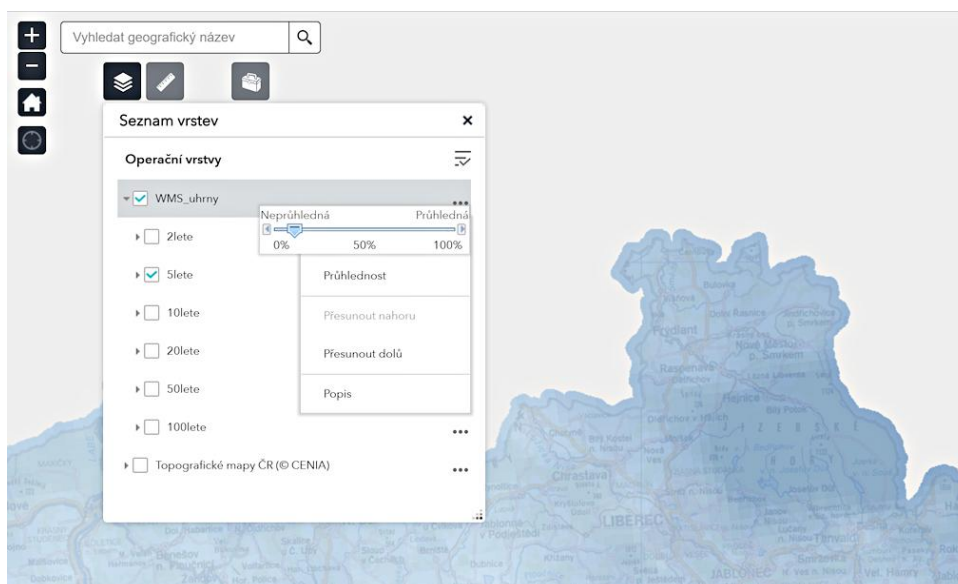
V roce 2016 se začalo pracovat na nové verzi webové aplikace, která by měla sloužit jako základ pro finální produkt v roce 2017. Řešení je postaveno na open source projektu [GIS.lab Web](#) s cílem implementovat moderní webovou aplikaci s responzivním designem provozovatelnou i na tabletech či chytrých telefonech. V roce 2016 vznikla pilotní verze této aplikace umožňující autorizaci a autentifikaci uživatelů. Ukázková aplikace umožňuje prohlížet podkladové vrstvy (základní mapu ČR a vrstvy maximálních denních úhrnů poskytovaných v rámci projektu veřejnou službou OGC WMS) a vrstvu povodí IV. řádu s vyčíslenými úhrny návrhových srážek s délkou srážky 6 hodin. Na základě těchto hodnot je vrstva povodí IV. řádu stylována v jednotlivých tématech (topics) podle doby opakování (2 roky, 5, 10, 20, 50 a 100 let). Aplikace umožňuje kromě základní funkcionality jako změna pohledu a přepínání vrstev či témat také měření vzdáleností a ploch, zobrazení atributů jednotlivých povodí a jejich identifikaci (viz obrázek níže). Obě verze pilotních webových aplikací jsou podrobně popsány na webových stránkách projektu, <http://rain.fsv.cvut.cz/nastroje/webapp/>.



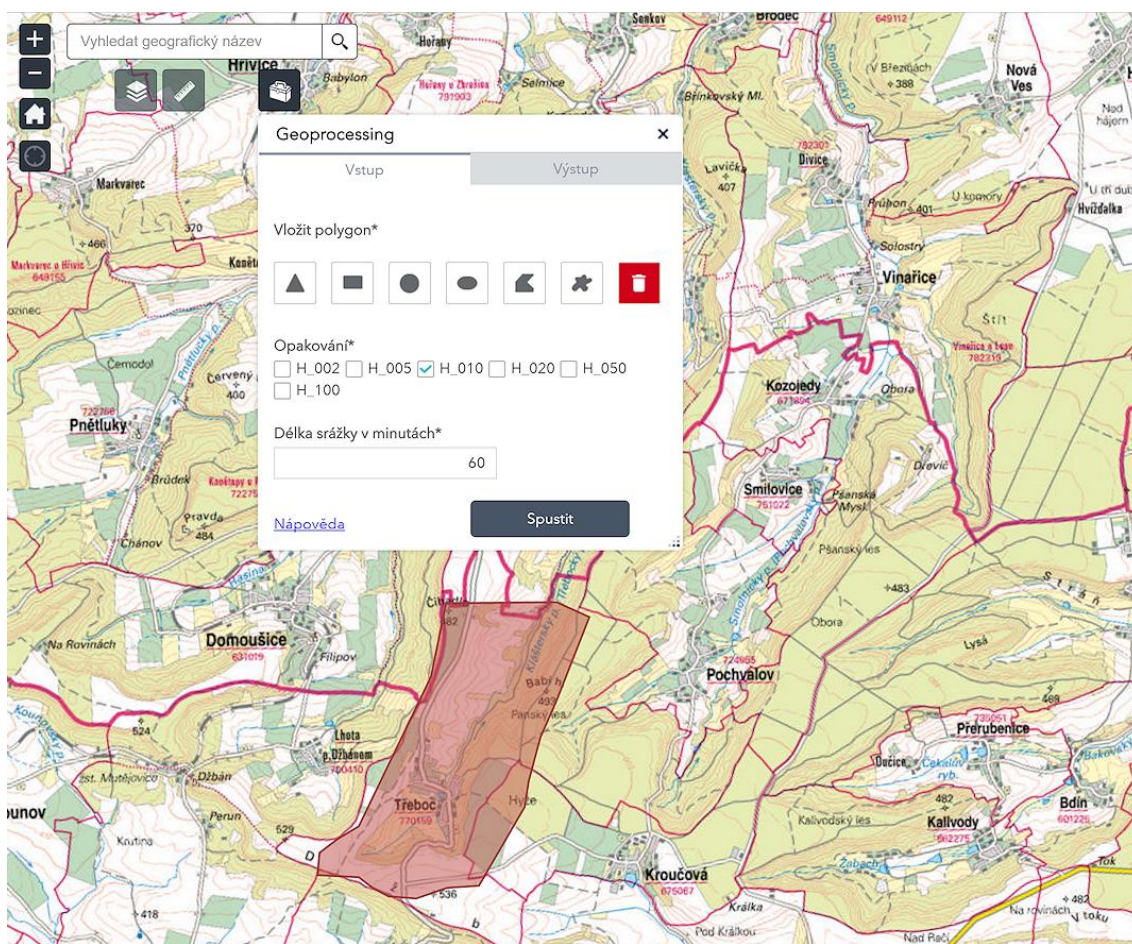
Obr. 2 Ukázka identifikace prvků ve webové aplikaci GIS.Lab

V rámci platformy Esri byla vytvořena a testována aplikace postavená nad Esri proprietárními technologiemi, přičemž byl kladen důraz na udržitelnost řešení i v dalších letech vývoje IT technologií a webového prostředí. Z tohoto důvodu nebyla využita technologie Adobe Flash a přednost byla dána technologiím stojícím na JavaScriptu.

V testovací mapové aplikaci na adrese <http://rain2.fsv.cvut.cz/nazy>, která je přístupná prozatím bez autorizace. V té je možné zvolit některou z podkladových map (Základní mapy ČR, Topografické mapy ČR). Připojena je také webová mapová služba n-letých úhrnů návrhových srážek.




Obr. 3 Ukázka rozhraní webové aplikace Esri



Obr. 4 Ukázka rozhraní spuštění geoprocessingové služby Esri

Jako geoprocessingový nástroj se zde využívá služba typu Geoprocessing Service (funkčně odpovídá OGC WPS službám) na adrese http://rain2.fsv.cvut.cz/arcgis/rest/services/NAZV_test/REDUKCE/GPServer/Redukce, která umožňuje podobně jako WPS služba komunikaci pomocí webového prohlížeče (mj. také pomocí REST rozhraní). Služba vypočte návrhovou srážku pro zvolený polygon zadaný uživatelem importem z disku (Esri Shapefile ve formě ZIP) nebo interaktivně zakreslený na displeji. Pro zvolené doby opakování jsou pomocí zonální statistiky spočteny průměrné hodnoty maximálních denních úhrnů.

Aplikace poslouží jako základ pro finální vývoj nástroje, který bude uvolněn v roce 2017. V

aplikaci je nyní možné po aktivaci geoprocessingového nástroje pomocí ikony  vyvolat menu nástroje, počítajícího pro uživatelem zakreslený polygon příslušné charakteristiky. Výstupem služby je soubor ve formátu Esri Shapefile, uložený v ZIP archivu, který je k dispozici ke stažení na webové adrese http://rain2.fsv.cvut.cz/Redukce_output/Redukce.zip, kam se ukládá po provedeném výpočtu.

Z důvodu technických obtíží na straně ArcGIS Serveru služba nevrací soubor s vypočteným Shapefilem přímo. Tento krok je v současné době na úrovni vývoje podpory Esri. Další vývoje je zahrnut do aktivit v roce 2017.

Aktivity na obou platformách (Esri, Open Source) jsou vyvíjeny nezávisle. Cílem v následujícím období je zhodnotit přínosy obou a efektivně využít jejich výhody. Aplikace jsou většinou provozovány v otevřeném režimu, autorizace uživatelů se předpokládá v roce 2017.

4.2.A1602 Zobecnění průběhu intenzit při silných srážkách v ČR (návaznost na cíl C3)

Tato závěrečná aktivita k završení cíle C003 byla realizována v prvním pololetí roku 2016. Jako vstupní data sloužily hodnoty 10-minutových srážkových intenzit z měsíců květen až září za roky 2002 až 2011, které má řešitelský tým k dispozici. Intenzity byly určeny z radarových měření jejich adjustací denními úhrny srážek ze srážkoměrných stanic v ČR (viz loňskou aktivitu A1501). Bylo rozhodnuto studovat 6-hodinové úhrny srážek, neboť denní úhrny nejsou pro odtok z malých povodí určující, naopak kratší časové úseky by neumožnily rozlišit srážky převážně konvektivního původu od srážek trvalého charakteru. Vzhledem k časovému rozlišení dat nebyly počátky 6-hodinových úseků pro výpočet srážkových úhrnů dány fixně, nýbrž klouzavě s krokem 10 minut.

Byl vytvořen soubor 1950 epizod, sestávající z 50 největších 6-hodinových úhrnů ve 39 uzlových bodech kilometrové sítě, které odpovídají poloze synoptických meteorologických stanic. Při pěti kalendářních měsících a desetiletém studovaném období se tyto epizody vyskytly v každém z uvažovaných bodů v průměru jednou za měsíc, přičemž velikosti úhrnů byly zpravidla v řádu 10 mm. Výběr uzlových bodů byl motivován snahou o jejich rovnoměrné rozdělení v rámci ČR, a to jak plošné, tak i z hlediska nadmořské výšky, neboť jsme předpokládaly rozdílný průběh srážkových intenzit v závislosti na geografické poloze.

Průběh srážkových intenzit při silných srážkách je natolik rozmanitý, že ho nelze zobecnit do jediného zobecněného hyetogramu, nýbrž je třeba navrhnout několik takových hyetogramů. Referenční epizody bylo třeba nejprve rozdělit do více skupin podle průběhu srážek. Za tímto účelem byly pro každou z epizod kromě 6-hodinového srážkového úhrnu (R_6) stanoveny i maximální 3-hodinový (R_3), 2-hodinový (R_2), 1,5-hodinový ($R_{1,5}$), hodinový (R_1) a půlhodinový úhrn ($R_{0,5}$), a to tak, aby kratší časový úsek zcela spadl do delšího úseku. Jako doplňkové údaje byly zjištěny i maximální 12-hodinový (R_{12}) a 24-hodinový úhrn (R_{24}), v rámci nichž se daný R_6 vyskytl. Z úhrnů byly vypočteny hodnoty tří indexů, označovaných

jako C_6 , $C_{3,2}$ a C_1 . Indexy vyjadřují koncentraci srážek během určitého časového úseku pomocí normovaných podílů srážkových úhrnů, kdy

$$C_6 = 2(R_3 / R_6 - 0,5)$$

$$C_{3,2} = [2(R_{1,5} / R_3 - 0,5) + 2(R_1 / R_2 - 0,5)] / 2 = R_{1,5} / R_3 + R_1 / R_2 - 1$$

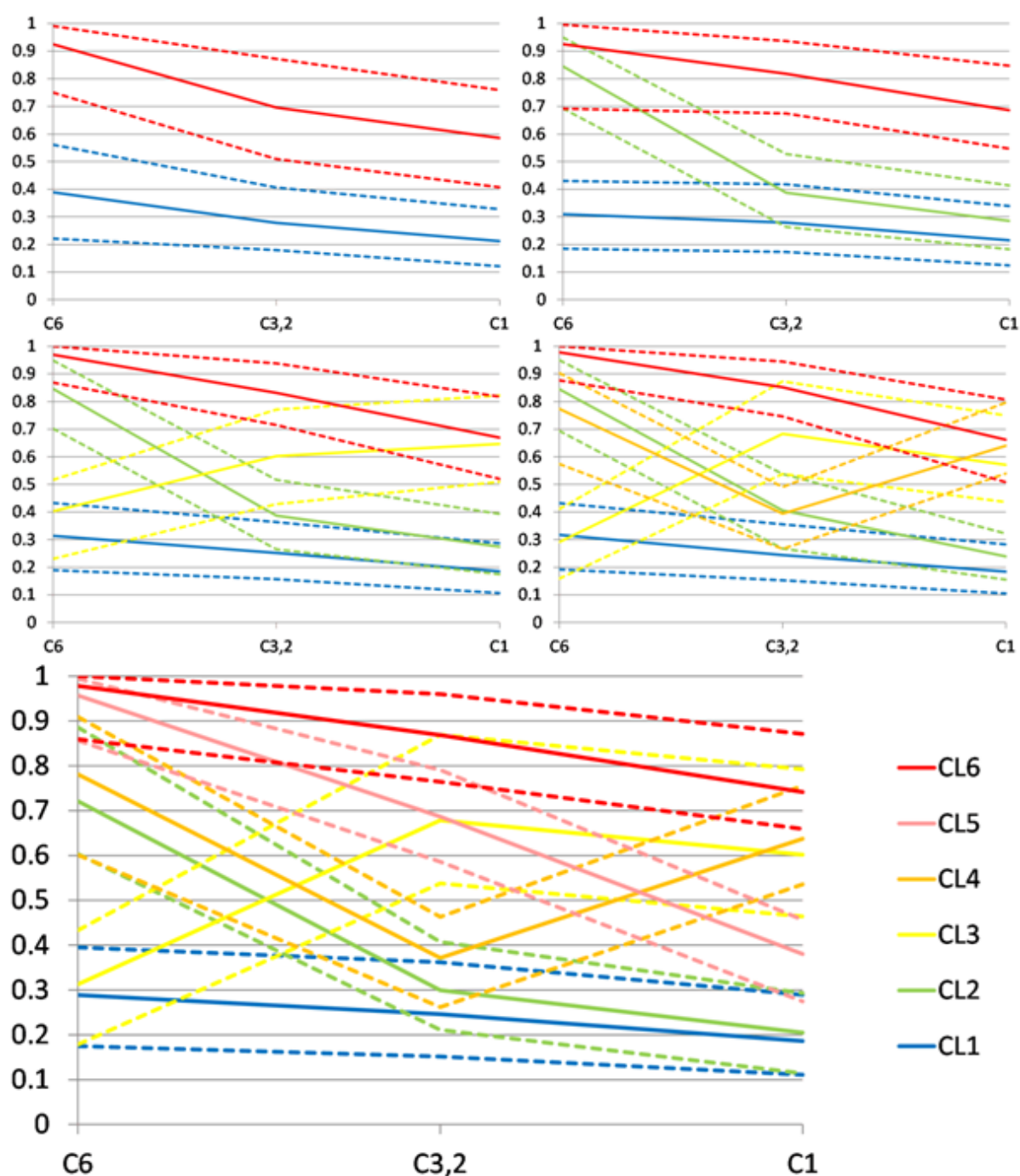
$$C_1 = 2(R_{0,5} / R_1 - 0,5).$$

Indexy nabývají hodnot od nuly do jedné, přičemž nula odpovídá zcela rovnoměrnému rozdělení srážek za příslušný časový úsek, naopak jednička vyjadřuje, že srážka byla zcela koncentrována do polovičního nebo ještě kratšího časového úseku. Každá epizoda je tak charakterizována trojicí indexů, z nichž lze - po vynásobení deseti a zaokrouhlení na celá čísla dolů - sestavit třímístný kód, vyjadřující komplexně míru koncentrace srážek za šest hodin (v případě, že $C = 1$, je třeba hodnotu 10 nahradit číslem 9). Ideální průběhy srážek, popsané tímto kódem, shrnuje Tab. 2.

Tab. 2 Ideální průběhy srážkových epizod, vyjádřené třímístným kódem, a jim přibližně odpovídající shluky skutečných epizod (viz níže)

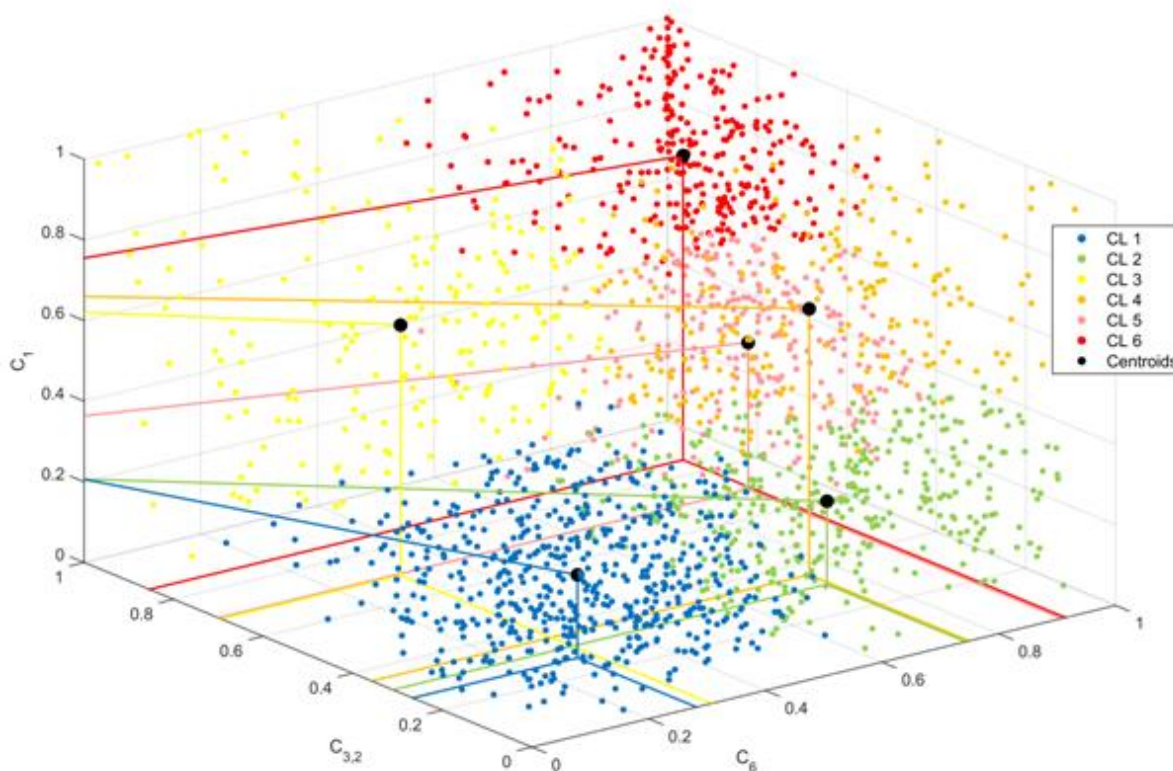
Kód	Průběh srážek	Shluk
999	Alespoň 95 % R_6 spadlo za 30 minut nebo méně	CL6
990	Alespoň 95 % R_6 spadlo za cca 1 hodinu, během ní přšlo rovnoměrně	CL5
909	Alespoň 95 % R_6 spadlo za cca 3 hodiny, během nichž se vyskytly dvě dílčí epizody oddělené přestávkou trvající alespoň 30 minut; významnější dílčí epizoda trvala 30 minut nebo méně	CL4
900	Alespoň 95 % R_6 spadlo za cca 3 hodiny, během nichž přšlo rovnoměrně	CL2
099	Srážky byly rozděleny do dvou dílčích epizod s přestávkou více než 1,5 hodiny; významnější dílčí epizoda trvala 30 minut nebo méně	CL3
090	Srážky byly rozděleny do dvou dílčích epizod s přestávkou více než 1,5 hodiny; významnější dílčí epizoda trvala cca 1 hodinu	
000	Pršelo prakticky rovnoměrně 6 hodin	CL1

Jako nástroj shlukování byla zvolena shluková analýza metodou k-means, která umožňuje seskupit prvky do předem zvoleného počtu shluků. Shlukování bylo prováděno opakovaně s rostoucí hodnotou k (Obr. 5). Při $k = 2$ byly epizody rozděleny na spíše rovnoměrné a spíše koncentrované; při $k = 3$ byly navíc rozlišeny případy zhruba tříhodinových srážek; při $k = 4$ se objevil shluk charakterizovaný přestávkou ve srážkové činnosti; při $k = 5$ bylo možno rozlišit případy s kratší a delší přestávkou; konečně při $k = 6$ byly odlišeny případy srážek koncentrovaných do cca 30 minut. Při dalším zvýšení hodnoty k vznikaly nové shluky jen na pomezí dvojic stávajících, proto bylo dále pracováno s dělením do šesti hluků.



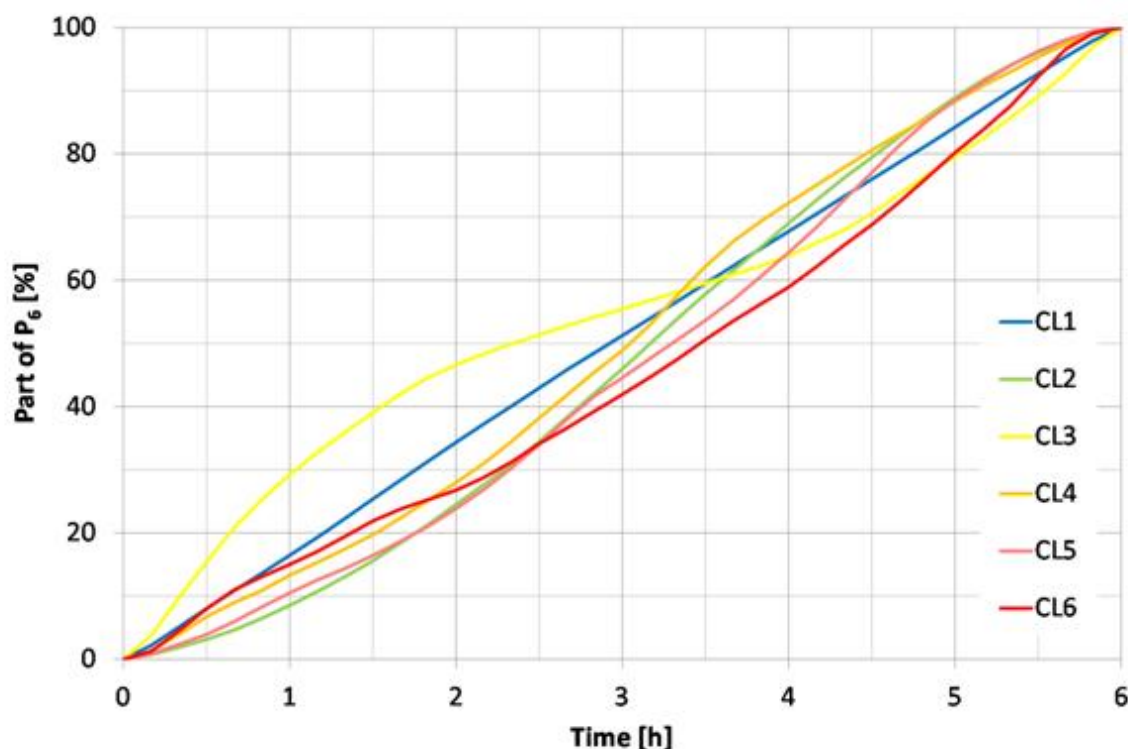
Obr. 5 Paralelně zobrazené souřadnice shluků 6-hodinových úhrnů srážek, určené shlukováním metodou k-means pro k rostoucí od 2 do 6. Každý shluk je reprezentován trojicí barevných čar, které spojují kvartily tří indexů použitých pro stanovení podobnosti: mediány (plné čáry), první a třetí kvartily (přerušované čáry).

V dalším kroku byl hledán způsob, jak zobecnit hyetogram pro každý ze stanovených šesti shluků. Jak je zřejmé z Obr. 6, prakticky žádná skutečná epizoda neodpovídá zcela idealizovanému průběhu, popsanému v Tab. 2 (značky by v takovém případě ležely v rozích diagramu). Zobecněné hyetogramy jednotlivých shluků bylo proto třeba konstruovat na základě průběhu skutečných epizod.



Obr. 6 Třírozměrný graf výsledného shlukování 6-hodinových úhrnů srážek. Na osách jsou zobrazeny hodnoty tří indexů použitých jako kritéria podobnosti. Shluky jsou rozlišeny barvami a reprezentovány svými centroidy.

V úvahu připadalo charakterizovat shluky jednotlivými událostmi v nejmenší vzdálenosti od centroidů shluků. To se však ukázalo jako nepříliš vhodné, protože průběh jednotlivé události má některé náhodné atributy, které nejsou pro shluk typické. Aby byla tato nahodilá variabilita zohledněna, bylo třeba zobecnit hyetogram na základě všech epizod daného shluku. Vzhledem k rozdílnému načasování intenzivních srážek během epizod nebylo nicméně možno využít průměrných hyetogramů, jejichž tvar je z uvedeného důvodu prakticky zcela shlazený (Obr. 7).



Obr. 7 Průměrné součtové čáry relativních srážek pro šest shluků srážkových epizod o délce 6 hodin. Rozmanitost časového umístění intenzivnějších úseků v rámci šesti hodin způsobuje nerealistické shlazení křivek i v případě časově koncentrovaných srážek.

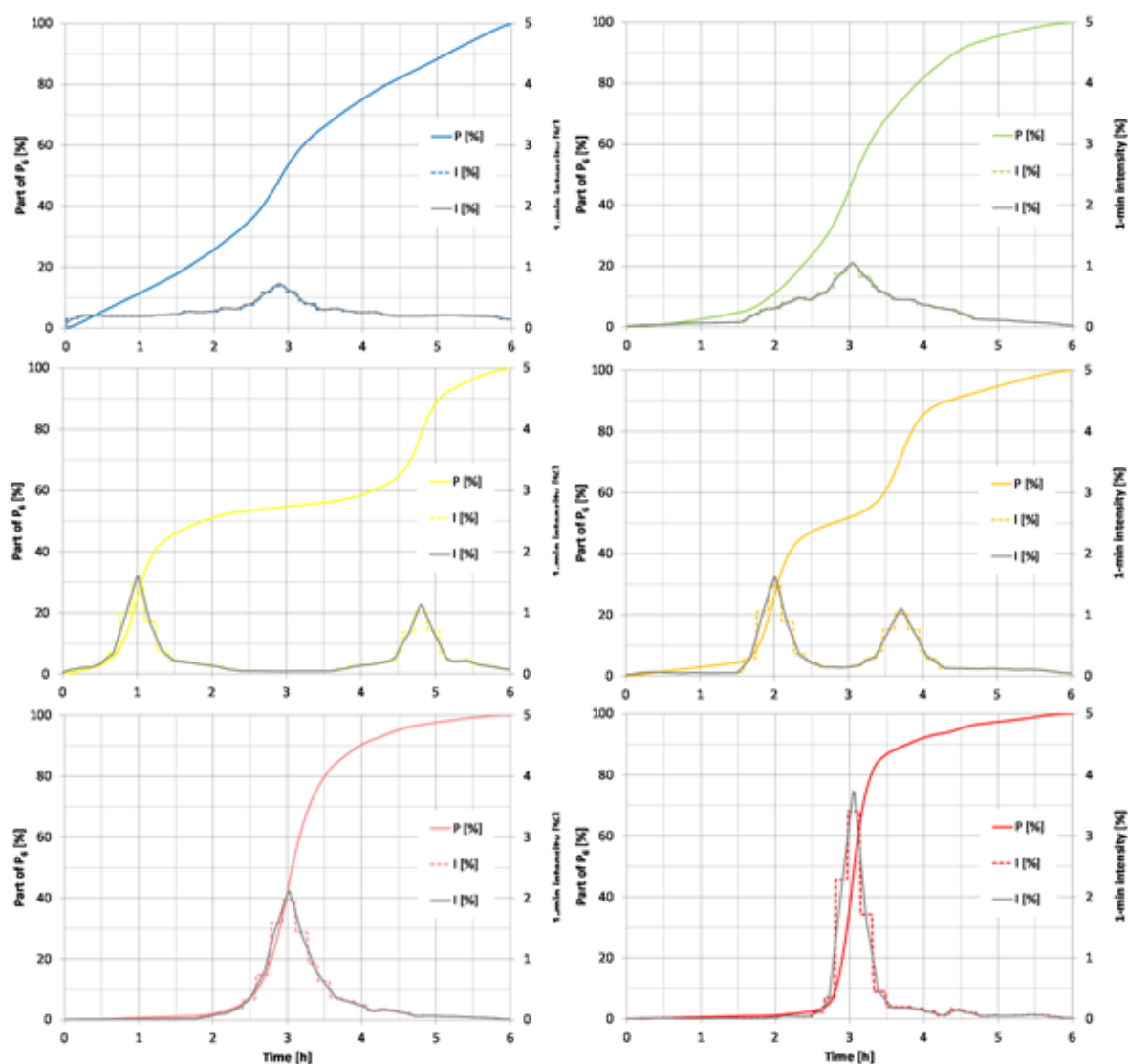
Jako vhodné řešení se ukázalo rozdělit srážkové epizody do více časových úseků, jejich atributy zprůměrovat a teprve poté sestavit zobecněný hyetogram pro daný shluk. Jako hlavní srážky byl označen maximální 30-minutový úhrn. (Časové rozlišení dat by sice umožnilo uvažovat 10-minutové úhrny, avšak jelikož časová okna mají pevně stanovený počátek v celou hodinu a dále po 10 minutách, mohlo by dojít k podhodnocení skutečného maxima až na polovinu). Poté byl vymezen hodinový úsek s největší srážkovou intenzitou, který zcela zahrnuje hlavní úsek epizody. Srážky během doplňkových 30 minut označujeme jako vedlejší; mohou hlavním srážkám předcházet, navazovat na ně, nebo je z obou stran obklopotovat.

Analogicky byly vymezeny i úseky o délce dvě a tři hodiny, přičemž srážky ve zbylých částech delších úseků jsou rovněž označovány jako vedlejší. Každá srážková epizoda je tak charakterizována hlavním úsekem o délce 30 minut a sekvencí vedlejších srážek před a/nebo po hlavních srážkách, avšak s výjimkou shluků CL3 a CL4. Pro ty je typické přerušování srážkové činnosti, proto byla v rámci 6-hodinové epizody vymezena dvojice hlavních 30-minutových úseků s minimálním odstupem 90 min. pro CL3, resp. 30 min. pro CL4. Z důvodu překrytí delších úseků byly dále vymezeny úseky pouze o délce jedné a dvou hodin pro CL3, resp. jen hodinové pro CL4. Pokud přesto došlo ke vzájemnému překryvu delších úseků stejné délky, úsek zahrnující menší z dvojice hlavních 30-minutových

úhrnů byl posunut v čase, případně krácen, aby se překryv odstranil. Epizody spadající do shluků CL3 a CL4 jsou tak charakterizovány dvěma hlavními úseky, každým o délce 30 minut, a sekvencí vedlejších úseků mezi a před a/nebo po hlavních srážkách.

V dalším kroku byly pro každou srážkovou epizodu stanoveny procentuální podíly srážek v jednotlivých 10 minutách každého úseku; dále je označujeme jako relativní srážky, neboť jejich součet za 6-hodinovou epizodu je 100 %. Následně byly v každém shluku spočteny průměrné délky všech úseků a průměrné relativní úhrny srážek v 10-minutových intervalech. Z nich pak byl zkonstruován zobecněný hyetogram daného shluku, a to postupným doplňováním hlavního úseku o úseky vedlejších srážek v 10-minutovém kroku. Aplikací 10-minutového klouzavého průměru v minutovém kroku byly zobecněné hyetogramy shlazeny, čímž došlo k odstranění jejich stupňovitosti (Obr. 8). Maximální průměrný 10-minutový úhrn hlavních srážek by však byl tímto postupem podstatně snížen, neboť by jeho hodnota zůstala vztažena jen k jediné minutě. Nárůst srážkové intenzity oproti předchozím 10 minutám a pokles srážkové intenzity oproti následným 10 minutám byly proto lineárně extrapolovány i do 10 minut s maximálním úhrnem; průsečíkem obojího byla stanovena průměrná maximální minutová intenzita srážek.

Výsledný tvar zobecněných hyetogramů pro jednotlivé shluky je znázorněn na Obr. 8. Je z něj zřejmé, že v případě srážek koncentrovaných do půl nebo jedné hodiny (CL6 a CL5) nastávají případné vedlejší srážky spíše po než před hlavní srážkou. V případě delšího či kratšího přerušení srážek (CL3 a CL4) bývá častěji silnější první dílčí epizoda.



Obr. 8 Zobecněné hietogramy pro šest typů 6-hodinových srážkových epizod v ČR, vyjádřené formou minutových intenzit relativních srážek a jejich součtových čar.

Výsledné typy srážkových epizod jsou určeny na základě klouzavých 6-hodinových úhrnů, avšak skutečné trvání epizody se může lišit. V případě delších srážek je tak třeba počítat ze zvýšenou nasyceností povodí, která bude zohledněna při hydrologickém modelování. Zvýšené zastoupení takových událostí lze předpokládat především u rovnoměrných srážek typu CL1, což bude ověřeno v posledním roce řešení aplikací srážkových úhrnů za delší než 6-hodinová období. Pokud by naopak byly uvažovány pouze úhrny kratší než 6-hodinové, rozlišení epizod do takto vymezených typů by bylo omezeno (nebylo by možné rozlišit shluky CL1 a CL2, epizoda typu CL3 by se jevila jako dvojice nezávislých událostí). Zastoupení typů srážek v rámci ČR by se rovněž měnilo, viz výsledky aktivity A1603.

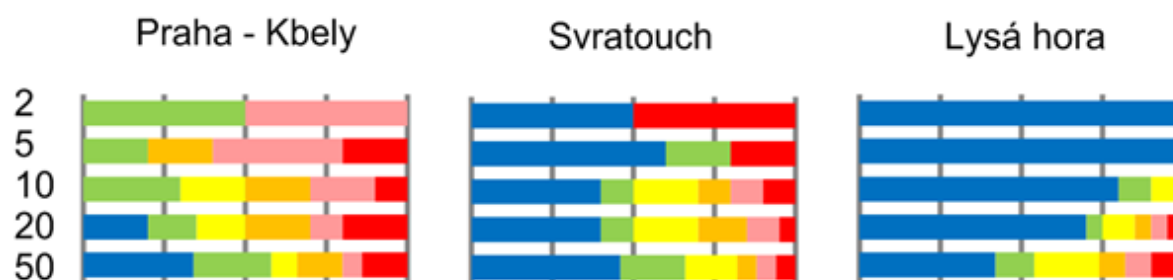
4.3.A1603 Zastoupení generalizovaných hyetogramů ve vybraných lokalitách ČR (návaznost na cíl C4)

Aktivita A1603, realizovaná v druhém pololetí roku 2016, byla úvodem k dosažení cíle C004, kterým bude vrcholit meteorologická komponenta řešeného projektu. Letošní aktivita byla řešena ve 39 uzlových bodech, kde byla konstruována šestice zobecněných hyetogramů (viz výše aktivitu A1602). V každé lokalitě bylo studováno zastoupení šesti shluků v souboru největších srážkových epizod, a to v závislosti na jejich extremitě. Ukázalo se, že při uvažování všech 50 epizod se zastoupení shluků napříč lokalitami příliš neliší od průměrů, uvedených v Tab. 3. Na rovnoměrné srážky shluku CL1 připadá cca 30 %, stejně jako na koncentrované srážky shluků CL5 a CL6 dohromady. Téměř 20 % připadá na tříhodinové rovnoměrné srážky shluku CL2, zbylých něco přes 20 % na případy s přestávkou (CL3 a CL4). Z toho vyplývá, že pokud bychom se zabývali epizodami, které se v teplé části roku vyskytují v průměru jednou za měsíc, nemělo by smysl uvažovat regionální rozdíly v rámci ČR.

Tab. 3 Průměrné zastoupení shluků srážkových epizod v souboru z 39 lokalit v ČR při uvažování 80 největších šestihodinových úhrnů za 10 roků.

Shluk	CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6
Průměrné zastoupení [%]	30,2	19,6	10,3	10,4	14,1	15,6

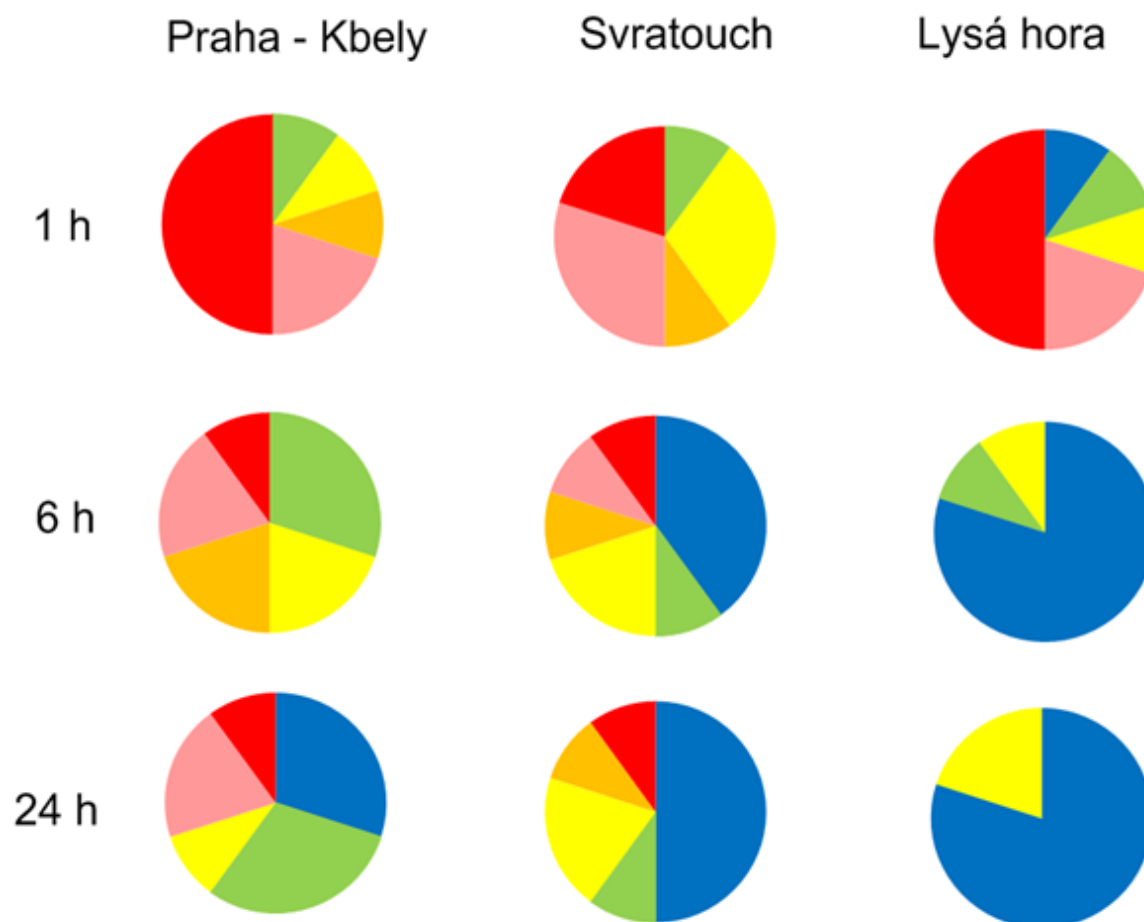
Z Obr. 9 je nicméně zřejmé, že při uvažování menšího počtu extrémnějších epizod se situace mění. Již při uvažování 20 epizod, což odpovídá v průměru dvěma největším epizodám za rok, zřetelně klesá podíl rovnoměrných srážek v nížinách, naopak roste v horských oblastech. Pokud uvažujeme pět největších událostí za studovaných 10 roků, v nížinách koncentrované srážky jasně převažují, naopak v horách dominuje typ rovnoměrných srážek CL1.



Obr. 9 Relativní zastoupení šesti typů srážkových epizod ve vybraných třech lokalitách s různou nadmořskou výškou v závislosti na počtu uvažovaných extrémů. Barvy odpovídají označení shluků v Obr. 8

Podobný jev nastal v případě, kdy jsme zafixovali počet uvažovaných událostí, avšak měnili způsob jejich výběru (Obr. 10). Namísto 10 případů s největšími hodnotami 6-hodinového úhrnu (R_6) jsme uvažovali 10 maxim hodinových úhrnů (R_1), resp. 24-hodinových úhrnů

(R_{24}). Mezi hodinovými maximy bez ohledu na nadmořskou výšku lokality jasně převažovaly koncentrované srážky, které můžeme ztotožnit s konvektivními bouřemi. Ojediněle se však i mezi hodinovými maximy vyskytla epizoda spadající do rovnoměrných srážek typu CL1, avšak výlučně v horských oblastech, kde mohou dosahovat obdobných hodinových intenzit i převážně trvalé srážky z vrstevnaté oblačnosti, a to díky orografickému zesílení srážek. Naopak v souboru 24-hodinových maxim je zastoupení rovnoměrných srážek podstatně větší.



Obr. 10 Relativní zastoupení šesti typů srážkových epizod mezi 10 maximy ve vybraných třech lokalitách s různou nadmořskou výškou v závislosti na délce uvažované doby srážek. Barvy odpovídají označení shluků v Obr. 8

4.4.1604 Testování vlivu srážkových scénářů na výstupy vybraných hydrologických modelů s ohledem na variabilitu ostatních vstupů (návaznost na cíl C5)

V následující kapitole je popsán současný stav řešení a zpracování v jednotlivých hydrologických modelech. Jedná se průběžné výsledky, které se vážou na cíl C005. Práce v modelech bude pokračovat i v následujícím roce v navazující aktivitě.

Kromě vlastního popisu řešení v konkrétních modelech bylo součástí aktivity zhodnocení vhodnosti a dostupnosti vstupních dat, přípravě rutin na porovnání výstupů mezi jednotlivými modely.

4.4.1. Vstupní data

Pro sestavení modelů byla na pěti vybraných povodích zakoupena data Základní báze geografických dat (ZABAGED®) od Zeměměřičského úřadu a půdní druhy od Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v. v. i. (VÚMOP). Další využitá data a mapové podklady jsou poskytovány pomocí služeb WMS nebo ArcGIS serverů (např. <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>). Ověření dostupnosti relevantních a aktuálních vstupních dat je jednou z vedlejších náplní projektu, která podmiňuje vhodné využití modelů.

Hlavním vstupem většiny hydrologických modelů je vhodně ošetřený digitální model reliéfu. Pro sestavení modelů vybraných charakteristických povodí byl použit DMR4G v rozlišení 5 m, pro fyzikální model SMODERP byl pro snížení výpočetních nároků agregován do polovičního rozlišení 10 m. Pětimetrový DMR byl nejprve upraven, aby reflektoval skutečné směřování odtoku v území, neboť směrové vedení toků je ve skutečnosti často změněno a neodpovídá přirozenému vedení vyplývajícímu z morfologie území. K úpravě byla využita podobná metodika jako ve starších projektech řešitele, viz např. NAZV QI102A265 (Krása et al., 2013) nebo VG20122015092 (Rosendorf et al., 2016). Stručně shrnuto: Hodnoty DMR byly nejprve podél linií vodních toků (ZABAGED) sníženy o 2 m u hlavních koryt a 1 m u vedlejších ramen. Identifikace hlavních a vedlejších toků byla provedena srovnáním s jemnými úseky tokového modelu DIBAVOD, který obsahuje potřebnou informaci v atributové tabulce datové vrstvy. V případě delších zatrubněných úseků bylo snížení terénu odstraněno. Následně byla v DMR vyplněna bezodtoká místa s využitím běžných GIS technik.

Dále to je využití území, které je možné odvodit z dat ZABAGED, stejně jako průběh toků v zájmovém území. Využití území je případně zpřesněno na zemědělské půdě o data LPIS. Informace o aktuálním stavu lesních porostů jsou předmětem soukromého vlastnictví.

Z hlediska půdních dat jsou obecně v ČR v rozumném měřítku podrobnosti k dispozici tři datové zdroje. Vektorizovaná mapa půdních typů v měřítku 1: 200 000 (KPP200), která vychází z komplexního průzkumu půd. Jedná se o relativně zastaralý zdroj dat, čemuž také odpovídá měřítko. V této vrstvě nedochází k aktualizaci na základě pozdějších průzkumů. Po rozdělení půdního fondu na lesní a zemědělskou půdu jsou dalšími zdroji oddělené databáze pro tyto dvě skupiny.

Na zemědělské půdě je za poplatek dostupná jak půdní typologie (ve formě kódu BPEJ, resp. HPJ), tak půdní druhy, vyjadřující zrnitost a navázané fyzikální charakteristiky půd zatříděných podle Novákovy klasifikace (Zádorová, 2011). Tato data jsou na zemědělské půdě zmapovaná v podobě Generalizovaných kartogramů zrnitosti, skeletovitosti a zamokření (KPP - VÚMOP). Pro zemědělské půdy je v literatuře dostupné určení charakteristik pro hydrologické modely.

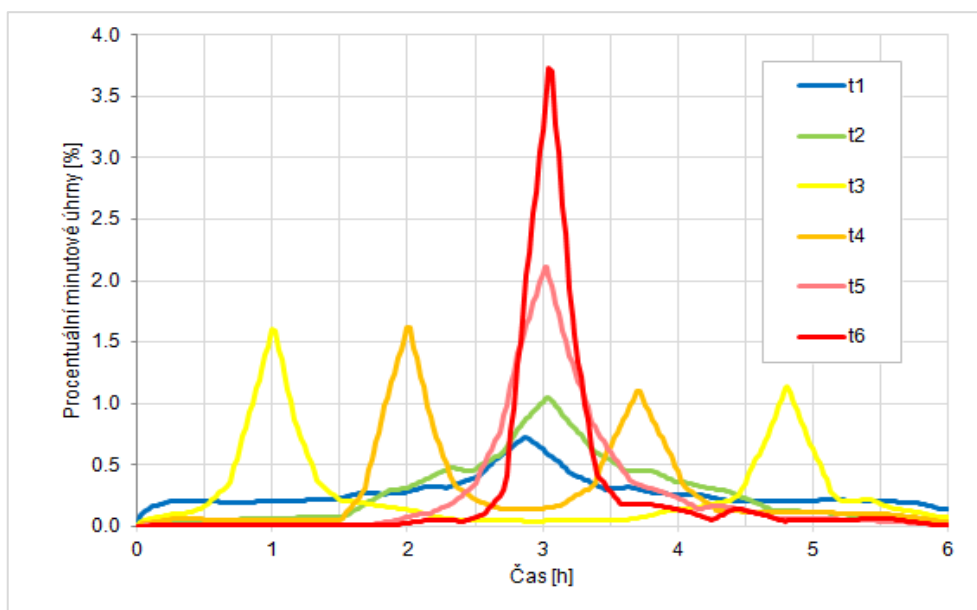
Dostupnost dat lesnické typologie a informací o půdních charakteristikách je omezená. Veřejně dostupné jsou kódy lesnické typologie, ale převod kódované informace a odvození hydrologických vlastností půd, ani metodika, která se touto problematikou zabývá, veřejně dostupné nejsou. Hloubka lesních půd, jejich nasycená hydraulická vodivost a další charakteristiky jsou na pracovišti Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHUL) k dispozici, ale jejich poskytnutí vyžaduje součinnost s uvedeným úřadem. Tato data nejsou běžně poskytována jako v případě zemědělské půdy.

V době zahájení systematického spouštění simulačních modelů data k dispozici nebyla. Pro možnost zahájení simulací ve výpočetních modelech bylo přistoupeno ke kombinaci dat ze zemědělské půdy, tam kde jsou data k dispozici. Na zbytku území byla využita data z mapy KPP 1:200 000. Aktualizace, dopřesnění a způsob zpracování půdních dat ÚHUL se předpokládá v roce 2017. Jednání s pracovištěm ÚHUL o poskytnutí datových podkladů byla zahájena.

Pro pravděpodobně nejvyužívanější metody stanovení hydrologické odezvy v ČR (metody SCS-CN) jsou klíčovým vstupem hodnoty CN (čísla odtokových křivek). Pro hydrologické modelování byla použita rastrová vrstva čísel CN pro II. stupeň IPS převzatá z dřívějšího projektu zpracovaného členem řešitelského kolektivu Sweco Hydroprojekt, a.s. Stručná charakteristika podkladů a způsobu odvození vrstvy je popsána v kapitole 4.5.

Pro testování citlivosti hydrologických modelů na časový průběh zátěžových srážek byly využity generalizované průběhy intenzit šestihodinových srážek odvozené v rámci aktivity

A1602. Pro všechna charakteristická povodí bylo uvažováno všech šest typických zobecněných hyetogramů (dále označovány jako t1 - t6 (Obr. 11)), viz aktivita A1602.



Obr. 11 Tvary zobecněných hyetogramů (t1 - t6)

Nebyla tedy zohledněna pravděpodobnost frekvence a regionu výskytu jednotlivých průběhů srážek v dané lokalitě a to ze dvou důvodů. Jedním byl stav v průběhu roku teprve rozpracované aktivity A1603 a druhým skutečnost, že vybraná povodí mají reprezentovat celou skupinu povodí vyskytujících se na celém území ČR. Generalizované hyetogramy byly řešitelem zpracovány v minutovém rozlišení, pro aplikaci v hydrologických modelech byl shledán jako dostatečný pětiminutový časový krok. Průběhy byly proto agregovány do podoby procentuálních pětiminutových úhrnů.

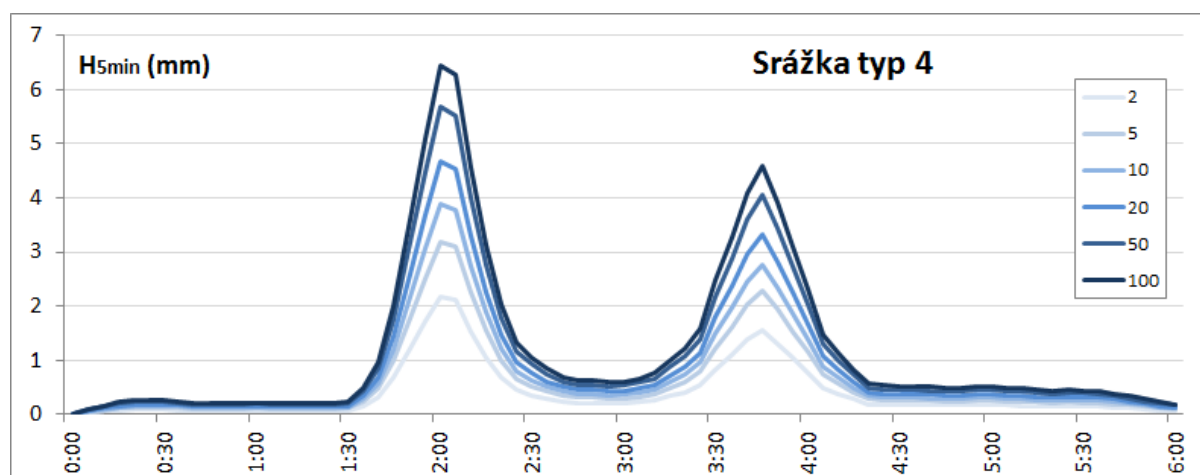
Protože generalizované hyetogramy nebraly v úvahu velikost celkového úhrnu a byly zpracované v podobě procentuálních úhrnů, bylo nutné pro získání zátěžových srážek na jednotlivých povodích průběhy přenásobit šestihodinovými úhrny příslušné doby opakování. Tyto celkové úhrny byly určeny metodou redukce (Hrádek, Kovář, 1994) s využitím rastru maximálních denních úhrnů zpracovaného řešitelem v předchozím roce řešení projektu v rámci aktivity A1501, podrobný popis byl publikován v Kavka et al. (2016).

Výsledné úhrny zátěžových srážek dle doby opakování uvádí Tab. 3. Je z ní patrné, že pro danou dobu opakování se úhrny mezi povodími liší nejvýše o 5 mm. Vliv velikosti úhrnu na výstupy jednotlivých modelů budou posuzovány samostatně v rámci citlivostních analýz plánovaných do aktivit projektu v posledním roce řešení 2017. Po přenásobení generalizovaných průběhů srážek příslušnými úhrny vznikla sada 36 návrhových srážek pro každé z 5 povodí. Vzhledem k blízkosti úhrnů si jsou hyetogramy daného typu srážky napřič

povodími velmi podobné. Obr. 12 ilustruje výběr hyetogramů pro 6 nejčastěji používaných dob opakování.

Tab. 4 24h a 6h úhrny zátěžových srážek na testovaných povodích (mm)

Povodí	Býkovický p.		Struhařovský p.		Chouzavá		Škvorecký p.		Halounský p.			
	Plocha (km ²)	N (let)	H24h	H6h	H24h	H6h	H24h	H6h	H24h	H6h		
2	7.8		38.3	29.0	39.6	30.0	37.9	28.7	39.0	29.6	39.6	30.0
5			53.0	42.8	54.4	43.9	51.9	41.9	54.0	43.5	54.3	43.8
10			62.5	51.9	64.0	53.2	60.9	50.6	63.6	52.9	63.7	52.9
20			72.3	62.5	74.1	64.0	70.3	60.8	73.7	63.7	73.3	63.3
50			84.4	76.1	86.3	77.8	81.7	73.7	85.9	77.5	85.2	76.9
100			94.0	86.4	96.0	88.3	90.7	83.4	96.0	88.2	94.5	86.9



Obr. 12 Příklad pětiminutových návrhových hyetogramů v povodí Býkovického potoka dle doby opakování 2–100 let (typ srážky t4)

4.4.2. Popis zpracování a výsledků z jednotlivých vybraných hydrologických modelů

Stav řešení pro jednotlivé hydrologické modely, které byly v minulém roce vytipovány jako vhodné reprezentanti různých přístupů, se nachází v odlišném stupni rozpracovanosti. Modely HEC-HMS a SMODERP v letošním roce poskytly ucelenou sadu výsledků pro všechny zvažované srážkové scénáře a byla zahájena jejich analýza.

V Topmodelu byl sestaven model jednoho z reprezentativních povodí a byly provedeny výpočty pro několik odhadů modelových parametrů s cílem adaptovat model pro kratší výpočetní krok. Výsledky poukázaly výpočetní nestability, které se do konce roku 2016 nepodařilo odstranit a budou předmětem řešení v roce 2017.

Komplexní fyzikální model MIKE-SHE byl použit v rámci disertační práce člena řešitelského kolektivu pro zpracování citlivostní analýzy na několik tvarů návrhových srážek a řadu půdních parametrů. Licenčním omezením pro rok 2016 byl model použit pro citlivostní analýzu nikoli pro výpočty na vybraných povodích. Licenční podmínky (a především cenu) na rok 2017 za vhodnou licenci se do konce roku 2016 nepodařilo s poskytovatelem modelu dojednat. Dořešení, nasazení nebo případná náhrada modelu bude rovněž náplní roku 2017.

V řešených povodích byly zvoleny kontrolní body, ve kterých bude možné porovnávat hydrologické odezvy z jednotlivých modelů. Tyto kontrolní body byly voleny pro homogenní části povodí z hlediska Land Use či morfologie. V letošním roce jsou hodnoceny a prezentovány pouze výsledky v závěrových profilech jednotlivých povodí.

Výsledkem z jednotlivých modelů jsou rozsáhlé datové sady obsahující různorodé údaje. Každý z modelů výstupy generuje v různých formách a různých časových krocích.

Model SMODERP poskytuje plošná data ve formátu ASCII případně GRID. Výstupy v jednotlivých zvolených bodech pak ve formě textového souboru. Výstupy z modelu HEC-HMS jsou při výpočtu hromadně zapisovány do databáze s příponou .dss. Jedná se o databázový soubor přímo vyvinutý autory modelu. Data mohou být vizualizována, tabelována, editována a dále exportována pomocí nástroje HEC-DSSVue, který je volně k dispozici. Výstupem Topmodelu je soubor bez přiřazeného typu, ale s vnitřní strukturou textového souboru, případně *.csv či *.dat, tedy ve snadno zpracovatelném otevřeném formátu.

Z obou modelů, které byly aplikovány na všech povodích, jsou data automaticky zpracovávána a normována do stejného časového kroku pomocí kombinace nástrojů vytvořených pro potřeby řešení projektu. Jedná se o skripty napsané v jazyku Jython (HEC-DSSVue je na bázi Javy) a v jazyku R. Tvorba těchto nástrojů je součástí řešení projektu a umožňuje vzájemné rychlé a efektivní porovnání výstupů jak v rámci jednoho modelu, tak mezi různými modely navzájem.

Pro řešené modely byly v rámci území zvoleny profily (subpovodí) shodné pro všechny modely. Kritériem bylo jednak vytvořit podovodí s homogenním povrchem a zároveň vytvořit i kontrolní profily. Ve všech těchto profilech je možné porovnávat odezvy jednotlivých srážkových průběhů a případně modelů. V letošním roce jsou porovnány odezvy celých povodí v závěrových profilech.

Z výstupů byly pro každou simulaci extrahovány tři hlavní parametry – velikost a doba kulminace a objem odtoku. Pro každé povodí byly tyto hodnoty přepočteny na srovnatelné charakteristiky – maximální specifický odtok ($l.s^{-1}.km^{-2}$) a odtokovou výšku (mm), z doby kulminace byl vyčíslen posun kulminace oproti vrcholu intenzity příčinné srážky (min).

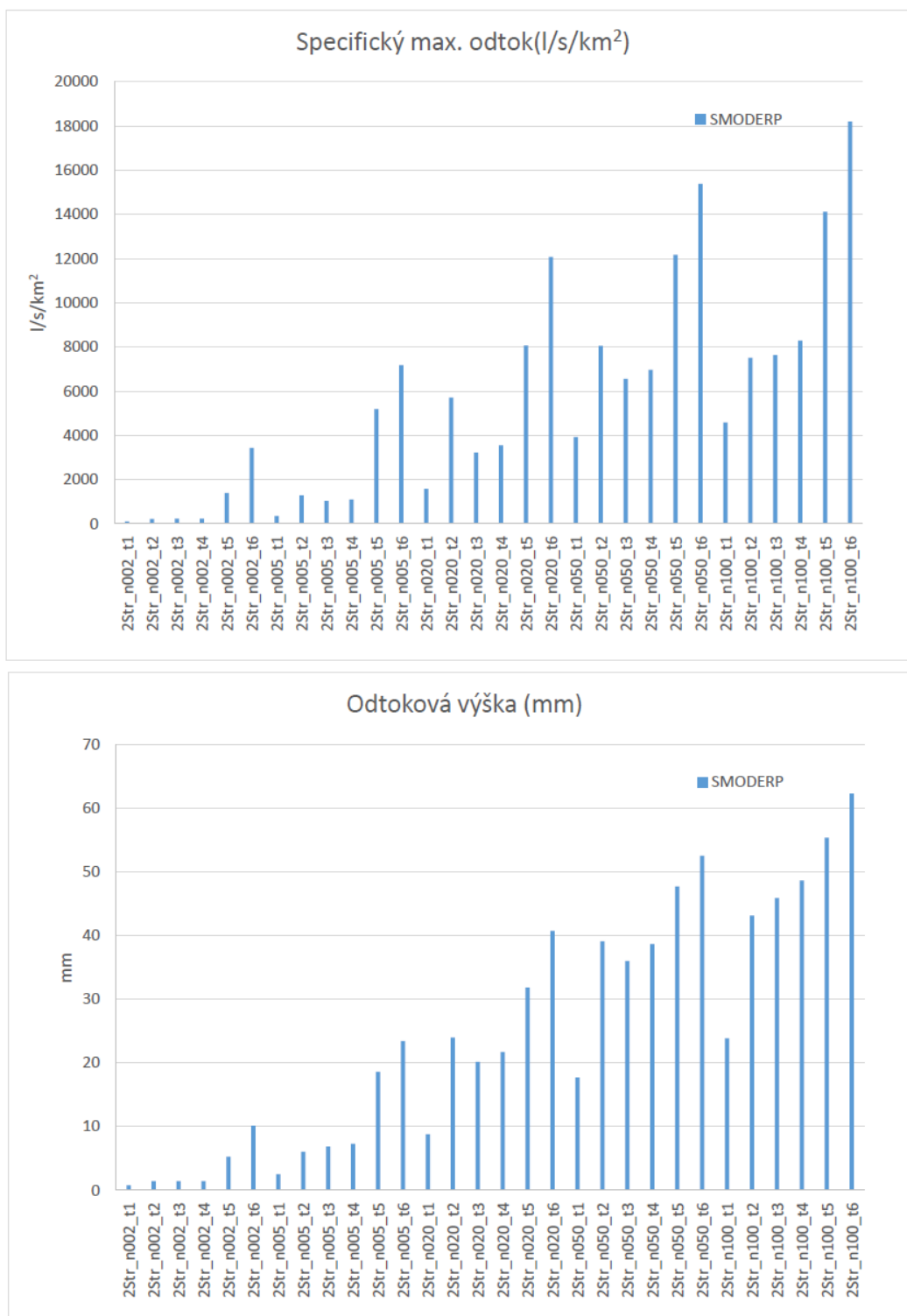
4.4.2.1. SMODERP

Fyzikálně založený model SMODERP byl mezi modely podobného typu vybrán mimo jiné z důvodu detailní znalosti principů řešení a možností případných úprav ve vnitřní struktuře modelu.

V rámci řešení je použita distribuovaná verze modelu. Dříve popsany model (Kavka, 2013) plošného odtoku je rozšířen o výpočet soustředěného odtoku v rýhách a odtoku v hydrografické síti. Vzhledem k relativně velkému území a relativně podrobnému rozlišení vstupního rastru DMR 4G, byl v modelu použit odvozený DMT v rozlišení 10 x 10 m. Vrstva využití území byla odvozena ze ZABAGED, jednotlivé plochy byly roztříděny do základních kategorií podle využití území. Půdní data byla kategorizována pro potřeby modelu do kategorií podle Novákovy klasifikace (kombinace dat *KPP* - *VÚMOP* na zemědělské půdě a dat *KPP200* mimo zemědělskou půdu). Kombinace vrstvy půd a vegetace vytváří základní plochy, pro které jsou určovány infiltrační charakteristiky a charakteristiky pro povrchový odtok. Tyto hodnoty byly určeny podle manuálových hodnot k modelu (předpokládá se, že většina případných uživatelů využije manuálových hodnot a terénní průzkum vlastností půd k dopřesnění bude spíše výjimečnou záležitostí). Vrstva vodních toků byla editována pouze v nutných případech (náhony k rybníkům, zatrubněné vodní toky, atp.). V modelu nejsou zahrnuty prvky dočasné hydrografické sítě (přikopy, průlehy, cestní síť), které mohou ovlivňovat formování odtoku.

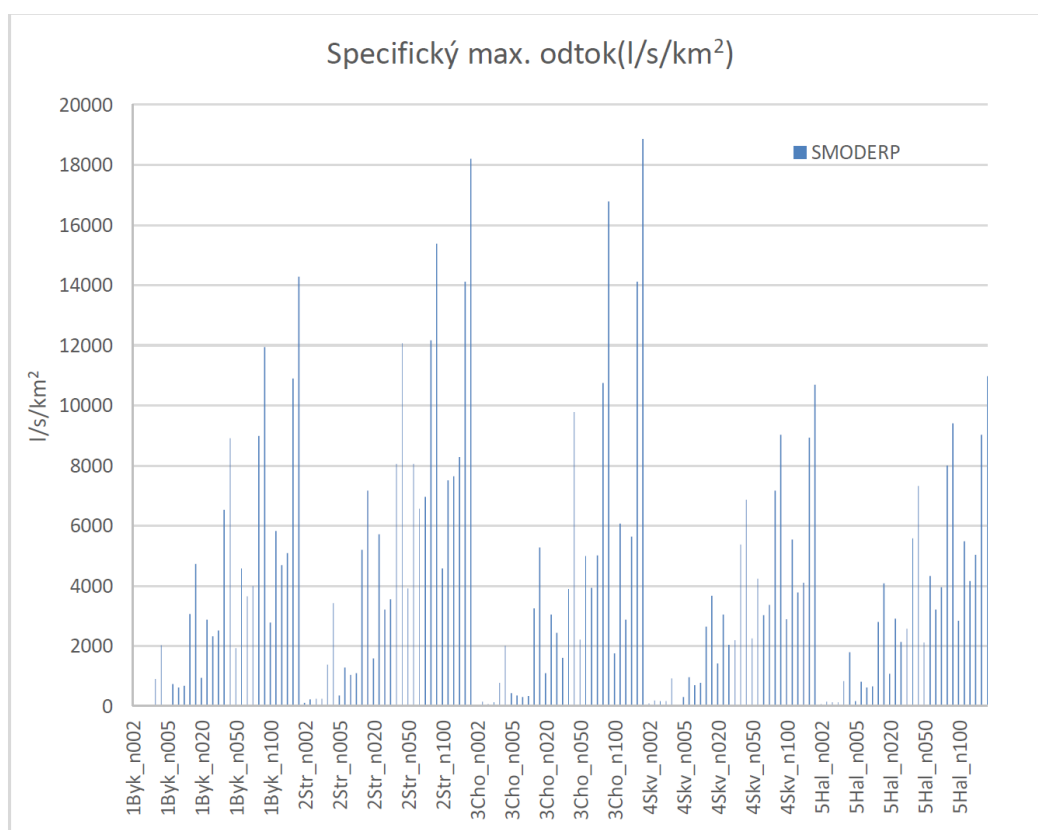
V modelu byly provedeny simulace pro všechny tvary zobecněných hyetogramů na reprezentativních povodích (viz aktivita A1605). Výstupem distribuovaného modelu jsou hodnoty maximálních nebo kumulativních odtoků v jednotlivých buňkách výpočetní sítě v rozlišení vstupního DMT. V uživatelsky zvolených bodech jsou vypisovány hydrogramy. Kromě závěrového profilu byly zvoleny body uvnitř povodí. Ty byly voleny s ohledem na využití

území a případně tvar povodí. Volba bodů probíhala společně pro model SMODERP a HEC-HMS.



Obr. 13 Výsledky z povodí 2Str – Struhařovský p. pro jednotlivé scénáře – seřazeno po dobách opakování a scénářích. Objem odtoku je až dvojnásobný mezi jednotlivými tvary srážek při stejném úhrnu a více jak dvojnásobný v hodnotě maximálního specifického odtoku.

Výsledky ve formě hydrogramů, přepočtených specifických odtoků pro jednotlivá povodí a pro jednotlivé srážkové scénáře ukazují značnou závislost odtoků na příčinné srážce. Obecně ve všech povodích jsou celkové objemy a maximální průtoky stejného řádu a v rámci každého povodí logicky stoupají s rostoucím úhrnem, resp. dobou opakování. U srážek s nižší dobou opakování (2 a 5 let) je patrný vliv infiltrace; v modelu nedojde k překročení infiltrační kapacity a odtok je generován pouze z nepropustných ploch. U téměř rovnoměrné srážky (t1) je dominantní vliv infiltrace patrný i u srážek vyšších intenzit. Naopak relativně rovnoměrná srážka s mírným vrcholem (t2) vyvolává z hlediska specifických odtoků podobné dopady jako tvary se dvěma oddělenými vrcholy (t3 a t4), kde maximální srážka dosahuje vyšších intenzit. Dle předpokladů jsou největší průtoky v případě koncentrovaných srážek (t5 a t6). Rozdíl mezi těmito dvěma scénáři je dán v podstatě mírou koncentrace srážky. Rozdíly ilustruje příklad na povodí Struhařovského potoka (Obr. 13). Vliv tvaru povodí a využití území má dopad na tvar hydrogramu. Nejvíce patrný vliv je u tvarů srážek se dvěma vrcholy (t3 a t4), kde u protáhlých povodí (třídy TR2 a TR4, viz kapitola 4.5) dochází ke vzájemnému ovlivnění těchto dvou srážkových vrcholů. Vliv drah povrchového odtoku a převažujícího lesa je nejvíce patrný v povodí třídy TR5, kde jako v jediném způsobuje větší průtok rovnoměrnější srážka s drobným vrcholem (t2) než se dvěma vrcholy. Ilustrativně je uveden následující graf specifických maximálních odtoků na všech povodích.



Obr. 14 Maximální specifické odtoky [l.s-1.km-2] seřazeno podle povodí a dob opakování návrhové srážky.

V absolutních číslech jsou maximální hodnoty modelovaných průtoků u koncentrovaných srážek s vyšší dobou opakování ($N = 50, 100$ let) prakticky mimo reálné meze (desítky m^3/s) a to i na lesních povodích. Úprava infiltračních vlastností půd bude mít na druhé straně dopad i na srážky s menší intenzitou, kde dojde k redukci povrchového odtoku. Tyto aktivity spojené s testováním modelu SMODERP se předpokládají v následujícím roce řešení.

4.4.2.2. HEC-HMS

Jedná se o světově i v ČR zavedený jednoduchý hydrologický model. Povodí je reprezentováno buď jako jediná hydrologická jednotka (celistvý přístup) nebo jako skupina dílčích subpovodí provázaných říční sítí (semidistribuovaný přístup). V tomto projektu byla použita druhá varianta, každé z charakteristických povodí bylo rozčleněno na 4–6 subpovodí tak, aby byla vhodným způsobem reflektována struktura hydrografické sítě a ideálně byla subpovodí co nejvíce homogenní z hlediska morfologie a půdního pokryvu.

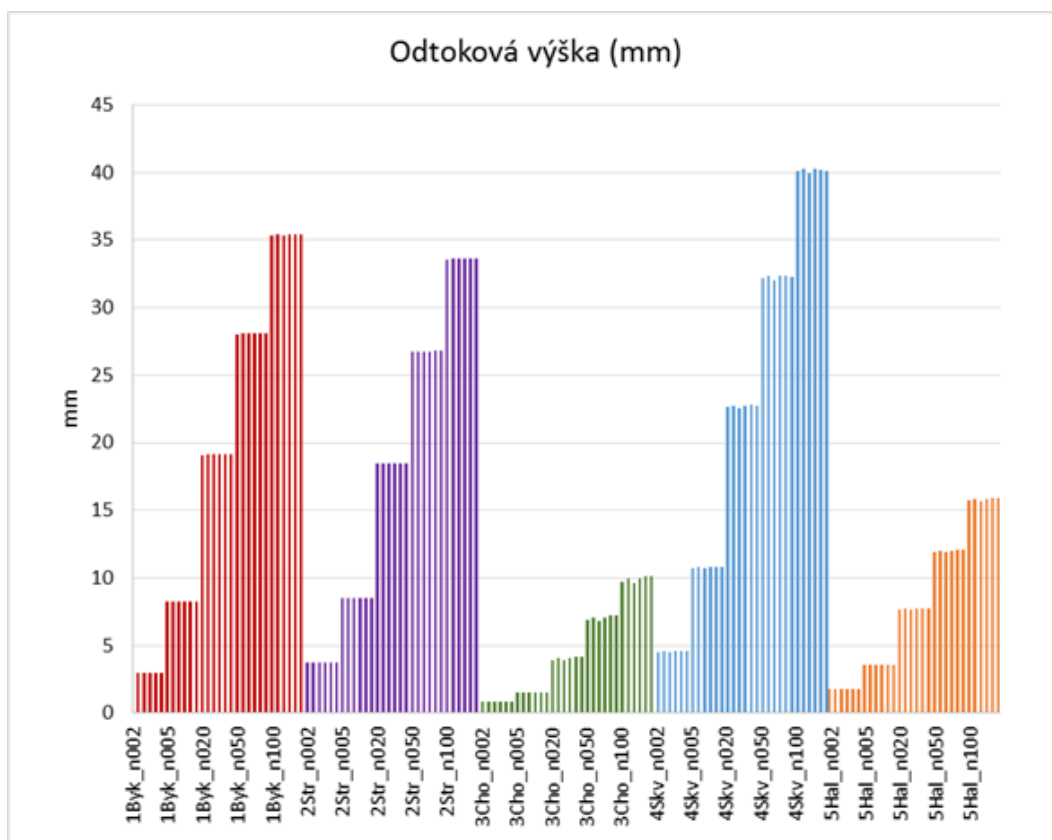
Model každého z charakteristických povodí byl individuálně sestaven v prostředí ArcGIS s využitím nástrojové sady HEC-GeoHMS (<http://www.hec.usace.army.mil/software>). Z výše popsaných dat byla spočtena řada popisných charakteristik pro každé subpovodí, z nichž klíčovými byly průměrné hodnoty CN pro střední hodnotu indexu předchozích srážek (IPS II) a doba zpoždění kulminace hydrogramu T_{LAG} . Jako metoda výpočtu objemu přímého odtoku i tvaru hydrogramu byla vybrána metoda SCS-CN. Subpovodí byla propojena úseky vodních toků s reálnými hodnotami délky a sklonů. Gometrie a drsnost koryt byla stanovena odborným odhadem a na základě v literatuře tabelovaných hodnot.

Model sestavený v HEC-GeoHMS byl exportován do volně dostupného softwaru HEC-HMS, kde byl doplněn o meteorologická data a připraveny zde byly všechny výpočetní scénáře. Každému charakteristickému povodí byly přiřazeny návrhové úhrny a časové průběhy srážek dle popisu v předchozí kapitole. Celkem bylo pro každé povodí simulováno 30 srážko-odtokových scénářů. Jedinou proměnnou byly srážkové scénáře, citlivost na vybrané parametry modelu byla testována v prvním roce řešení a komplexní citlivostní analýza bude provedena v posledním roce řešení projektu.

První kvalitativní analýza výstupů modelu a z nich odvozených charakteristik vedla k několika poznatkům. Do výšky odtoku se dle očekávání typ rozdělení srážky nijak nepromítnul, jak ilustrují šestice stejně vysokých sloupců pro jednotlivá povodí a doby opakování na Obr. 15. Identická výška odtoku plyne z principu metody výpočtu efektivní srážky (SCS-CN), která průběh srážky při výpočtu objemu odtoku zohledňuje jen nepřímo. Do vyčerpání počáteční ztráty totiž na intenzitě srážky vůbec nezáleží a pozdější průběh

srážkové ztráty má tvar jednoduché mocninné funkce. Metoda tak popisuje formování odtoku spíše principem postupné saturace povodí a nebere v úvahu známé procesy jako je hortonovský odtok (intenzita srážky přesáhne infiltrační kapacitu půdy) nebo rychlý hypodermický odtok. To je pokládáno za nevýhodu metody SCS-CN a do určité míry snižuje schopnost tohoto modelu hodnotit skutečný dopad rozdílného průběhu srážky. Stejně objemy odtoku při různých rozděleních srážky neodpovídají skutečnosti, rozdíly mohou být výrazné, jak ilustruje např. graf odtokových výšek z fyzikálního modelu SMODERP na Obr. 13.

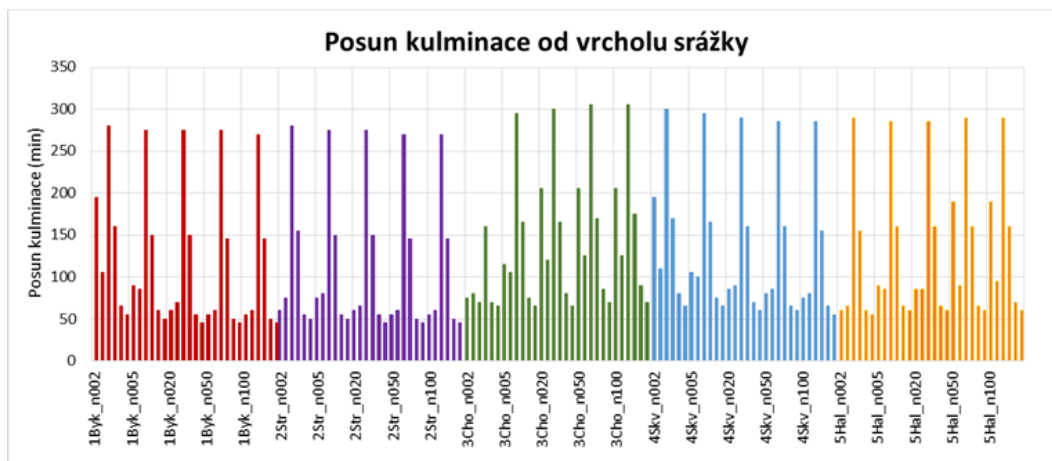
Rozdílné odtokové výšky napříč povodími korespondují s rozdílnými hodnotami CN a procentem nepropustných ploch. Zřejmý je vliv půdního pokryvu na povodích 3 a 5, která jsou z větší části lesnatá a generují 2–3x vyšší objem odtoku oproti povodí 4, kde převažuje orná půda a antropogenní plochy (viz kapitola 4.5). K rozdílu přispívá i odlišná srážková výška, její vliv však není díky malým odlišnostem v úhrnech dominantní.



Obr. 15 Odtokové výšky pro jednotlivá povodí a doby opakování (1Byk – Býkovický potok, 2Str – Struhařovský p., 3Cho – Chouzavá, 4Skv – Škvorecký potok, 5Hal – Halounský potok)

Zajímavější poznatky nabízí posuny kulminací odtokových hydrogramů oproti kulminaci příčné srážky (Obr. 16). Téměř pro všechna povodí a doby opakování byl posun nejvyšší v případě srážky typu 3 (dvouvrcholová s delší prodlevou mezi hlavní a vedlejší srážkou), kdy kulminaci způsobovala vždy až vedlejší srážka s nižší maximální intenzitou oproti srážce

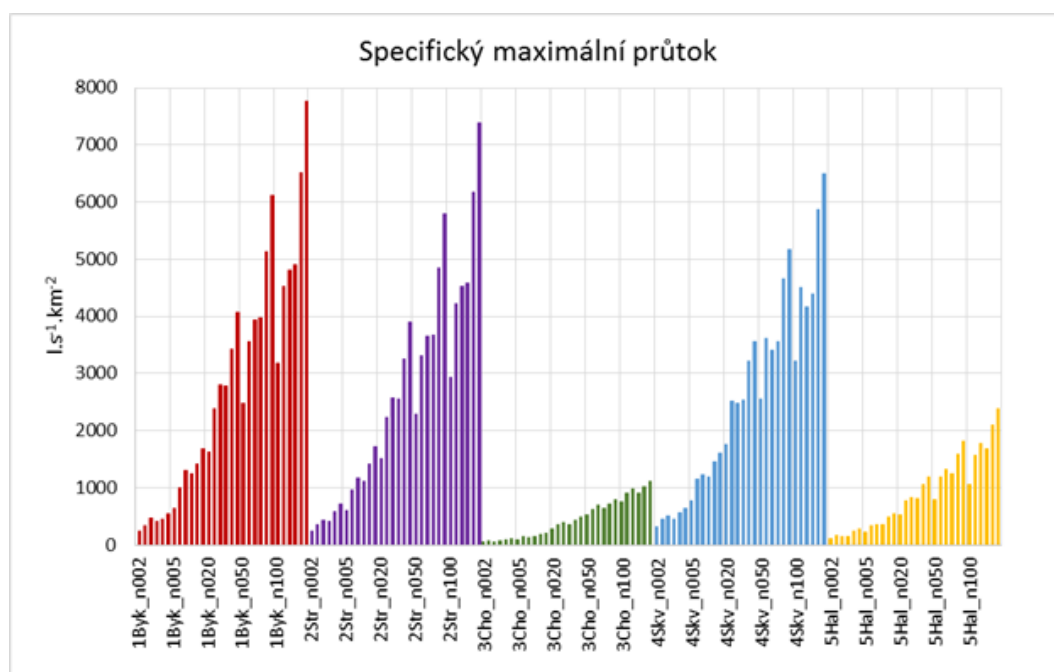
hlavní. Jediná výjimka byla zaznamenána u lesnatého povodí 3 (Chouzavá) pro dobu opakování 2 roky, kdy nejvyšší kulminační průtok vyvolala více koncentrovaná dvouvrcholová srážka typu 4. Rozdíly v hodnotách kulminací pro oba srážkové scénáře však byly velmi malé, stejně jako absolutní hodnoty kulminačních průtoků a tuto nekonzistenci je tedy možné připsat vlastnostem povodí jako je návaznost dílčích povodí a parametry říční sítě, které ovlivňují transformaci a sčítání dílčích hydrogramů.



Obr. 16 Posuny kulminací hydrogramů od hlavního vrcholu srážky

Druhé největší oddálení kulminace odtokové vlny bylo ve většině případů zaznamenáno v reakci na více koncentrovanou dvouvrcholovou srážku typu 4 a rovněž ji vyvolala nižší vedlejší srážka. Na povodí 1 a 4 (Býkovický a Škvorecký potok) a téměř i u povodí 2 (Struhařovský potok) se druhé nejvyšší oddálení projevilo trochu nečekaně u nejrovnoměrnější srážky typu 1 a nejkratší doby opakování 2 roky. Tento efekt je způsobený nízkým úhrnem srážky v kombinaci s její rovnoměrnou intenzitou. V době kulminace srážky ještě nedošlo k dosažení retenční kapacity povodí a odtokový hydrogram tak kulminuje mnohem později, až v reakci na mírný nárůst v intenzitě efektivní srážky v jinak poklesové větvi srážkové události. S vyšším úhrnem (vyšší dobou opakování) tento efekt mizí a odtokové hydrogramy kulminují vždy v reakci na hlavní vrchol srážky. Nutno říci, že i přes vyšší oddálení kulminace odtoku oproti více koncentrovaným srážkám stále tento srážkový scénář produkuje nejnižší specifické kulminační průtoky, jak lze vyčíst z prvních sloupců v rámci každé N-letosti na Obr. 17.

Opačný efekt lze pozorovat u dvou lesních povodí 3 a 5 (Chouzavá a Halounský potok), kdy se druhé nejvyšší oddálení projevuje sice rovněž u srážky typu 1, ale pro nejvyšší doby koncentrace 20–100, resp. 50–100 let. Vysvětlení by vyžadovalo podrobnější analýzu výsledků na dílčích povodích a dynamiky transformace odtokových vln v simulované říční síti. Nejkratší doby oddálení kulminačního průtoky lze pozorovat nezávisle na povodí či době opakování u nejvíce koncentrované srážky typu 6.



Obr. 17 Maximální specifické průtoky dle povodí 1–5, doby opakování 2–100 let a typu rozdělení srážky t_1 – t_6

Z hlediska maximálních specifických průtoků je evidentní dominantní účinek nejvíce koncentrované srážky typu 6. Jí vyvolané kulminační průtoky často přesahují kulminace vyvolané méně koncentrovanými srážkami s delší dobou opakování a to i o dvě kategorie výše (např. odtok z t_6 a N020 přesáhne odtok z t_1 a N100). Na druhém místě jsou s jedinou výjimkou odtoky z o něco méně koncentrované dvouhodinové srážky typu 5, u dalších typů časového rozložení už však pořadí není tak jednoznačné. Liší se dle třídy povodí a doby opakování. Relativně srovnatelné hodnoty kulminací vznikají v reakci na srážky typů 2–4, nejnižší hodnoty produkují bez rozdílu scénáře s kvazikonstantní srážkou typu 1.

Zajímavý efekt nabízí lesnatá povodí 3 a 5, v nichž při nižších dobách opakování (a tedy úhrnech srážky) kulminace ze srážky typu 2 přesáhnou kulminace z koncentrovanějších srážek typů 3 a 4. Co se týká absolutních hodnot kulminačních specifických otoků, dle očekávání jsou nejnižší hodnoty u lesnatých povodí 3 a 5. Nejvyšších hodnot dosahuje povodí 1, přestože jeho hodnota CN (70,7) je nižší než u povodí 2 a 4. Pořadí v absolutních velikostech kulminací zde lze vysvětlit odlišným tvarem povodí, kdy ve vějířovitém povodí třídy 1 se kulminace odtokových vln z dílčích povodí časově lépe shodují než v protáhlých povodích 2 a 4.

4.4.2.3. TOPMODEL

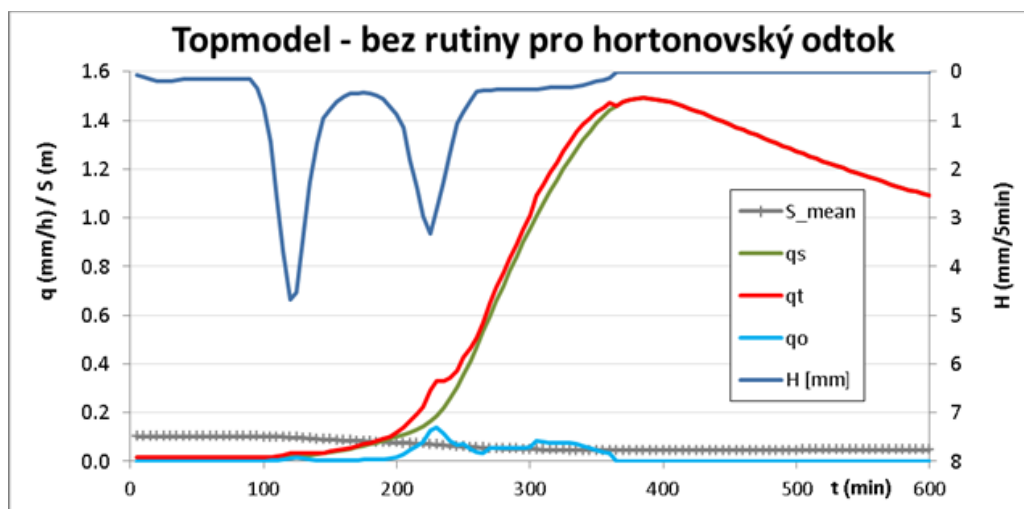
Nejedná se přímo o hydrologický model v běžném smyslu slova, jako spíše o sadu konceptů, které je možné v hydrologické praxi modifikovat dle potřeby. Proto existuje řada implementací na bázi Topmodelu, některé v podobě open source řešení, jiné integrované v

komerčních modelech. I když je tento model uveden v metodických pokynech tak konkrétní aplikace tohoto modelu využitelná v prostředí ČR není. Pro tento projekt byla vybrána a testována open source varianta implementovaná v prostředí GRASS GIS. Případné komplikace s implementací je tak možné řešit přímo s vývojáři GRASS platformy, kteří jsou zároveň členy řešitelského kolektivu. Samotná implementace Topmodelu do GRASS pochází z roku 2000, Topmodel jako sada konceptů je data ještě staršího (Beven, K.J. a M.J. Kirkby, 1979).

Topmodel vznikl s cílem zohlednit v hydrologickém modelování dynamiku saturovaných oblastí a s ní složku povrchového i podpovrchového odtoku. Přitom měla být zachována minimální možná parametrizace a jednotlivé parametry modelu měly být co nejvíce fyzikálně interpretovatelné. Z hlediska prostorové distribuce model vznikl jako celistvý, pozdější implementace umožnily semidistribuovaný přístup. Jelikož model v každém výpočetním kroku bilancuje deficit saturace pro každou třídu topografického indexu (viz dále), který je v principu možné zpětně namapovat na grid DMT a tím zmapovat saturované oblasti a jejich dynamiku, lze model považovat za semidistribuovaný i v rámci výpočetních subpovodí.

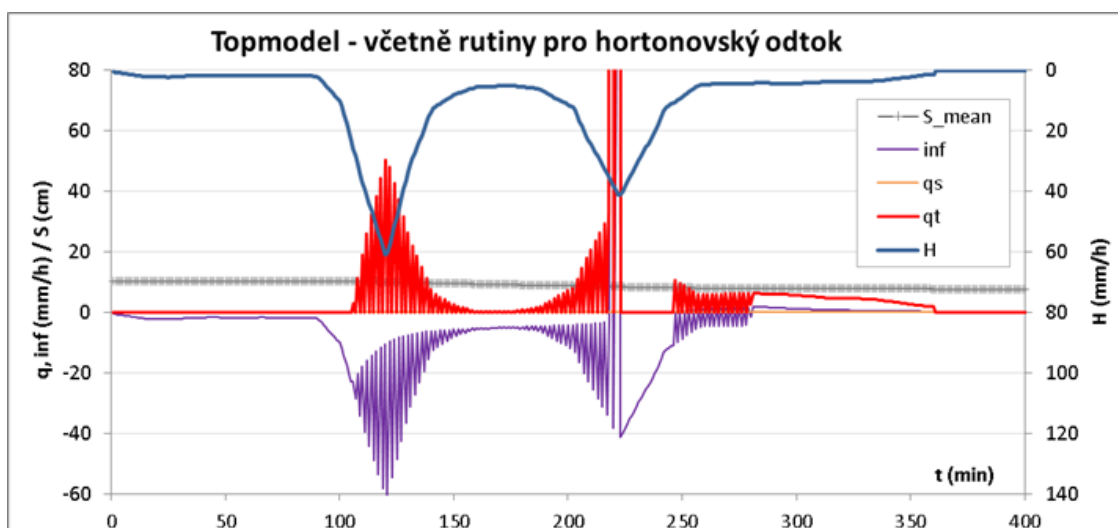
Povodí v Topmodelu reprezentuje histogram rozdělení topografického indexu, který vyjadřuje náchylnost daného bodu v povodí k saturaci povrchu a jedná se o jednoduchou morfologickou charakteristiku vyčíslitelnou běžnými GIS metodami. Z hlediska hydrologického chování se všechny body v povodí spadající do stejné třídy topografického indexu chovají totožně a Topmodelem jim je na základě počátečního základního odtoku z povodí a průměrné transmisivity půdního profilu přiřazena konkrétní hodnota hloubky k HPV, respektive vlhkostního deficitu. Bilancováním tohoto deficitu, intenzity srážky a případných dalších procesů se v průběhu výpočtu mění úroveň saturace půdního profilu v každé třídě topografického indexu a s ní i intenzita povrchové i podpovrchové složky odtoku. Topmodel byl původně navržen spíše jako kontinuální, který zohledňoval evapotranspiraci a nezohledňoval povrchový odtok z překročení infiltrační kapacity (infiltration excess), někdy též označovaný jako hortonovský. Zatímco zanedbat evapotranspiraci je v případě modelování samostatných srážko-odtokových epizod jednoduché a korektní, začlenění rutiny pro hortonovský odtok je v případě vysokých intenzit srážky nezbytné a vyžaduje využití některé z komplikovanějších výpočetních metod. GRASS implementace Topomodelu umožňuje oba módy výpočtu, bez a se zohledněním hortonovského odtoku. Pro druhý režim využívá fyzikální metodu Green-Ampt (1911). Pro routing odtoku uvnitř povodí jsou v Topmodelu využity jednoduché lineární analytické vztahy založené např. na konstantní rychlosti povrchového odtoku.

V druhém roce řešení byl sestaven model prvního z reprezentativních povodí (Býkovický potok), odhadnuty parametry modelu a testována jeho funkčnost a citlivost na vstupní parametry pro jeden scénář srážky s dobou opakování 20 let a tvarem časového rozdělení t4. Obrázek Obr. 18 znázorňuje zátěžovou srážku a typický graf vybraných výstupů Topmodelu spuštěného bez rutiny pro hortonovský odtok. Patrný je pozvolný pokles průměrného vlhkostního deficitu S , který poukazuje na zvyšující se nasycenost povodí. Přibližně v čase 100 minut dochází v nasycení půdního profilu pro první třídu topografického indexu a začíná generování povrchového odtoku q_0 a tvoří jen malou část odtoku celkového q_t . Ten je však nevýrazný v porovnání s odtokem podpovrchovým q_s . Ten vzniká jako důsledek zvyšující se úrovně saturace povodí, které díky absenci rutiny pro hortonovský odtok pojme v nesaturovaných oblastech veškerý úhrn srážky. To v případě intenzivních srážek neodpovídá realitě, tento mód výpočtu byl využit pouze pro otestování funkčnosti a lepší pochopení modelu.



Obr. 18 Vybrané veličiny z výstupu Topmodelu v módu bez hortonovského odtoku

V dalším kroku byl proveden výpočet s využitím rutiny pro hortonovský odtok řešící infiltraci metodou Green-Ampt. V původně použitém pětiminutovém kroku se projeví výpočetní nestability modelu, a proto byl spuštěn výpočet v jemnějším minutovém kroku. Typické výstupy jsou znázorněny na Obr. 19. Jak je z grafu patrné, ani kratší výpočetní krok výpočetní nestability modelu zcela neodstraní, model osciluje od okamžiku dosažení infiltrační kapacity půdy a dokonce kolem vrcholu vedlejší srážky připustil záporné intenzity infiltrace (na grafu kladné, celá infiltrace zobrazena jako záporný tok).



Obr. 19 vybrané veličiny z výstupu Topmodelu v módu včetně hortonovského odtoku a nestability výpočetní rutiny

Jak již bylo zmíněno, konkrétní implementace tohoto modelu, o kterém se zmiňují i některé návody, neexistuje. Nic méně tento svým přístupem ojedinělý model je vhodné do sady testovaných modelů zahrnout. Proveditelnost a efektivita případných oprav výpočetní rutiny jsou v současnosti prověřovány. Případně existují další implementace např. v prostředí R. Komplikací je neexistence podrobné dokumentace struktury modelu ani v angličtině a je proto nutné analyzovat přímo zdrojový kód modelu.

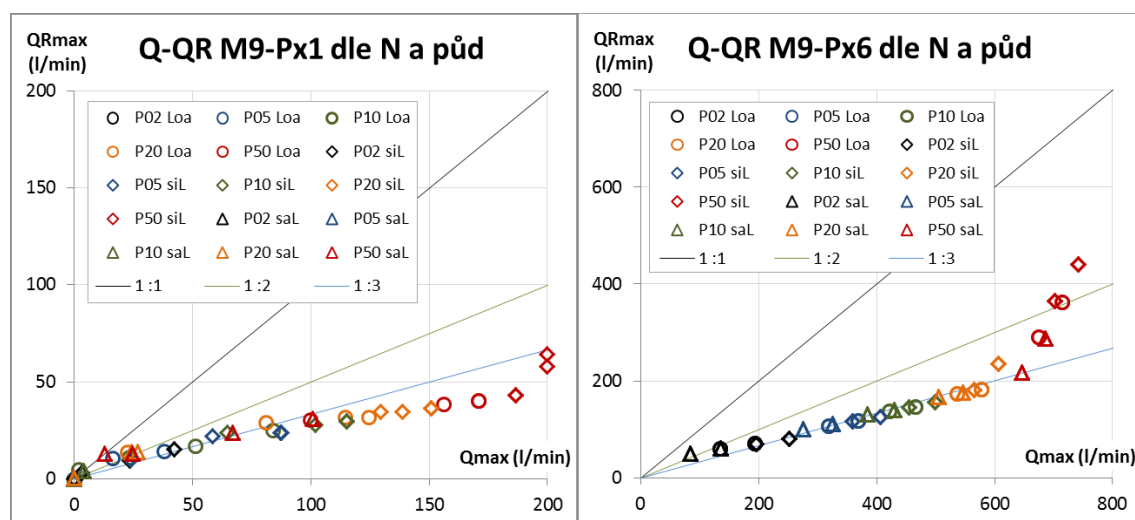
4.4.2.4. MIKE - SHE

V druhém roce řešení projektu byla provedena detailní citlivostní analýza infiltračních parametrů fyzikálního distribuovaného modelu MIKE-SHE. Analýza byla provedena členem řešitelského kolektivu jako dílčí úkol v rámci zpracování jeho dizertační práce (Strouhal, 2016). Tato absolventská práce vznikla s podporou projektu a zde bude uveden stručný výběr pro tento projekt relevantních výstupů a závěrů.

Citlivostní analýza byla provedena pomocí 360 simulací odtoku z přímého svahu orné půdy šířky 1 m. Pro modelování infiltrace byl uvažován dvouvrstvý půdní profil duálního charakteru zahrnující půdní matici a preferenční doménu. Pro výpočet infiltrace byla použita Richardsova rovnice a půdní parametry z databáze EU-HYDI (Weynants, M. et al., 2013). Použité scénáře kombinovaly 2 varianty délky a sklonu svahu, 3 typy časové distribuce a 5 dob opakování návrhové srážky, 3 půdní druhy, 2 varianty hloubky ornice a 2 varianty zastoupení makropórů.

Na Obr. 20 jsou na ose x vyneseny kulminační odtoky z jedné varianty svahu M9 délky 300 m a sklonu 9 % pro dvě extrémní varianty příčinných srážek t1 a t6. V rámci dizertační

práce byl hodnocen redukční účinek retenčních opatření na svahu, hodnoty průtoků z těchto chráněných svahů jsou vyneseny na ose y a pro tento projekt nejsou podstatné. Pro analýzu vlivu rozdělení srážky a půdních parametrů postačí studium vodorovné pořadnice bodů.



Obr. 20 Rozložení kulminačních průtoků ze svahu délky 300 m ze srážek t1 a t6 (značeno Px1 a Px6) v závislosti na době opakování a s rozlišením půdního druhu (Loa = hlinitá, saL = písčitohlinitá, siL = prachovitohlinitá)

Kulminační odtoky na Obr. 20 jsou rozlišeny barevně podle doby opakování příčné srážky od 2 do 50 let a typem značky podle půdního druhu. Porovnáním obou grafů je patrný rozdílný rozsah hodnot pro jednotlivé typy průběhu srážek. Nejvyšší hodnoty kulminačních průtoků jsou vyvolány nejvíce koncentrovanou srážkou t6, pohybují se v rozsahu od 84 do 742 l.min⁻¹. Oproti tomu vytrvalý déšť t1 způsobí průtoky pouze v rozmezí 0–200 l.min⁻¹. Tabulka Tab. 5 shrnuje vybrané statistiky hodnot podle doby opakování a tvaru rozložení srážky.

Tab. 5 Statistika kulminačních průtoků ze všech modelů svahu M9 délky 300 m a sklonu 9 % podle doby opakování a typu rozdělení srážky

srážka Q (l/min)	typ 1				typ 6			
	min	max	rozsah	prům	min	max	rozsah	prům
N02	0	42	42	6	84	253	169	166
N05	0	88	88	26	275	406	131	342
N10	0	115	115	47	384	499	114	442
N20	0	151	151	80	504	606	102	556
N50	13	200	187	131	646	742	97	694

Z grafu na Obr. 20 vpravo pro srážku t6 je jasně patrné shlukování hodnot průtoků podle doby opakování srážky. Variabilita v rámci jedné doby opakování je způsobena spolupůsobením rozdílných charakteristik půd. Vliv půdních parametrů dokonce v některých případech překonává rozdíly v době opakování příčné srážky. Překryvy mezi N-letostmi se liší svým rozsahem. U kulminačních průtoků k němu dochází pouze mezi průtoky vyvolanými

srážkou s dobou opakování 5 a 10 let, u objemů však byly zjištěny v případě všech sousedních dob opakování nebo dokonce ob jednu úroveň, např. 5 a 20 let (grafy nejsou uvedeny).

Trochu jiný výsledek lze pozorovat u srážky t1 na Obr. 20 vlevo. Ke shlukování podle doby opakování tu sice také dochází, ale variabilita daná půdními charakteristikami je tak vysoká, že na velikosti srážky přestává záležet a skupiny průtoků různých dob opakování se značně překrývají.

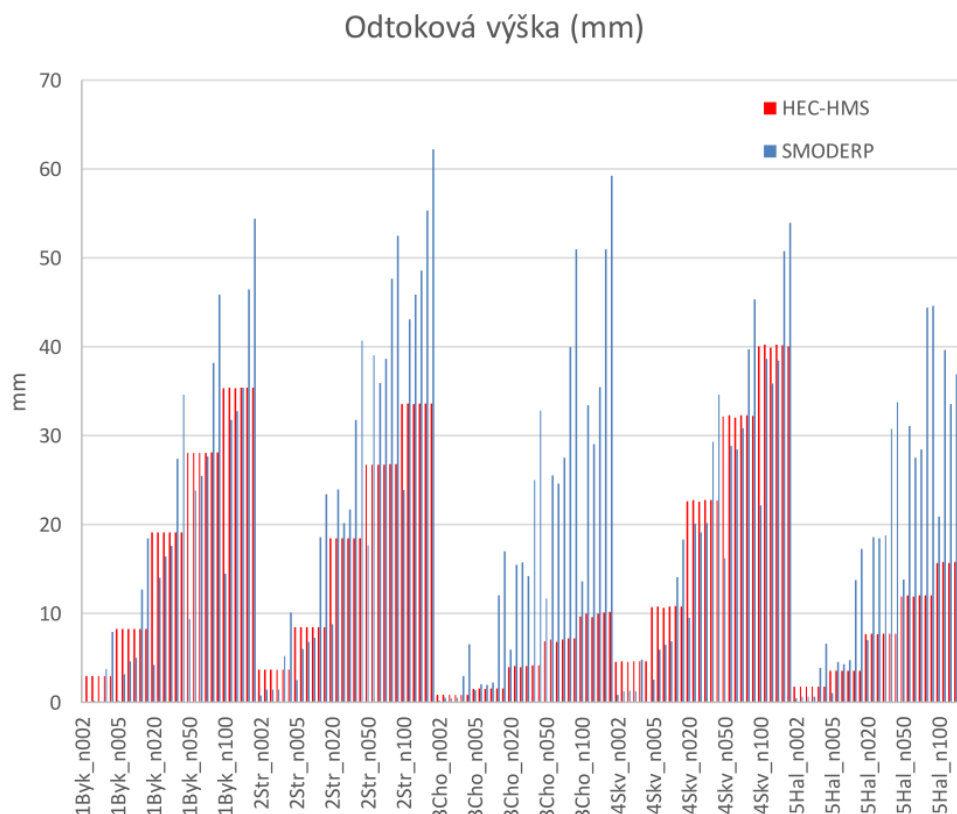
Při analýze objemů a kulminačních průtoků ze svahu se ukázaly doba opakování, délka a typ časového rozložení srážky jako zásadní. U koncentrované srážky t6 byl jako hlavní mechanismus formování odtoku identifikován Hortonovský odtok. Kulminační průtoky jsou těsněji spjaty se samotnou srážkou a méně jsou ovlivněny ostatními parametry modelu. Srážka t1 je z hlediska kulminačních hodnot odtoku zanedbatelná. Jejich rozsah je u tohoto rozdělení srážky čtvrtinové oproti t6. Srážka t1 je obecně specifická tím, že umožňuje odlišný proces formování odtoku. Díky svému rovnoměrnému průběhu po celých 6 h má velmi nízké průměrné intenzity a až na nejvyšší doby opakování a nejméně propustné půdy se zde prakticky ztrácí vliv doby opakování srážky. Dominantním principem formování odtoku je saturace preferenční domény svrchního půdního profilu a při tomto mechanismu hrají dominantní roli půdní charakteristiky.

Při analýze výsledků bylo shledáno, že omezený počet srážkových scénářů vedl k omezení variability výsledků. Rozdělení srážky t6 vedlo prakticky vždy k Hortonovskému odtoku, t1 zase převážně k saturaci svrchního půdního profilu. Smíšení těchto dvou principů ke kterým může docházet například u srážky t3 a t4, u kterých by první vrchol zajistil dostatečnou saturaci preferenční domény a druhý by poté vytvářel rozhodující složku odtoku. Z rozdílů dosud modelovaných scénářů lze oprávněně usuzovat, že účinek takového typu srážky by se v některých aspektech blížil intenzivní koncentrované srážce t6.

4.4.3. Porovnání výsledků

Po dokončení výpočtu základní sady srážko-odtokových scénářů v modelech HEC-HMS a SMODERP bylo provedeno kvalitativní srovnání výstupů obou modelů. Kromě křížového vynesení všech průběhů odtokových hydrogramů jsou vytvářeny zejména přehledy odtokových charakteristik. Jak ilustruje Obr. 21, oba modely produkují řádově srovnatelné odtokové výšky u povodí 1 (Býkovický potok) a 4 (Škvorecký potok), přičemž rozdíly jsou dané zejména výše diskutovaným nedostatkem metody SCS-CN a narůstají s přibývajícím N-letostí srážkového úhrnu. U povodí 2 a zejména lesních povodí 3 a 5 jsou rozdíly

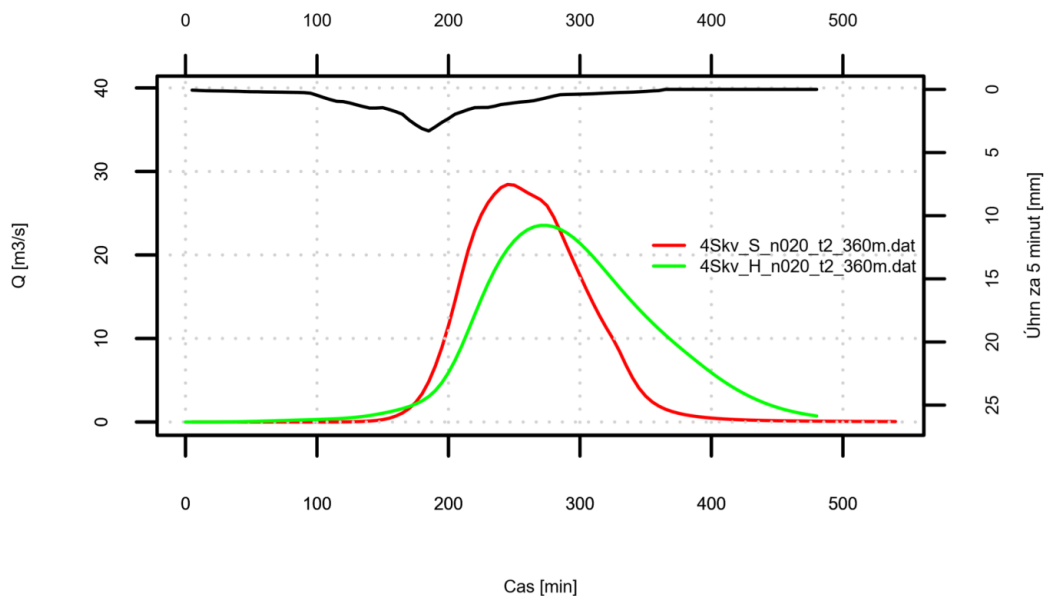
markantnější. Mohou být dány např. absencí intercepce v modelu SMODERP, vyžadují ale rovněž revizi infiltračních parametrů na lesní půdě, případně hodnot CN.



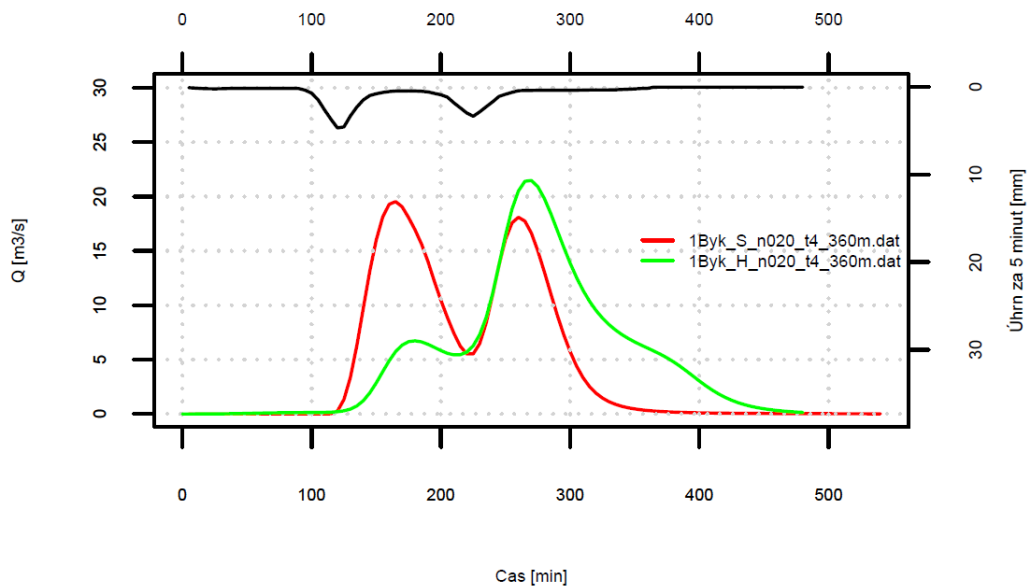
Obr. 21 Srovnání odtokových výšek z modelů HEC-HMS a SMODERP podle reprezentativních povodí, doby opakování a tvaru srážky

V případě specifických kulminačních odtoků jsou rozdíly mezi modely obdobné, zde je pro nadbytečnost neuvádíme. Srovnání slouží zejména k odhalování případných chyb ve stavbě či parametrizaci modelů a tato aktivita bude průběžně pokračovat s dokončováním výpočtů v dalších vybraných modelech.

Na dalších dvou grafech je znázorněn celkový odtok v závěrovém profilu povodí spočtený v obou modelech. V prvním případě (Obr. 22) se jedná o odezvu na druhou nejméně koncentrovanou srážku s jedním vrcholem (t_2), druhý hydrogram (Obr. 23) je reakcí na srážku s dvěma vrcholy (t_4). U srážek se dvěma vrcholy dosahují modely v některých případech kulminace v jiné části srážky. To je dáno odlišnými metodami výpočtu. Zatímco SCS-CN uvažuje kumulativní srážkovou ztrátu na jejím začátku až do výše parametru I_a a poté ztráta exponenciálně klesá (což způsobí vyšší redukci prvního srážkového vrcholu), fyzikální metoda (Phillips) v modelu SMODERP je schopna již na začátku srážkové události reagovat na překročení infiltrační kapacity a vygenerovat maximum povrchového odtoku.



Obr. 22 Srovnání odtoků z modelů HEC-HMS (zeleně) a SMODERP (červeně) na povodí Škvoreckého potoka pro srážku s dobou opakování 20 let a tvarem zobecněného hyetogramu t2



Obr. 23 Srovnání odtoků z modelů HEC-HMS (zeleně) a SMODERP (červeně) na povodí Býkovického potoka pro srážku s dobou opakování 20 let a tvarem zobecněného hyetogramu t4

4.5.A1605 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (návaznost na cíl C6)

Tato aktivita navazuje na aktivitu A1502 Určení základních charakteristik povodí v České republice a zároveň je součástí dílčího cíle C006 Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice.

Základní charakteristiky malých povodí v České republice byly určeny v prostředí ArcGIS, kdy byly výpočty prováděny nejprve na pramenných povodích a následně na zbylých povodích IV. řádu. Tento postup sloužil pouze pro urychlení výpočtu, kdy bylo využito několik výpočetních aparátů najednou.

Celkem bylo určeno či vypočteno 15 parametrů popisujících jednotlivá povodí, tedy základní charakteristiky povodí: koeficient reliéfu, maximální, minimální a průměrná nadmořská výška povodí, délka toků, Gravelliův koeficient, průměrný sklon povodí, koeficient protáhlosti povodí, hustota říční sítě, expozice svahů, plocha a tvar povodí, využití území (CN), maximální délka odtokové dráhy povodí a průměrná střední dráha plošného povrchového odtoku. Základní charakteristiky dále vstupují do výpočtů srážkoodtokových scénářů, a proto byl kladen důraz na snížení počtu proměnných ve výpočtech. Proměnné v tomto případě jsou vyhodnocené základní charakteristiky malých povodí v České republice.

Vyhodnocení základních charakteristik malých povodí bylo provedeno za účelem eliminace závislých charakteristik a zredukovat tak celkový počet parametrů vstupujících do následných výpočtů. Eliminace probíhala zkoumáním především přímých vazeb mezi jednotlivými charakteristikami např. koeficient reliéfu je možné vypočítat v závislosti na průměrné nadmořské výšce a šířce povodí. Dále redukcí získaných informací o povodích např. průměrná nadmořská výška povodí nahrazuje maximální a minimální nadmořské výšky nebo např. hustota říční sítě nahrazuje délku toků v povodí.

Vyhodnocením byly zvoleny základní charakteristiky malých povodí v České republice:

- plocha povodí A (km^2),
- průměrná nadmořská výška NADMV (m n. m.),
- průměrný sklon SKL (%),
- charakteristika tvaru povodí α (-),
- hustota říční sítě HRS (km/km^2),
- průměrná hodnota CN pro střední stupeň nasycení (-)
- specifická maximální délka odtokové dráhy $L_{\text{max.sp}}$ (m/km^2)

- Průměrná střední dráha plošného povrchového odtoku OFLen.m (m)

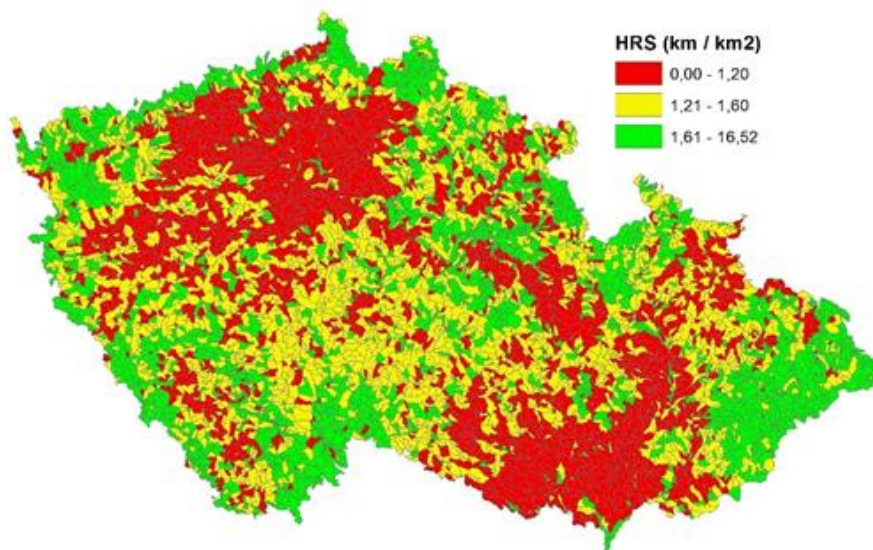
Tyto charakteristiky byly vyčísleny s využitím následujících zdrojů a postupů:

- Plocha povodí A byla převzata z oficiálních údajů o povodích (dle DIBAVOD).
- NADMV a SKL byly spočteny zonální statistikou nad rastrem terénu vytvořeném z DMR 4G (digitální model reliéfu 4. generace).
- HRS byl spočten z oficiálních údajů o tocích (CEVT - centrální evidence vodních toků dle DIBAVOD) jako součet délek vodních toků vyskytujících se na území jednotlivých povodí.
- Průměrné hodnoty CN pro IPS II byly spočteny zonální statistikou nad rastrem CN odvozeným řešitelem v rámci jeho předchozího projektu Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice. Popis odvození této vrstvy je podrobně uveden v (VÚV, v. v. i. , 2015).

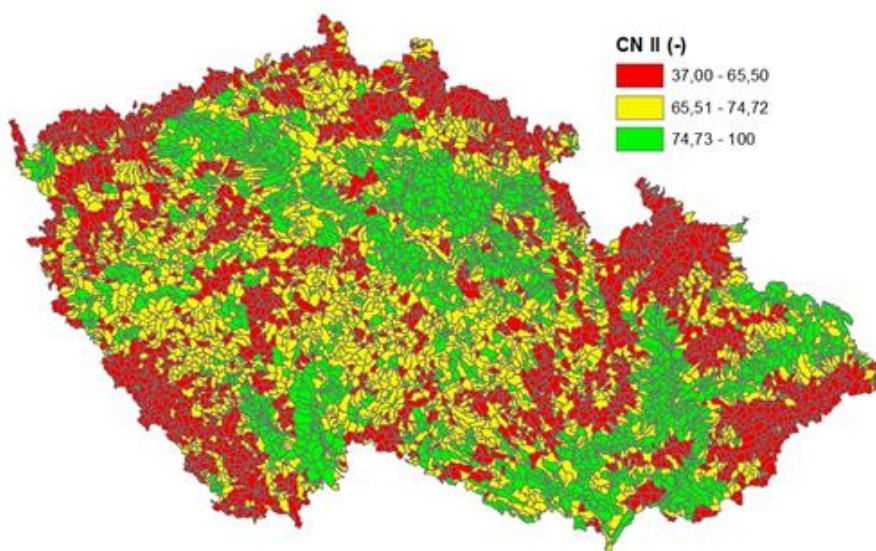
Podklady pro odvození tvořily polohopisné vrstvy:

- ZABAGED pro odlišení druhu půdního pokryvu
- LPIS pro upřesnění kultur na zemědělské půdě
- Hydrologické skupiny půd na zemědělské půdě dle VÚMOP
- vrstva lesů (PUPFL) s hodnotami CN dle (Macků J. a kol., 2014)
- hodnoty CN dle tabulky č. 19 Metodiky PBPO v ploše povodí (MŽP) upravené zpracovatelem vrstvy pro účely projektu.
- LMAX.sp byla spočtena jako délka nejdelší odtokové dráhy odvozené nástrojem v ArcHydro (toolbox v ArcGIS) nad digitálním modelem terénu a znormovaná plochou povodí.
- OFLen.m byla spočtena zonální statistikou jako průměrná hodnota nad rastrem délek odtoku (Flow Length)m přičemž pro výpočet délek odtoku nebyly uvažovány dráhy odtoku v korytech (dle DIBAVOD).

Charakteristiky povodí byly určeny celkem pro 8842 povodí IV. řádu. Pro 7739 povodí s plochou nad 0,5 km² byly dále určeny vzájemné korelace jejich charakteristik a povodí byla pro každou charakteristiku klasifikována do tří skupin metodou kvantilů pro lepší prezentaci grafických výstupů, viz níže zobrazené ukázky pro HRS a CN II (Obr. 24 a Obr. 25).



Obr. 24 Klasifikace povodí podle hustoty říční sítě



Obr. 25 Klasifikace povodí podle hodnot CN II

Korelace charakteristik dokládá následující tabulka (Tab. 6). Nejsilněji se projevuje závislost mezi sklonitostí a hodnotami CN (korelační koeficient -0,76), nadmořskou výškou a hodnotami CN (-0,57) a nadmořskou výškou a sklonitostí (0,49), což je v souladu s předpokladem, že ve vyšších polohách a na prudších svazích se častěji vyskytují lesní porosty způsobující nižší hodnotou CN. Naopak téměř nezávislé jsou na sobě skoro všechny dvojice parametrů s plochou povodí, sklonitost s hustotou říční sítě (0,05), charakteristika tvaru povodí α s hustotou říční sítě (-0,05) nebo střední dráhou plošného odtoku (0,06) a hodnoty CN s hustotou říční sítě (-0,08).

Tab. 6 Korelační koeficienty mezi parametry povodí

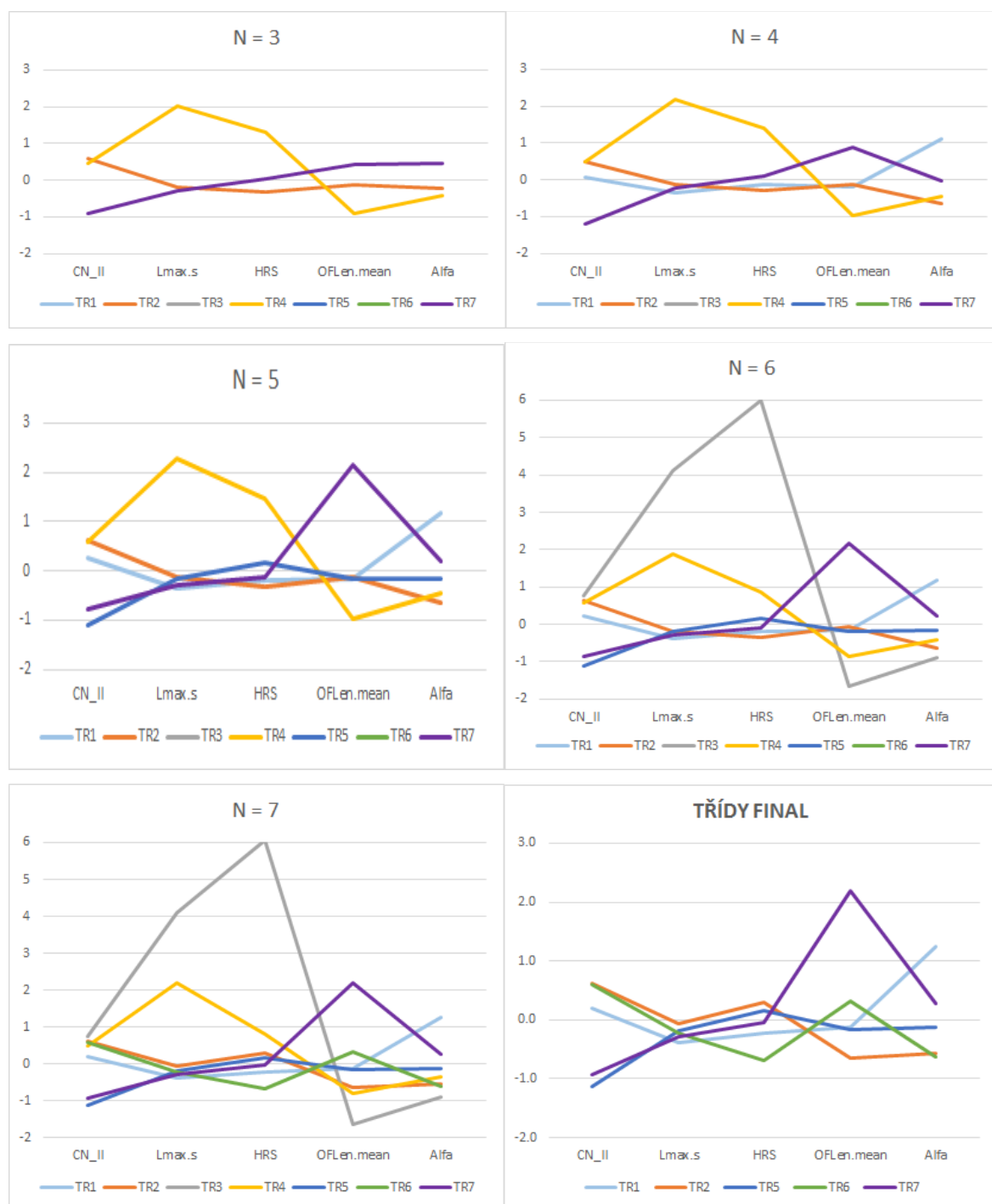
	A	NADMV	SKL	α	HRS	CN	OFLen.m	Lmax.sp
A	1,00							
NADMV	0,04	1,00						
SKL	-0,03	0,49	1,00					
α	0,02	0,12	0,15	1,00				
HRS	-0,17	0,18	0,05	-0,05	1,00			
CN	-0,03	-0,57	-0,76	-0,12	-0,08	1,00		
OFLen.m	0,14	0,42	0,19	0,06	-0,26	-0,20	1,00	
Lmax.sp	-0,59	-0,17	-0,09	-0,23	0,40	0,13	-0,25	1,00

Hodnoty uvedených základních charakteristik povodí byly v GIS připojeny do atributové tabulky vrstvy povodí IV. řádu. Dále bylo provedeno rozdělení povodí IV. řádu (s plochou nad 0,5 km²) do charakteristických skupin podle pěti parametrů vybraných z výše uvedené sady. Parametr plocha povodí A (km²) byl zvolen poměrně uměle, v rámci hodnocení povodí IV. řádu není opodstatněné očekávat jeho významnější vliv na charakter odtokové odezvy a proto nebyl do klasifikace zařazen. U parametru průměrné nadmořské výšky NADMV (m n. m.) je předpoklad, že bude zohledněn při použití vhodných hyetogramů a také byl silněji korelován se třemi dalšími parametry, proto také nebyl do analýzy zahrnut. Dále byl z uvažovaných parametrů vyškrtnut průměrný sklon povodí pro značnou korelaci s hodnotami CN. Pro klasifikaci do charakteristických skupin povodí tedy bylo zvoleno pět výsledných parametrů:

- koeficient tvaru povodí α (-)
- hustota říční sítě HRS (km / km²)
- průměrné číslo odtokové křivky pro střední stav předchozího nasycení CN_II (-)
- specifická maximální délka odtokové dráhy Lmax.sp (m/km²)
- průměrná střední dráha plošného povrchového odtoku OFLen.m (m)

Samotná klasifikace povodí na základě vybraných parametrů byla provedena v prostředí ArcGIS nástrojem Grouping Analysis s využitím metody K-means. Nebyla zadána žádná omezení uvažující polohu povodí (No Spatial Constraints), tedy povodí ze stejné třídy spolu nemusí nutně sousedit a rozhodující pro přiřazení do třídy je pouze blízkost jejich parametrů. Postupně bylo testováno seskupování do 3 až 7 tříd. Pro každou třídu byly spočteny popisné statistiky v použitých parametrech. Průměrné hodnoty parametrů pro každou třídu pak byly

standardizovány vzhledem k průměru a odchylce celého souboru a vyneseny v podobě variogramu.

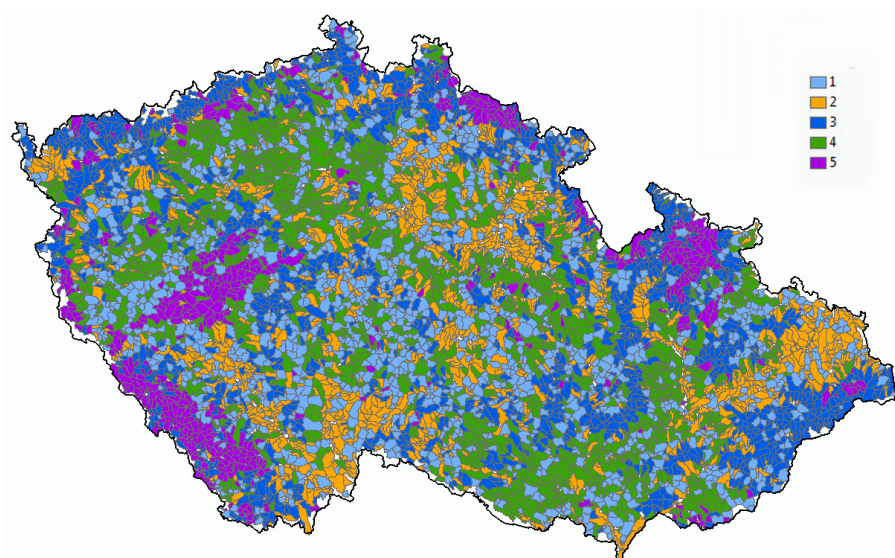


Obr. 26 Variogramy tříd povodí při rostoucím počtu 3–7 a finální výběr 5 tříd. Na ose Y násobky směrodatné odchylky. Pro přehlednost jsou barvy zachovávány tam kde jsou parametry shodné

Následuje komentovaný vývoj geneze jednotlivých tříd charakterizovaných variogramy na Obr. 26. Číslovány jsou podle příslušnosti do tříd v posledním dělení při počtu $N = 7$, jelikož číslování bylo při každém běhu nástroje náhodné a netvoří postupně rostoucí řadu.

Při klasifikaci povodí do 3 tříd se vyděluje výrazná třída TR4, které dominují povodí s velmi vysokou specifickou délkou nejdelší odtokové dráhy $L_{max.s}$. Tato třída je však poměrně málo početná a zbylé dvě TR2 a TR7 se liší zejména hodnotou CN. Při zvýšení počtu tříd na 4 se rozpadá třída TR7 a vzniká nová třída TR1, rozhodujícím kritériem se zde zdá být tvar povodí vyjádřený koeficientem Alfa. Při dalším zvýšení počtu tříd na 5 se dále rozpadá TR7 a vzniká nová třída TR5, výrazným rozlišovacím znakem je délka středních drah plošného odtoku $OFLen.mean$. Zvýšením počtu tříd na 6 se už tak relativně málo početná skupina TR4 rozpadá a vyděluje se z ní velmi malá třída TR3 s extrémními hodnotami hustoty říční sítě HRS a specifickou délkou nejdelší odtokové dráhy $L_{max.s}$. Čitelnost výstupů klasifikačního nástroje se zastavila při navýšení počtu tříd na 7, kdy poslední nová třída TR6 vzniká pravděpodobně vydělením z TR2. Tyto dvě třídy mají téměř shodné parametry až na inverzní vztah hustoty říční sítě HRS a průměrné střední dráhy plošného odtoku $OFLen.mean$.

Pro sedm vzniklých tříd byly vyčísleny četnosti jejich zastoupení. Kvůli malé četnosti (57 resp. 613 povodí z 7739) nebo velkému podílu nestandardních povodí (zpravidla mezipovodí nebo povodí odvodňovacích kanálů), která nebudou předmětem hydrologického modelování, bylo rozhodnuto vypustit z klasifikace třídy TR3 a TR4. Výsledný počet tříd se tedy ustálil na 5, které zastupují více jak 90% povodí IV. řádu. Třídy byly pro další řešení přečíslovány na souvislou řadu 1–5 se zachováním vzestupného pořadí z původní klasifikace (tedy TR1-2-5-6-7 → TR1-2-3-4-5). Zastoupení výsledných tříd povodí IV. řádu na území ČR je patrné na Obr. 27.



Obr. 27 Rozdělení povodí do tříd podle podobnosti charakteristik

Jednotlivé třídy reprezentují skupinu povodí s blízkými charakteristikami, podle nichž lze třídy popsat následovně:

- TR1 povodí vějířovitá s nejkratší dobou koncentrace, střední hustotou říční sítě a délkou drah povrchového odtoku. Využití území je smíšené, zastoupeny jsou lesy i k odtoku náchylnější pokryvy (např. zemědělská půda).
- TR2 protáhlá povodí s největší dobou koncentrace, vysokou hustotou říční sítě a nejkratšími dráhami povrchového odtoku. Ve využití území převažuje spíše zemědělská půda a zpevněné plochy.
- TR3 přechodný tvar povodí se střední dobou koncentrace, vyšší hustotou říční sítě a střední délkou drah povrchového odtoku. Převažuje lesní pokryv a další plochy generující méně odtoku.
- TR4 povodí obdobná jako v TR2 (protáhlá povodí s převahou zemědělské půdy či zpevněných ploch), avšak s nízkou hustotou říční sítě a díky tomu delšími dráhami povrchového odtoku.
- TR5 povodí obdobná jako v TR3 (přechodný až vějířovitý tvar povodí se střední dobou koncentrace a převahou lesního pokryvu), ale velmi dlouhé dráhy povrchového odtoku.

Pro každou třídu povodí byla určena poloha centroidu v parametrickém prostoru (Tab. 7) a variabilita parametrů uvnitř třídy. U každého povodí byla poté spočtena jeho standardizovaná odlehlost od centroidu jeho třídy. Seřazením povodí podle této odlehlosti bylo možné vyhledat vhodné kandidáty nejlépe reprezentující jednotlivé třídy.

Tab. 7 Absolutní průměrné hodnoty charakteristik jednotlivých tříd povodí

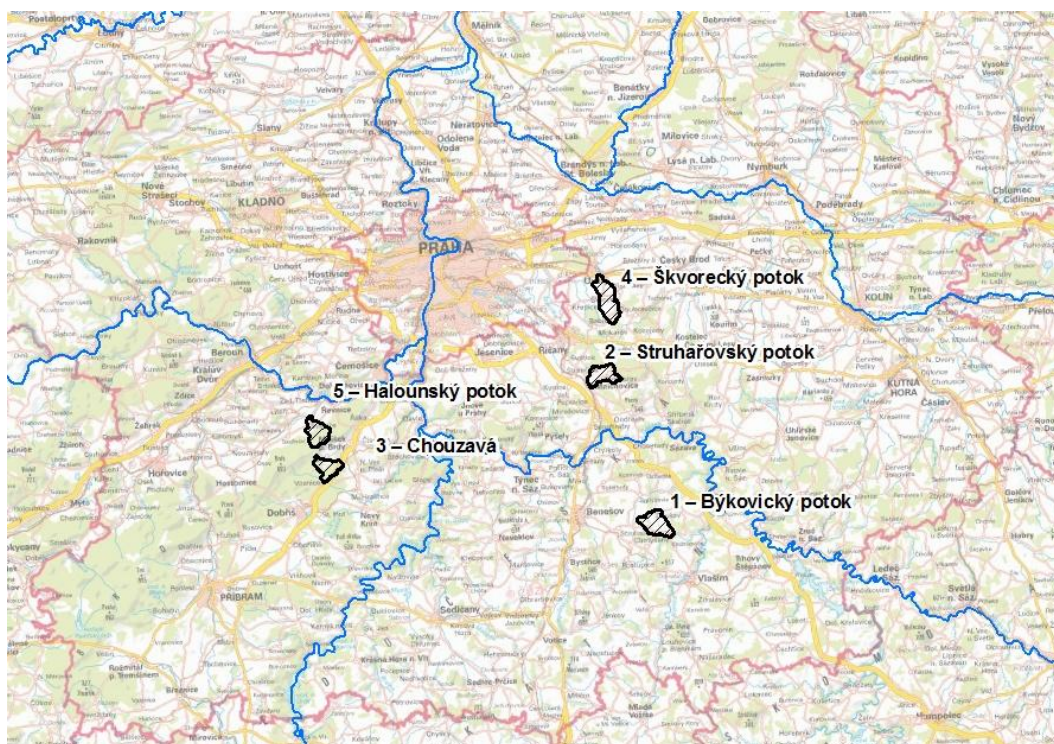
Třída	CN_II	Alfa	HRS	Lmax.sp	OFLen.m
1	70.7	0.486	1.32	747	120
2	74.7	0.271	1.69	935	100
3	57.7	0.322	1.59	867	118
4	74.4	0.264	0.983	839	136
5	59.7	0.370	1.45	801	208

Pro výběr reprezentativních povodí jednotlivých tříd nebyla uvažována průtočná povodí. Hlavním kritériem výběru byla reprezentativnost parametrů třídy ve smyslu odlehlosti od jejího centroidu. Při výběru byly zohledněny místně specifické podmínky (např. existence staveb výrazně ovlivňující odtokové poměry v povodí). Lokalizace povodí v rámci ČR není z hlediska objektivnosti výběru podstatná, byla však uvažována povodí v dobré dostupnosti od Prahy pro usnadnění případných terénních průzkumů. V posledním roce řešení se předpokládá ověření geograficky odlišných území v menším počtu srážkových scénářů

v souladu s jejich rozdělením v rámci ČR. Ve třídách 2, 4 a 5 spadají vybraná reprezentativní povodí mezi 30 centroidu třídy nejbližších povodí, pro třídu 3 bylo zvoleno povodí o něco méně vystihující svoji třídu (64. z 984 prvků) kvůli své geografické blízkosti k ostatním charakteristickým povodím. Zvolený zástupce třídy 1 bylo zvoleno povodí Býkovického potoka, které není sice zcela charakteristickým zástupcem své třídy z hlediska průměrnosti parametrů. 330. pozice v odlehlosti od centra třídy z 804 uvažovaných neprůtočných povodí jej řadí do zhruba třetiny. Při výběru převládla skutečnost, že jsou na tomto povodí prováděna dlouhodobá měření a experimenty na elementárních plochách a je zde možné provádět případnou verifikaci modelů s využitím naměřených srážek a odtoků. Reprezentativní povodí a hodnoty jejich klasifikačních charakteristik shrnuje tabulka Tab. 8 a jejich polohu na výřezu z mapy ČR (Obr. 28).

Tab. 8 Charakteristická povodí a hodnoty jejich charakteristik použitých při klasifikaci

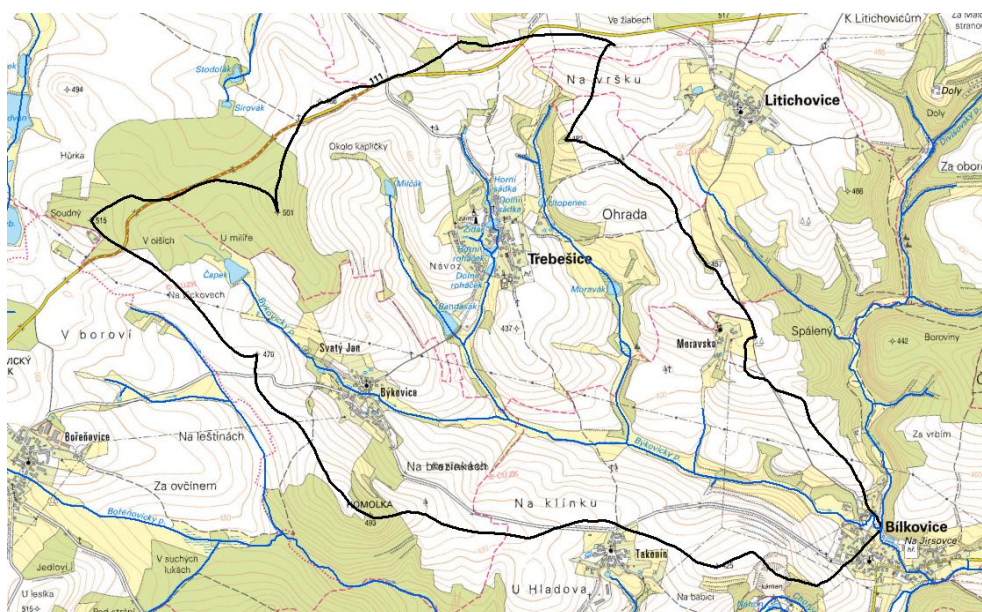
Třída	Název toku	Číslo hydr. pořadí	Plocha (km ²)	CN_II	Alfa	HRS	Lmax.sp	OFLen.m
1	Býkovický p.	1-09-03-0890	7.75	76.4	0.387	1.35	723	104
2	Struhařov. p.	1-09-03-1250	5.79	72.7	0.329	1.57	903	103
3	Chouzavá	1-08-05-1060	4.86	55.8	0.385	1.23	893	113
4	Škvorecký p.	1-04-07-0530	9.36	77.4	0.229	1.01	884	130
5	Halounský p.	1-11-05-0340	6.09	58.5	0.428	1.43	978	189



Obr. 28 Poloha vybraných charakteristických povodí. Podklad: WMS - ZM (ČÚZK)

4.5.1. Povodí Býkovického potoka

Povodí bylo vybráno jako charakteristické pro třídu 1. Pro ni jsou typická vějířovitá povodí se střední hustotou říční sítě a smíšeným půdním pokryvem.

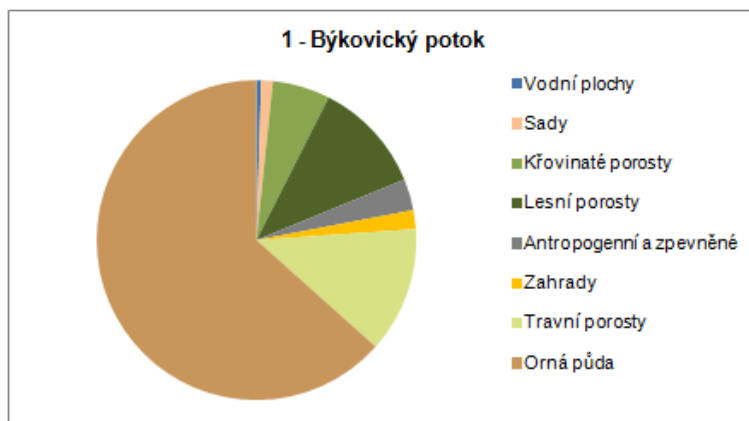


Obr. 29 Povodí Býkovického potoka

Povodí se nachází cca 10 km východně od Benešova. Je situováno v oblasti mírně zvlněné pahorkatiny s nadmořskými výškami 370 až 510 m n. m. Průměrné úhrny ročních srážek v povodí dle Atlasu podnebí ČR (Tolasz, R. et al., 2007) dosahují 600 až 700 mm, průměrná roční teplota je 7 až 8°C. Povodí Býkovického potoka je od roku 2009 využíváno pro potřeby dlouhodobého výzkumu srážko-odtokových a erozních procesů.

Charakteristiky povodí:

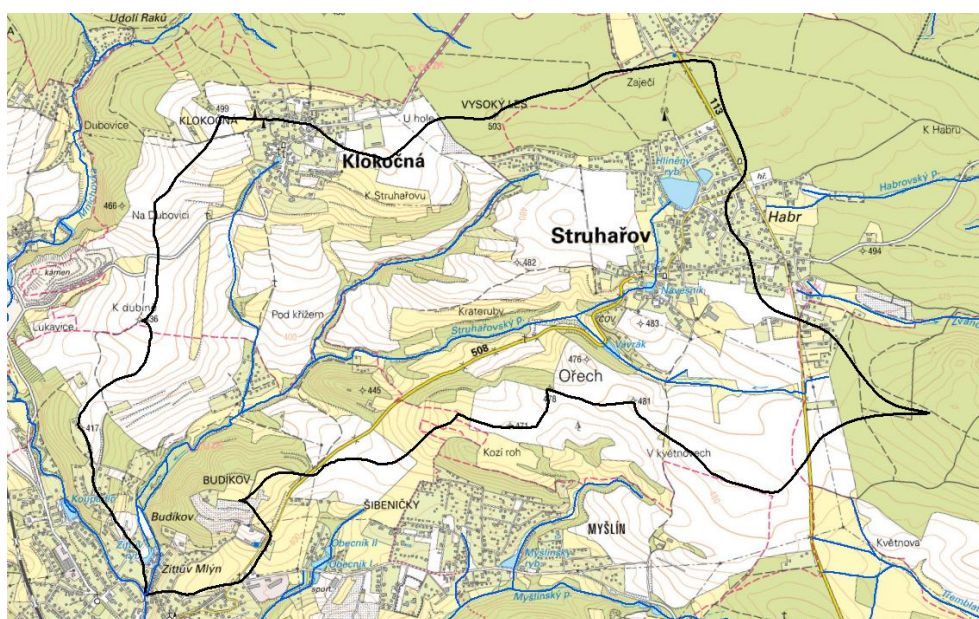
- Katastrální území: Třebešice u Divišova, Býkovice u Bořeňovic a Bílkovice
- Klimatická oblast: mírně teplá (Klimatické oblasti ČR (1901-2000))
- Typy krajiny: Krajiny vrchovin Hercynia, lesozemědělská krajina (CENIA - typologie krajiny)
- Nadmořská výška: 344–515 m n. m.
- Průměrný sklon povodí: 10.6 %
- Klasifikace půd: Kambizem kyselá, svahoviny kyselých žul a blízkých hornin lehké KAa17 (Půdní mapa ČR 1:250 000 - klasifikace dle TKSP a WRB.)
- Půdy dle zrnitosti: písčité hlína 54 %, hlinitý písek 14 %, písek 10 %, hlína 8 %



Obr. 30 Zastoupení ploch povodí Býkovického potoka

4.5.2. Povodí Struhařovského potoka

Povodí bylo vybráno jako charakteristické pro třídu 2. Pro ni jsou typická protáhlá povodí s vysokou hustotou říční sítě, jako půdní pokryv převládají povrchy s nižší retencí (zemědělská půda, antropogenní plochy).



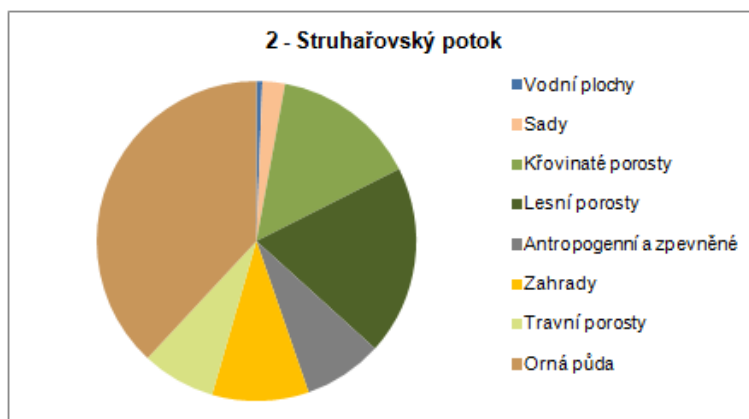
Obr. 31 Povodí Struhařovského potoka

Povodí Struhařovského potoka je protáhlé od západu k východu a nachází se severně od obce Mnichovice. Závěrový profil povodí je v jeho jihozápadním cípu nad obcí Mnichovice.

Charakteristiky povodí:

- Katastrální území: Mnichovice u Říčan, Struhařov u Mnichovic, Klokočná
- Klimatická oblast: mírně teplá
- Typy krajiny: Krajiny vrchovin Hercynia, lesozemědělská krajina
- Nadmořská výška: 347–515 m n. m.
- Průměrný sklon povodí: 11.0 %

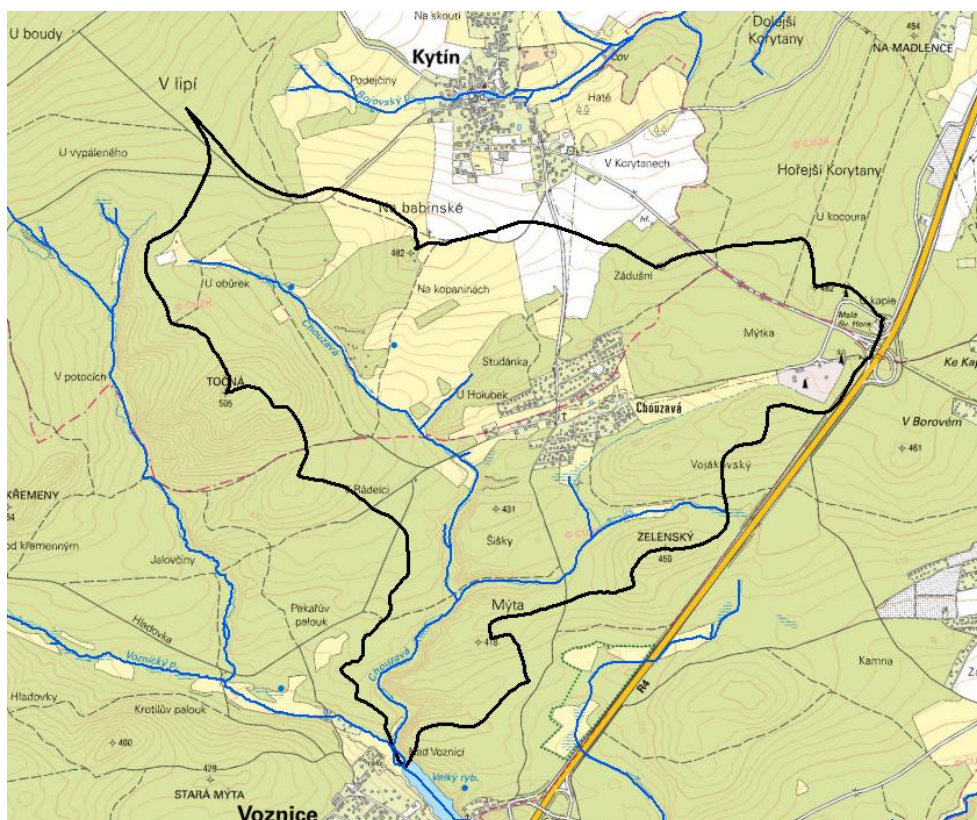
- Klasifikace půd: většina území Kambizem modální, svahoviny kyselých žul a blízkých hornin lehké KAm17
- Půdy dle zrnitosti: hlinitá půda 34 %, písčitohlinitá 34 %, hlinitopísčité 29 %



Obr. 32 Zastoupení ploch povodí Struhařovského potoka

4.5.3. Povodí Chouzavé

Povodí bylo vybráno jako charakteristické pro třídu 3. Pro ni je typický přechodný tvar povodí s pokryvem s vysokou retencí.



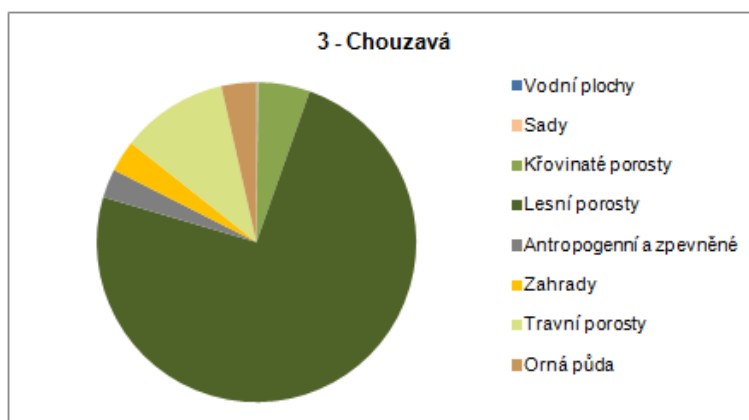
Obr. 33 Povodí Chouzavé

Povodí toku Chouzavá jihozápadně od Mníšku pod Brdy má trojúhelníkovitý tvar se závěrovým profilem v jižním cípu nad vtokem do Velkého rybníka, který je dotován také

vodou z Voznického potoka, který přitéká ze západu. Jedinou souvislejší zástavbou v povodí je obec Chouzavá situovaná uprostřed zájmového území.

Charakteristiky povodí:

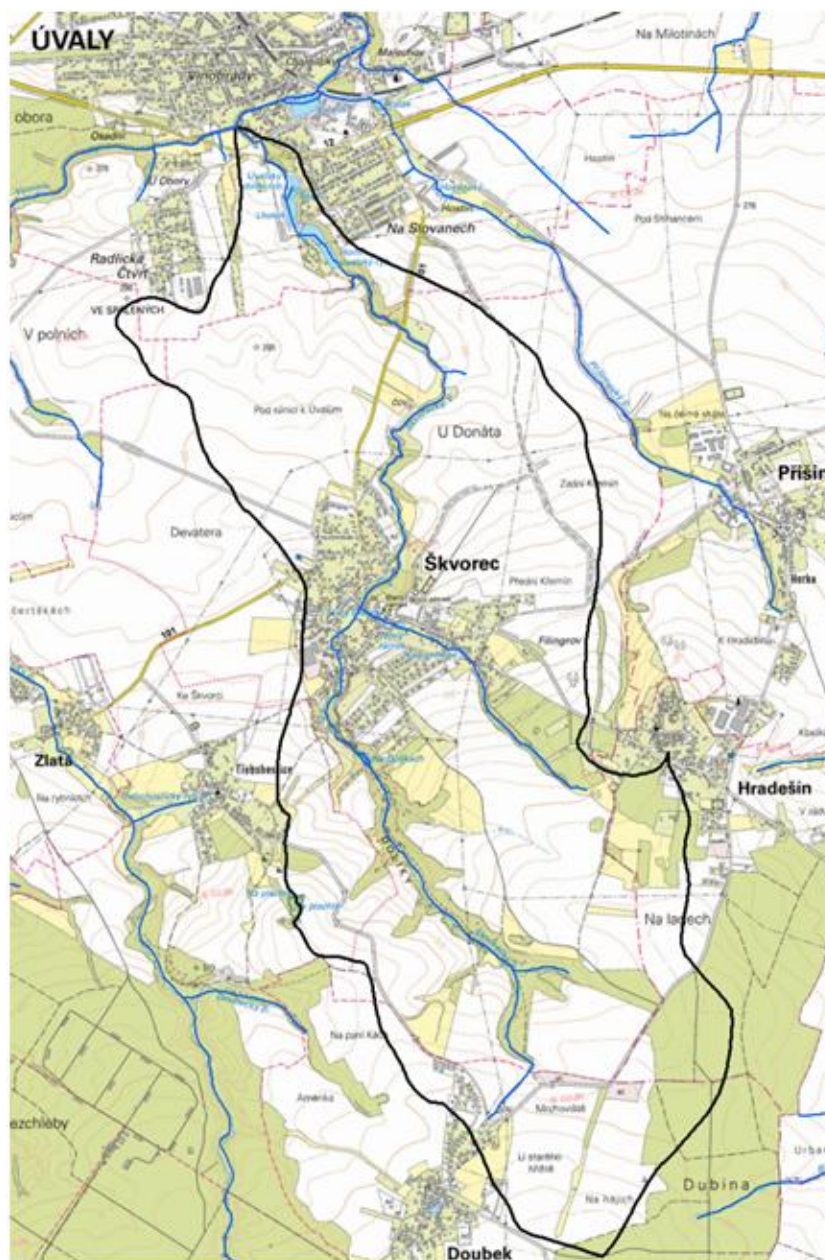
- Katastrální území: Kytín, Voznice, Mníšek pod Brdy
- Klimatická oblast: mírně teplá
- Typy krajiny: Krajiny vrchovin Hercynia, Lesní krajina, lesozemědělská krajina
- Nadmořská výška: 360–504 m n. m.
- Průměrný sklon povodí: 8.6 %
- Klasifikace půd:
 - severní část - Kambizem kyselá, svahoviny sedimentárních hornin střední KAa30
 - jižní část - Kambizem modální, svahoviny sedimentárních hornin střední KAm30
- Půdy dle zrnitosti: hlinitá půda 91 %, písčitohlinitá 8 %



Obr. 34 Zastoupení ploch povodí Chouzavé

4.5.4. Povodí Škvoreckého potoka

Povodí bylo vybráno jako charakteristické pro třídu 4. Pro ni je typický protáhlý tvar povodí s nízkou hustotou říční sítě a dlouhými drahami odtoku. Převažují povrchy s nízkou retencí.



Obr. 35 Povodí Škvoreckého potoka

Jedná se o povodí protáhlého tvaru o rozloze 9,356 km², které se nachází ve Středočeském kraji, zhruba 23 km východně od centra Prahy.

Charakteristiky povodí:

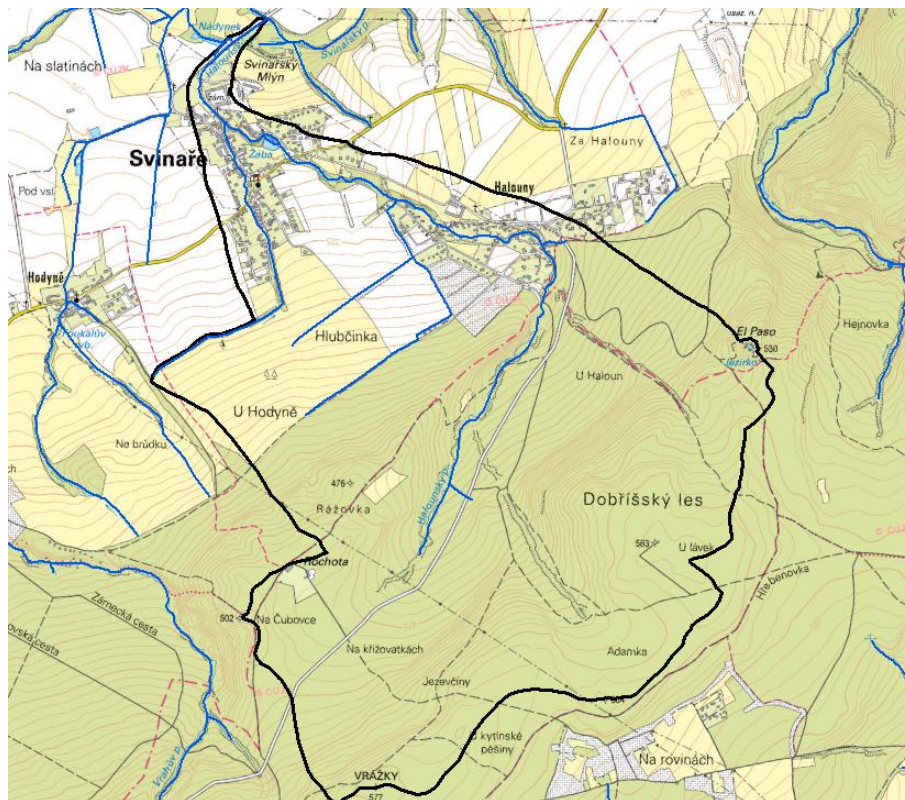
- Katastrální území: Škvorec, Doubek, Úvaly u Prahy, (Hradešín, Třebohostice u Škvorce, Dobročovice)
- Klimatická oblast: teplá
- Typy krajiny: jih Krajiny vrchovin Hercynia, lesozemědělská krajina, sever - Krajiny plošin a pahorkatin, zemědělská krajina
- Nadmořská výška: 249–420 m n. m.
- Průměrný sklon povodí: 5.7 %
- Klasifikace půd:
 - sever Hnědozem modální, spraše HNm05
 - severozápad SEm05 šedozem modální, spraše
 - střed KAm17 Kambizem modální, svahoviny kyselých žul a blízkých hornin lehké
 - jih LUg6 a LUm6 Luvizem oglejená a Luvizem modální, prachovice
- Půdy dle zrnitosti: hlinitá půda 75 %, písčitohlinitá 24 %



Obr. 36 Zastoupení ploch povodí Škvoreckého potoka

4.5.5. Povodí Halounského potoka

Povodí bylo vybráno jako charakteristické pro třídu 5. Pro ni je typický přechodný až vějířovitý tvar povodí a velmi dlouhé dráhy odtoku, z hlediska půdního pokryvu převažují povrchy s vysokou retencí.



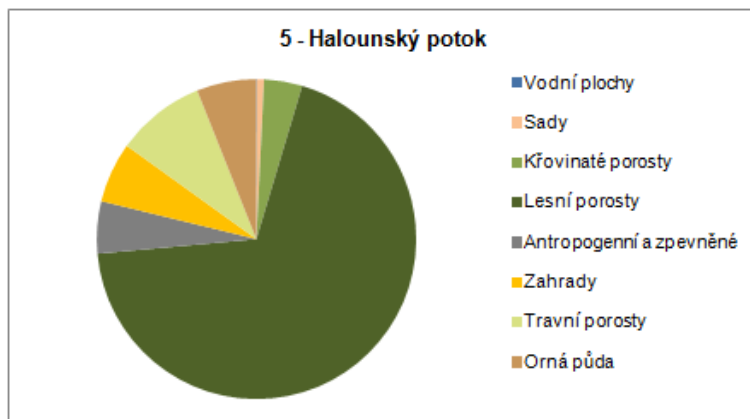
Obr. 37 Povodí Halounského potoka

Povodí Halounského potoka se nachází západně od obce Mníšek pod Brdy. Závěrový profil je na severním konci mírně protáhlého povodí za obcí Svinaře.

Charakteristiky povodí:

- Katastrální území: Dobříš, Svinaře, Řevnice, (Hodyně u Skuhrova)
- Klimatická oblast: teplá
- Typy krajiny:
 - střed - Krajiny výrazných svahů a skalnatých horsk. hřbetů, dále Krajiny vrchovin Hercynia, převážně lesní krajiny
 - sever - Krajiny plošin a pahorkatin, lesozemědělské a zemědělské krajiny
- Nadmořská výška: 245–578 m n. m.
- Průměrný sklon povodí: 12.8 %
- Klasifikace půd:
 - východní č. - Kambizem modální, svahoviny sedimentárních hornin střední KAm30

- západní č. - Pseudoglej modální, polygenetické hlíny, glaciální uloženiny PGM07
- Půdy dle zrnitosti: hlinitá půda 89 %, písčitohlinitá 11 %



Obr. 38 Zastoupení ploch povodí Halounského potoka

4.6.A1606 Identifikace typických vodohospodářských staveb s variantním určením jednotlivých dimenzí pro potřeby citlivostní analýzy (návaznost na cíl C7)

Identifikace typických vodohospodářských staveb byla zahájena v tomto roce a v roce 2017 bude činnost pokračovat v navazující aktivitě. Započaté práce se týkají vytvoření seznamu typických vodohospodářských staveb. Dále byly započaty práce na listech opatření pro jednotlivé vodohospodářské stavby, kdy byl vytvořen pilotní list pro suchou nádrž.

Stavby na ochranu proti přívalovým povodním (SOPP) mají charakter technických protierozních opatření, která zachycují povrchově odtékající vody a převádí co největší část povrchového odtoku na vsak do půdního profilu se současným snížením rychlosti odtékající vody. Vzhledem k charakteru řešené problematiky je výčet opatření zúžen na ta opatření, jejichž dimenzování je přímo ovlivněno hodnotou návrhové srážky a jejího průběhu. Výčet prvků také neobsahuje úpravy samotného vodního toku (revitalizační úpravy, stupně ve dně, prvky zajišťující stabilitu dna atp.).

Seznam řešených opatření:

- Malá vodní nádrž
- Suchá nádrž
- Protierozní sedimentační nádrž
- Ochranná hrázka
- Retenční příkop
- Odváděcí příkop
- Retenční průleh
- Odváděcí průleh
- Propustek
- Mostek

4.6.1. Malá vodní nádrž

Malé vodní nádrže můžeme podle funkce dělit na zásobní nádrže (vodárenské, průmyslové, závlahové, energetické, kompenzační retardační odvodňovací, aktivační), ochranné - retenční (suché ochranné, protierozní, dešťové, vsakovací, nárazové, upravující vlastnosti vody (chladicí, předešřívající, usazovací, biologické), rybochovné, hospodářské, speciální účelové (recirkulační, vyrovnávací, přečerpávací, rozdělovací), asanační, rekreační a krajinnotvorné nádrže a nádrže v obytné zástavbě. Návrh malé vodní nádrže se řídí požadavky ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže. Při návrhu funkčních zařízení a objektů, tj.

přelivů, výpustí a odběrů, se použijí řešení a konstrukce, které v daných podmínkách (morfologických, geologických, klimatických apod.) a při daném způsobu a možnostech výstavby zaručí bezpečnost vodního díla, spolehlivý provoz, snadnou obsluhu a údržbu.

Funkční objekty se dělí na:

- přelivy používané k neškodnému převádění velkých vod;
- výpustná zařízení;
- odběrná zařízení umožňující regulovatelný a neregulovatelný odběr vody z nádrže;
- sdružené funkční objekty plnící funkci výpustných, odběrných a bezpečnostních zařízení;
- speciální objekty.

4.6.2. Suchá nádrž

Primárním účelem suché nádrže je zadržování vody při povodni a tím zmenšování vybraných N-letých průtoků. Návrh objemu suché nádrže a parametrů výpusti a bezpečnostního přelivu se provádí podle ČSN 75 2405 Vodohospodářská řešení vodních nádrží, posouzení bezpečnosti hráze při povodních podle TNV 75 2935 Posuzování bezpečnosti vodních děl při povodních. Velikost ochranného prostoru suché nádrže vyplývá zejména z morfologie území a může být limitována zástavbou, popřípadě liniovými stavbami a sítěmi technického vybavení, které nelze v rámci výstavby rušit nebo překládat. Využitelný ochranný prostor se potom posoudí z hlediska požadavků na ochranu území na toku pod nádrží a na všech dalších úsecích toku, pro něž se s ochranným účinkem nádrže uvažuje. Z hlediska prostorového uspořádání může být nádrž průtočná nebo boční.

Suchá nádrž musí být vybavena spodní výpustí, která provádí běžné průtoky (pokud je nádrž na vodním toku), umožňuje napouštění i vypouštění nádrže a při průchodu povodně převádí nejvýše neškodný odtok až do dosažení kóty hrany bezpečnostního přelivu.

Hráze se navrhují převážně jako sypané z místních materiálů, pro zemníky k získání násypových materiálů lze s výhodou využít prostor zátopy, pokud tím nebude ohrožena filtrační stabilita podloží hráze. Vysazování dřevin na hrázi a v okolí objektů není dovoleno. Dalším významným efektem suché nádrže je zachycení části (zejména hrubších) splavenin v případě extrémních srážkových a erozních událostí v povodí nad nádrží.

Prostor zátopy se obvykle zemědělsky nebo lesnický využívá. Doporučuje se vytvoření trvalého vzdušného hladiny v nádrži (stálého nadržení) s nevýznamným objemem z důvodu

udržení trvalého vodního režimu v základové spáře hráze a jejích objektů. Vodní plocha stálého nadržení tvoří lokální biocentrum (umělý mokřad), aniž by významně ovlivnila celkový objem nádrže.

4.6.3. Protierozní sedimentační nádrž

Protierozní sedimentační nádrž slouží k zachycení sedimentu z plochy povodí a může být navržena jako předzdrž suché vodní nádrže. Musí být vybavena objekty, které umožní čištění prostoru nádrže po povodni, především zpevněným příjezdem a sjezdem, a manipulační plochou.

4.6.4. Ochranná hrázka

Prostá zemní hrázka umožní zachycení povrchového odtoku a jeho případné odvedení mimo chráněnou lokalitu. Hrázka může být kombinována se záchytným příkopem nebo průlehem.

Hrázka je zřizována z vhodných místních zemin, pro dosažení předepsaného stupně zhutnění se doporučuje šířka v koruně min. 2 m, zejména při výšce nad 1 m. Sklony svahů 1: 1,5 až 1: 2, povrch hrázky je zatravněn.

Prostorově je orientována v mírném odklonu od vrstevnice. Případná bezodtoká místa je nutné řešit propustkem, zaústěným do svodného příkopu nebo průlehu, případně do zatravněné údolnice. Koruna hrázky sleduje sklon terénu, je nutno se vyvarovat sníženin, ve kterých by mohlo dojít k soustředěnému přelítí vody.

4.6.5. Retenční příkop

Smyslem retenčního příkopu je zachycení povrchového odtoku a jeho převedení na infiltraci. Tyto prvky se dimenzují na celkový objem odtoku ze srážky ze zdrojové plochy, jsou tedy vrstevnicově orientovány.

Z hlediska umístění mohou být členěny na příkopy záchytné nebo sběrné. Záchytný příkop chrání pozemek před přítokem vnějších vod. Přítom za vnější plochu může být uvažován nejen les nebo jiná nezemědělská plocha, ale i sousední zemědělský pozemek.

Sběrný příkop je liniový prvek, umístěný na pozemku v místě nutného přerušení svahu. Může být kombinován s dalšími liniovými prvky v krajině (mezí, cestou, pásovým obděláváním, biokoridorem, apod.).

Tento typ opatření je poměrně rizikový co do dimenzování, protože při překročení kapacity hrozí přelití a soustředění odtoku. Navíc hydraulická vodivost půdy se v čase mění jednak díky vývoji vegetace, ale i díky usazeným splaveninám. Proto se doporučuje, aby měl retenční příkop vždy řešenou možnost odvodu zachycené vody povrchově mírným podélným sklonem a jako vsakovací byl navrhován jen ve výjimečných případech a v příznivých půdních podmínkách.

4.6.6. Odváděcí příkop

Jedná se o prvek, který zachycuje povrchový odtok a odvádí ho bezeškodným způsobem mimo řešenou plochu. Odváděcí příkop má menší příčný profil a dimenzuje se na kulminační průtok vyvolaný návrhovou srážkou ze zdrojové plochy pozemku. Příčný profil se navrhuje podle požadované kapacity a jeho velikost tak závisí mimo jiné na podélném sklonu. U odváděcích prvků je třeba vždy posoudit jejich stabilitu při návrhovém průtoku a podle toho pak případně navrhnout opevnění dna a svahů. K opevnění se nejčastěji používají betonové desky, zatravnovací dlaždice nebo žlabovky.

Odváděcí příkop může být lokalizován přímo v rámci řešeného pozemku s cílem přerušení dráhy povrchového odtoku, potom je na pozemku vrstevnicově orientován s mírným podélným sklonem a jedná se o příkop sběrný. Dále může fungovat jako příkop svodný, který je recipientem odváděcích prvků záchytných i sběrných a jeho cílem je bezeškodní odvedení zachyceného odtoku do recipientu nebo jiného místa, kam je možno prvek bezproblémově vyústit. Svodný příkop je většinou veden v údolnici nebo po hranicích pozemků.

4.6.7. Retenční a odváděcí průleh

Protierozní průleh je svou funkcí velmi blízký protieroznímu příkopu. Hlavní odlišnost spočívá ve tvaru příčného profilu, hloubce průlehu (bývá mělčí) a sklonu jeho svahů, který by neměl překročit 1 : 5. Zpravidla se sklon svahů navrhuje mírnější (např. 1 : 10) tak, aby objekt byl přejezdný, případně i obdělávatelný. Díky požadavku na sklon svahů je průleh aplikovatelný na mírnějších pozemcích o sklonu do 10 %. Příčný profil je nejčastěji trojúhelníkový nebo lichoběžníkový.

Příčný profil průlehu je nejčastěji zatravněný a je posuzována jednak jeho kapacita a jednak stabilita (nevymílací rychlosti).

4.6.8. Propustek

Propustek slouží k odvedení vody přes násyp zemního tělesa (cesty, silnice, železnice). Nejčastěji se používají propustky trubní, a to do průměru 2 m – při větším profilu se jedná o mostky. Potřebný profil musí vycházet z hydraulického výpočtu, neměl by ale být menší s ohledem na údržbu a čištění než 0,6 m.

4.6.9. Mostek

Mostek má obdobnou funkci jako propustek, jeho světlost je ale větší než 2 m. Výchozím podkladem pro návrh mostu je hladina při návrhovém průtoku, nad níž musí být zachována volná výška min. 0,5 m.

Vzorový list opatření - Suchá nádrž

Dále je uveden vzorový list opatření. Obdobné listy budou vypracovány pro všechny výše uvedené stavby v navazující aktivitě v roce 2017.

Název opatření	Suchá nádrž
ID opatření	SOPP_02
Aktivita	A1606
Dílčí cíl	C007

1. Účel opatření

- ochrana zastavěného území zadržením vody při přívalových srážkách
- zachycení transportovaných splavenin
- zvýšení retence území

2. Popis opatření

Primárním účelem suché nádrže je zachycení objemu povodňové vlny při přívalových srážkách a snížení průtoku na tzv. neškodný odtok, stanovený na základě posouzení kritických míst v zastavěném území, které má nádrž chránit.

Dalším významným efektem suché nádrže je zachycení části (zejména hrubších) splavenin v případě extrémních srážkových a erozních událostí v povodí nad nádrží.

Suchá nádrž může mít i malý objem stálého nadržení – tato vodní plocha tvoří lokální biocentrum (umělý mokřad), aniž by významně ovlivnila celkový objem nádrže.

Z hlediska prostorového uspořádání může být nádrž průtočná nebo boční.

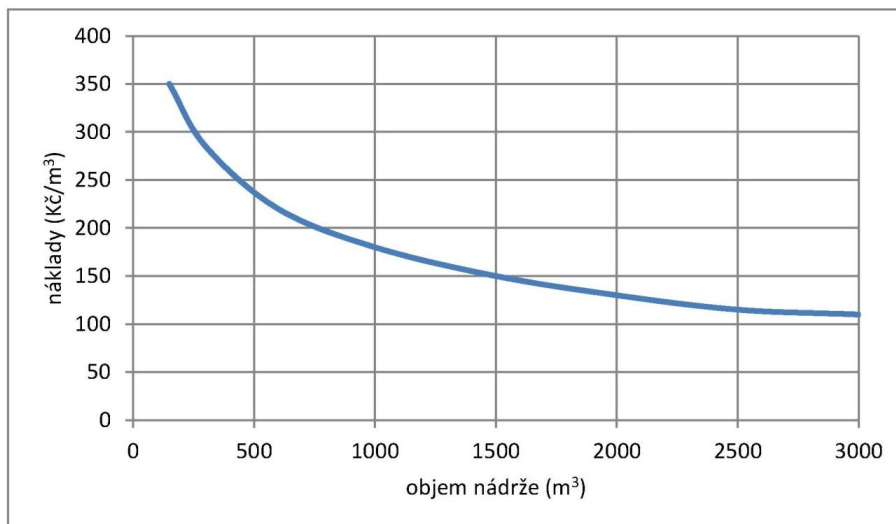
3. Dimenzování

Potřebný retenční objem nádrže se stanoví z objemu povodňové vlny při srážce s pravděpodobností opakování 0,01 a výpočtu transformace této povodňové vlny nádrží. Pokud není potřebný objem nádrže vzhledem k morfologii území nebo limitujícím stavbám a sítím technického vybavení k dispozici, zvyšuje se hodnota odtoku u nádrže nad neškodný průtok a tím efektivita opatření klesá.

Nádrž musí být vybavena výpustnými zařízeními podle TNV 75 2415 Suché nádrže a bezpečnost hráze musí být prokázána v souladu s Metodickým pokynem MŽP k posuzování bezpečnosti přehrad za povodní.

4. Náklady

Náklady na suché vodní nádrže lze velmi orientačně vztáhnout k jejich objemu podle následujícího grafu. K větším odchylkám může dojít v případě nepříznivé morfologie terénu nebo méně vhodných geologických podmínek.



5. Hodnocení efektivnosti

6. Podmínky realizace, možné střety

Realizace vyžaduje trvalý zábor zemědělské půdy pro vlastní hráz, objekty a případný prostor stálého nadržení. Plocha zátopy může být v období běžných průtoků zemědělsky využívána.

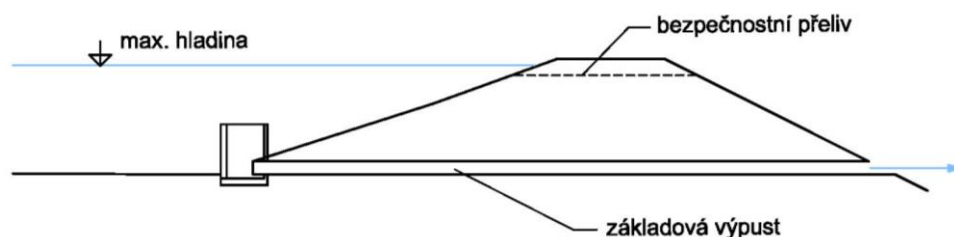
V rámci přípravy stavby je třeba řešit možné střety s komunikacemi a sítěmi technického vybavení území, případně i se zájmy ochrany přírody.

7. Nároky na provoz a údržbu

Provoz suchých nádrží je zpravidla bezobslužný, manipulace jsou potřebné pouze u bočních nádrží při jejich napouštění a vypouštění. V průběhu provozu nádrže jsou nutné pravidelné vizuální kontroly objektů díla, případně ověřování funkčnosti jednotlivých zařízení. Travní porost na svazích a koruně hráze musí být pravidelně udržován a sečen.

9. Grafická část

Vzorový příčný řez



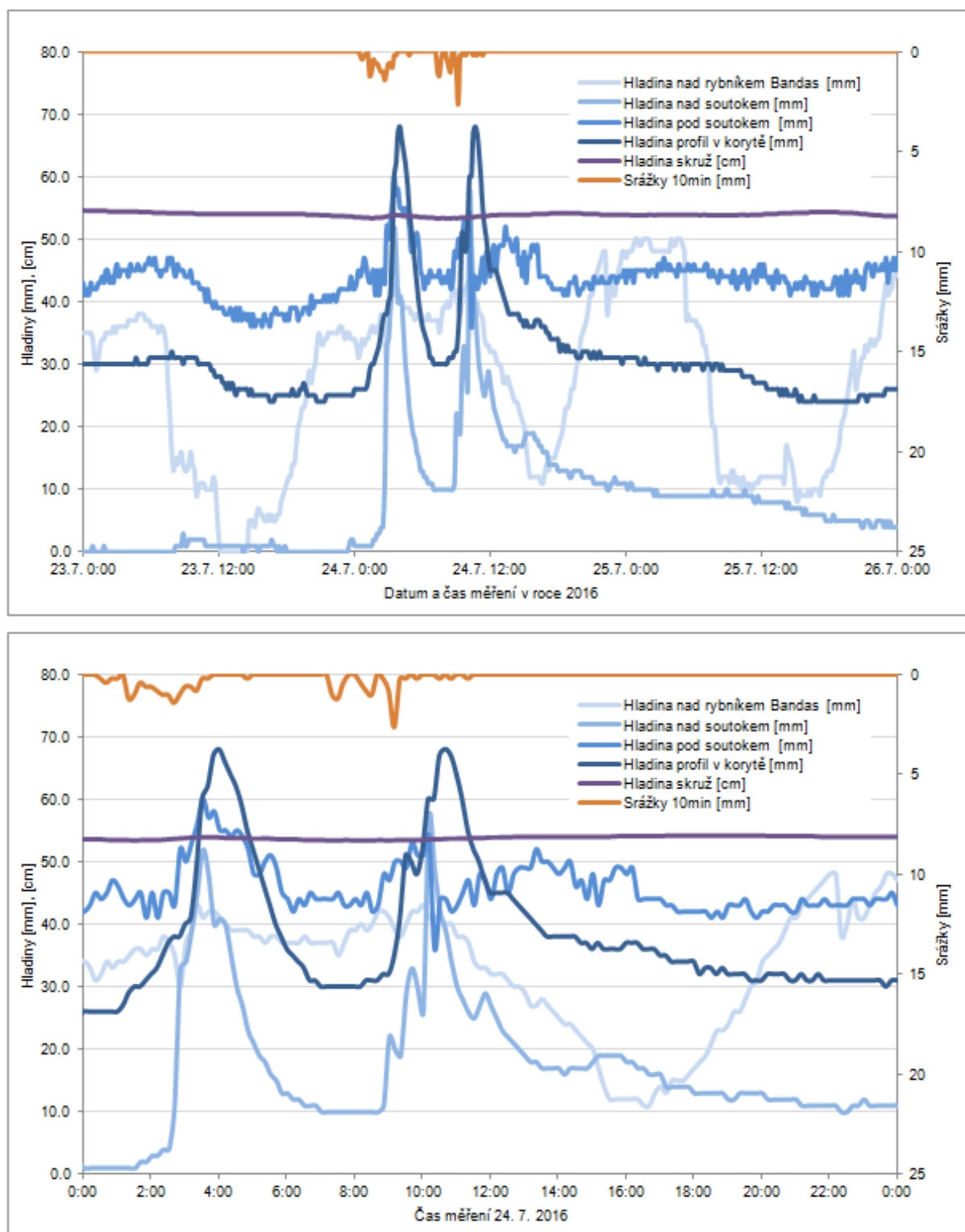
4.7.A1607 Měření v terénu (návaznost na cíl C8)

Aktivita měření ve terénu měla v roce 2016 dvě základní části. V první řadě se jednalo o udržování a rozvoj dlouhodobého monitoringu v experimentálním povodí Býkovice. Druhou část tvořily ověřovací experimenty s mobilním dešťovým simulátorem.

Plánované dovybavení experimentálního povodí Býkovického potoka v roce 2016 bylo narušeno krádeží a zničením instalovaných měření. Část zařízení byla zcela odcizena nebo poškozena. Především se jednalo o autonomní tlaková čidla, srážkoměr a nově instalovanou kameru. Bylo podáno trestní oznámení a v současné době je vedeno trestní stíhání. Základní hydrologická data - hladiny ve sledovaných profilech a srážková data jsou kontinuálně měřena dál. Přerušena byla měření povrchových procesů a infiltrace, resp. plánovaný rozvoj měření byl nahrazen obnovením stávajícího měření.

Byla dokončena instrumentace měření v prostoru údolnice. V tomto profilu byly na podzim 2016 zaznamenány dvě významné srážkové události, které nastaly v období po zasetí. Došlo k tvorbě povrchového odtoku spojeného s odnosem sedimentu do prostoru měření v údolnici. Ukázalo se, že měřicí zařízení má nedostatečnou kapacitu, resp. množství sedimentu způsobuje zanášení zařízení. Opatření pro zkvalitnění tohoto měření je plánováno na rok 2017.

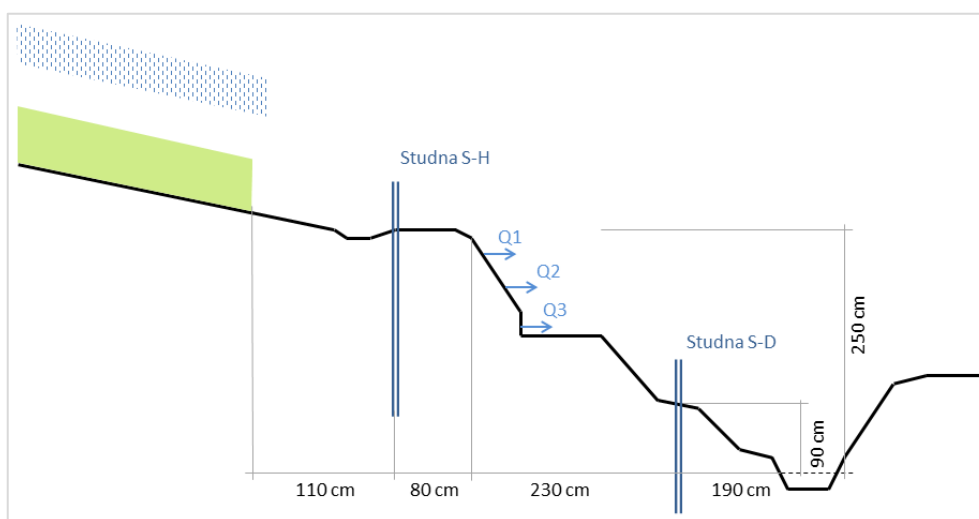
Sledování hydrologických veličin má svoje opodstatnění pro verifikaci modelů v různých měřících. Ukázkou může být záznam jedné epizody na Obr. 39. Ta svým charakterem patří mezi dvě po sobě jdoucí události. I když se jedná o relativně méně významnou událost, je patrné, že formování odtoku je závislé na tvaru příčné srážky a není na celém povodí homogenní. Sledovaná hladina podzemní vody umístěná v blízkosti drenážního systému pak ukazuje, že dopad na hladinu podzemní vody nebyl významný.



Obr. 39 Příklad výstupu měření hladin a srážek na povodí Býkovice se srážkou dne 24. 7. 2016. Zaznamenaný úhrn za událost je 22 mm, délka trvání události se dvěma vrcholy celkem cca 12 hodin. Z grafu je patrné, že odtok ze sledovaného území je generován především v jedné větvi řešeného povodí (profil Hladina nad soutokem). Vybraná událost byla zvolena jako případ dvou po sobě jdoucích srážek, což je stav blízký se jednému z odvozených tvarů srážek (t3).

Experimentální měření pomocí mobilního dešťového simulátoru se v rámci tohoto projektu soustředilo také na lokalitu Býkovice, kde byla provedena měření na plochách s vegetací a na úhoru. Kromě povrchových procesů jsou na této lokalitě sledovány i procesy proudění v půdním profilu. Opakované testy ukazují na poměrně dynamický odtok na rozhraní orné půdy a podorničí, kdy je podpovrchový odtok formován vždy dříve než povrchový (Strouhal, L., D. Zumr a P. Kavka, 2016).

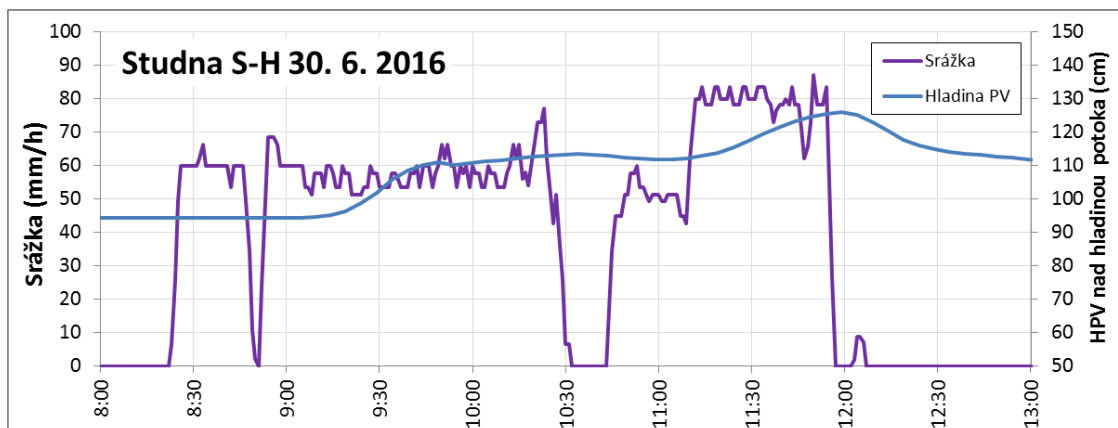
Kromě tří kampaní s dešťovým simulátorem zaměřených na měření charakteristik povrchového a podpovrchového odtoku a erozního smyvu na stabilních experimentálních plochách byl v roce 2016 proveden pilotní experiment zaměřený na průzkum konektivity odtokových drah na terénní hraně. Uspořádání experimentu je znázorněno na Obr. 40. Dešťový simulátor byl umístěn 2 m nad terénní hranou svažující se k potoku. Půdní povrch za hranou byl odkryt a vybaven třemi sběrnými plechy pro zachycení vody exfiltrující z půdní matrice. Ve dvou místech byly zřízeny dočasné vrty s monitoringem hladiny podzemní vody. Experiment byl navržen s dlouho trvajícím srážkou nízké intenzity pod úrovní infiltrační kapacity. Experiment byl spuštěn večer prvního dne dvoudenní experimentální kampaně na 1,5 hodiny a pokračoval druhý den po dobu 3,5 hodiny.



Obr. 40 Uspořádání experimentu na průzkum konektivity odtokových drah na terénní hraně

Za celou dobu simulace na terénní hraně nebyla na očekávané výronové ploše zaznamenána žádná viditelná exfiltrace. Jediným měřitelným projevem simulovaného deště byl pohyb hladiny podzemní vody v horním vrtu. Záznam dolního čidla nebyl použitelný kvůli chybné instalaci. HPV v horním vrtu reagovala na srážku aplikovanou první den pouze v řádu několika milimetrů. Graf na Obr. 41 ukazuje vývoj HPV vztážené k hladině potoka pod experimentálním stanovištěm spolu s průběhem intenzity simulovaného deště v druhém dni

měření. Zřetelná je poměrně rychlá reakce hladiny na přerušení simulace i na dočasné zvýšení intenzity deště. Celkový nárůst hladiny v druhém dni simulace dosáhl téměř 32 cm, celkový úhrn simulovaného deště v druhém dni přitom činil značných 200 mm na ploše přibližně 20 m². I přes na místní poměry nereálný úhrn simulované srážky nebyl zaznamenán významnější povrchový odtok. Tento experiment proto poukázal na vysokou konektivitu povrchu a hlubokých půdních horizontů pravděpodobně vlivem významných preferenčních drah. To představuje velký potenciál pro další výzkum a naznačuje vhodné směřování experimentů v této lokalitě.



Obr. 41 Průběh HPV a intenzity simulované srážky v druhém dni experimentu na terénní hraně

5. Plánované aktivity na 2017

Pro druhý rok řešení projektu je plánováno osm aktivit, které se vztahují k dílčím cílům celého projektu. Dílčí cíle projektu na rok 2017 shrnuje Tab. 1. Cíl C003 byl dokončen v roce 2016.

V souladu s návrhem projektu budou aktivity rozděleny po jednotlivých pracovištích podílejících se na řešení. Protože se jedná o třetí – poslední rok řešení, budou aktivity směřovat k finalizaci a uzavření projektu. V roce 2017 je naplánována také většina výstupů z projektu. Především se bude jednat o sepsání metodiky k využití návrhových srážek a o software v podobě webové aplikace a další závazné publikační aktivity (specializovaná mapa, článek v impaktovaném časopise, články v odborném periodiku apod.). V rámci projektu je také naplánovaná konference, na které budou představeny jak výsledky projektu odborné veřejnosti, ale i další vyzvaní účastníci. Většina aktivit v roce 2017 navazuje na již běžící. Novou aktivitou, do které budou zapojeni členové všech pracovišť, bude tvorba metodiky.

5.1.1. A1701 - Metodika (C001)

Jednou z hlavních aktivit naplánovaných v posledním roce řešení je práce na tvorbě metodiky pro její následnou certifikaci. Samotná certifikace se předpokládá v gesci Ministerstva zemědělství, nebo jím pověřenou institucí.

Vlastní metodika bude provázána s dalším výsledkem projektu, kterým jsou plánované poskytované geoprocesingové služby návrhových srážek.

Stěžejními částmi řešení budou kromě teoretických předpokladů návody na využití návrhových srážek. Popsány budou praktické postupy pro získání objemů návrhových srážek s vnitřním rozdělením zobecněných hyetogramů pro dané území ČR. Další součástí budou návody na využití konkrétních hydrologických modelů včetně posouzení jejich vhodnosti pro určité typy úloh. Obsahem budou také typické ukázky a příklady využití pro vybrané nejčastější typy staveb v malých povodích.

5.1.2. A1702 - Uspořádání konference (C001)

Plánovaná konference se předběžně uskuteční 26. září 2017. Bližší informace o konání konference budou upřesněny v dostatečném předstihu v roce 2017. Na konferenci budou prezentovány příspěvky formou ústních prezentací.

Konference je primárně určena pro zpracovatele projektu a pozvané hosty z odborné obce, tedy pro potenciální uživatele certifikované metodiky, jakožto hlavního výstupu řešeného projektu.

5.1.3. A1703 - Optimalizace mapových serverů a tvorba mapových výstupů projektu (C002)

V roce 2017 se počítá s další optimalizací a rozšířením nabízených veřejných i neveřejných webových služeb WMS a WPS. Rozvíjeny budou obě platformy (open source postavené na GIS.lab a Esri). Oba přístupy mají své klady a svá úskalí. V obou případech se bude jednat o snahu poskytnout co nejsnazší formou uživatelům srážková data. Dále se pak v rámci této aktivity předpokládá výběr vhodné grafické finalizace mapových výstupů tak, aby odpovídaly kartografickým zásadám včetně přípravy map s odborným obsahem určených pro certifikaci. V průběhu roku bude rozhodnuto, zdali budou i do budoucna udržovány oba směry vývoje a tím některé služby poskytovány dvojmo. Z hlediska budoucí správy by bylo samozřejmě vhodné udržovat pouze jeden GIS server, který bude poskytovat příslušné informace. Nicméně prioritou je poskytovat nástroje pro co nejširší skupinu uživatelů. O konkrétní podobě poskytovaných služeb bude rozhodnuto na počátku roku 2017.

Jedním z hlavních úkolů bude zajištění autorizovaného přístupu k jednotlivým službám a poskytnutí služeb bez nutnosti specializovaného software. Konkrétně v případě platformy GIS GRASS budou stávající WPS nástroje (*subdayprecip-design-shp*, *subdayprecip-design-csv*, *subdayprecip-design-point* a *subdayprecip-design-shapes*) částečně přepsány tak, aby podporovaly paralelní výpočet úhrnu návrhových srážek a jejich průběhu. To by mělo vést k jejich zrychlení a lepší odezvě z pohledu uživatele. Dále se plánuje rozšíření nástroje *subdayprecip-design-shapes* tak, aby se průběh úhrnu návrhových srážek vracel kromě tabelární formy také jako graf. Kromě těchto činností se na produkčním serveru počítá s přesunem WPS služeb poskytovaných frameworkem PyWPS 3.2 na novou verzi 4.0, která správci serveru umožní ve webovém uživatelském rozhraní kontrolovat běžící procesy a případně je i ukončovat.

Hlavní činností bude výstavba finální verze webové aplikace. Technologicky bude vycházet z prototypu popsaného v sekci 4.1. Po přihlášení bude uživateli umožňovat prohlížení úhrnu návrhových srážek pro povodí IV. řádu včetně jeho průběhu a to formou tabulky či grafu pro každý identifikovaný prvek povodí. To bude znamenat úpravu použité technologie GIS.lab Web tak, aby umožňovala stylování zobrazených atributových dat s cílem vizualizovat průběh návrhových srážek jako graf. S další úpravou, se kterou se v roce 2017 počítá, je možnost zakomponování geoprocessingové služby WPS do webové aplikace. Uživatelé

budou mít kromě možnosti prohlížet předpočítané úhrny návrhové srážky k dispozici nástroj, který jim umožní výpočet úhrnu návrhových srážek s danou dobou opakování a délkou srážky pro vlastní bodová nebo polygonová vektorová data přímo z webové aplikace bez nutnosti instalace specializovaného GIS softwaru. Uživatelé s právem vytvářet vlastní webové aplikace v systému GIS.lab Web si budou moci v prostředí open source desktopového nástroje QGIS připravit data a poté je pomocí specializovaného zásuvného modulu vy publikovat na server jako novou webovou aplikaci. V rámci projektu se počítá s úpravou procesu publikace tak, aby podporoval i začlenění geoprocessingové služby WPS. Tímto způsobem bude umožněno jednoduše vytvářet, po přihlášení uživatele do systému, vlastní webové aplikace zobrazující různé mapové podklady, kompozice předpočítaných úhrnů návrhových srážek či zakomponování nástrojů WPS, např. pro odečtení bodové hodnoty návrhové srážky či komplexního výpočtu do webové aplikace uživatelem nahraných polygonových dat. V neposlední řadě je plánována také lokalizace prostředí GIS.lab Web do českého jazyka.

5.1.4. A1704 - Lokalizace zobecněných hyetogramů v ČR (C004)

V rámci posledního roku řešení budou zpracovány adjustované radarové odhady srážkových intenzit z celé ČR z hlediska zastoupení šesti zobecněných hyetogramů šestihodinových srážek, které byly odvozeny v uplynulém roce v rámci aktivity A1602 a testovány v rámci aktivity A1603. S pomocí regionální frekvenční analýzy budou zpřesněny hodnoty návrhových srážkových intenzit, což umožní sledovat zastoupení zobecněných hyetogramů pro různé doby opakování srážky. Na základě výsledků bude území ČR rozděleno do kvazihomogenních regionů z hlediska průběhu krátkodobých dešťů.

5.1.5. A1705 - Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (C006)

Na základě provedených analýz a statistických vyhodnocení z předchozích etap projektu budou vytvořeny finální výstupy v podobě kartogramů pro jednotlivá témata, která budou zobrazovat rozložení sledovaných charakteristik a jejich hodnot v rámci celého území ČR. Tyto mapy budou prezentovány v souladu s výsledkem V004.

5.1.6. A1706 - Vliv na vodohospodářské stavby (C007)

V roce 2017 bude zpracována analýza dopadu různých odtokových scénářů (viz cíl C005) na dimenzování vodohospodářských staveb. Zhodnocení vlivu zpřesnění návrhových parametrů odtoku z malých povodí na zvýšení možnosti retence vody v krajině, bezpečnosti a spolehlivosti vodohospodářských staveb a ekonomický dopad efektivnějšího dimenzování vodohospodářských staveb vlivem zpřesnění návrhových odtokových charakteristik z malých

povodí. Analýza dopadů jednotlivých scénářů bude provedena samostatně pro každý typický vodohospodářský objekt (stavbu) definovaný v roce 2016 pomocí SWOT analýzy. Pro každý typický vodohospodářský objekt vznikne podrobný samostatný katalogový list, který bude mít následující části:

- účel opatření
- popis opatření
- dimenzování
- náklady
- hodnocení efektivnosti
- podmínky realizace, možné střety
- nároky na provoz a údržbu
- grafická část

Tyto dílčí cíle jsou v souladu s výsledkem V005 a jeho závěry budou promítnuty do výsledné metodiky (V001).

5.1.7. A1707 - Analýza vlivu rozdělení srážky ve vybraných hydrologických modelech (C005)

V rámci hydrologického modelování se bude jednat o pokračování aktivity z roku 2016. V tomto roce se předpokládá dokončení jak vlastního hydrologického modelování, tak vyhodnocení citlivosti výstupních charakteristik modelů (objem, kulminace, doba zpoždění) na jednotlivé srážkové scénáře a to v kontextu citlivosti na další vstupní parametry modelů. Vzhledem k různému stupni dokončení prací u jednotlivých modelů jsou na rok 2017 naplánovány i různé dílčí aktivity.

U modelu KINFIL byl zjištěn ukončený vývoj a to ve stavu neumožňujícím široké použití, přestože je veden v několika metodikách. Vzhledem ke kombinaci výpočetních metod je ale zajímavý a proto bude zváženo a alespoň v omezeném rozsahu scénářů použít náhradní model. HEC-HMS umožňuje řadu kombinací výpočetních metod a jedna z kombinací je velmi blízká, i když ne zcela totožná s modelem KINFIL.

Na počátku roku 2017 bude definitivně rozhodnuto ohledně fyzikálního modelu MIKE-SHE versus náhradní (levnější) varianta (např. GSSHA). Sestaveny budou modely všech povodí a spočteny všechny srážkové scénáře.

V případě Topmodelu bude provedena analýza proveditelnosti úprav/oprav výpočetních rutin modelu, případně náhrady jeho GRASS implementace jinou open-source implementací

(např. v jazyku R). Pokud bude shledána jako neefektivní, bude Topmodel z výběru modelů použitelných pro modelování intenzivních krátkých srážko-odtokových událostí vyřazen bez náhrady. Komerční varianty implementací Topmodelu (např. TOPKAPI) nebudou uvažovány. Model byl původně zařazený do výběru kvůli svému specifickému konceptuálnímu modelu tvorby odtoku, nefiguruje však v českých metodikách ani není masově rozšířen a jeho vyřazení tedy nesníží užitnost připravované metodiky.

Doplňkově bude ověřena využitelnost modelu Infoworks ICM od společnosti Innovyze. Model je na pracovišti zakoupen. Do současnosti byl využíván především pro hydraulické modelování v otevřených korytech. Obsahuje ale také modul pro modelování srážkoodtokových vztahů.

V rámci aktivity bude pokračovat již zahájené křížové srovnání výstupních charakteristik jednotlivých modelů podle toho, jak budou dokončovány výpočty všech základních scénářů. Souběžně bude provedena pro každý model citlivostní analýza na vybrané klíčové parametry modelů. S ohledem na jejich počet nebude možné provést výpočet scénářů se všemi parametrickými kombinacemi a to zejména u fyzikálních modelů.

V případě HEC-HMS s použitím metod SCS-CN tak bude např. otestována citlivost na hodnotu CN, dobu zpoždění nebo jinou metodu stanovení jednotkového hydrogramu (Clark) a doby koncentrace.

V případě modelu SMODERP se pak bude jednat o ověření statisticky odvozených parametrů a na implementaci charakteristik lesních půd. Dále pak o testování získání podkladů pro navrhování prvků dočasné hydrografické sítě jako jsou příkopy, průlehy a další drobné stavby v krajině.

Výsledkem této aktivity bude systematický přehled dopadů srážkových scénářů na variabilitu výstupů z hydrologických modelů. Tato aktivita bude úzce spojena s aktivitou A1706 (vliv na stavby) v rámci které budou hodnoceny jednotlivé prvky v krajině z hlediska jejich bezpečného návrhu. Výsledky budou zakomponovány do metodiky (A1701). Kromě pěti reprezentativních povodí, která byla vybrána v roce 2016, se předpokládá ověření na dalších povodích v rámci ČR v návaznosti na regionalizaci srážkových scénářů.

5.1.8. A1708 - Měření v terénu (C008)

Měření na experimentálním povodí Býkovického potoka bude pokračovat v aktivitě A1708. Cílem dlouhodobého měření je postihnout srážkové události a jejich odezvu. Pozorovaná

data slouží k ověření výpočtů matematických modelů. Měřicí technika, která byla na zimní období odvezena, bude nainstalována zpět v závislosti na vývoji počasí v jarních měsících. Dále bude v roce 2017 pořízena a instalována chybějící odcizená technika a provedena údržba stávajících přístrojů. Měrné profily se již nebudou v roce 2017 rozšiřovat, bude provedena údržba stávajících. Dále jsou plánovány jsou jen nutné výdaje na provoz a údržbu jak povodí Býkovice, tak povodí Nučice, které bylo doposud hrazeno z jiných zdrojů.

Experimentální měření pomocí dešťového simulátoru je v projektu plánováno jako doplněk vzhledem k nejistotám přirozených srážek. Předpokládá se sada simulací v experimentální lokalitě Býkovice.

6. Literatura

Beven, K.J. a M.J. Kirkby, 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* [online]. roč. 24, č. 1. Získáno z: doi:10.1080/02626667909491834

Hrádek, F. a P. Kovář, 1994. Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. *Vodní hospodářství*. roč. 11, s. 49. ISSN 1211-0760.

Green, W.H., Ampt, G.A., 1911. Studies on soil physics. 1. *The Journal of Agricultural Science*, 4, 24s.

Kavka, P., & Zajicek, J. (2013). Soil erosion model smoderp 1D and 2D modelling. In 13th International Multidisciplinary Scientific Geoconference and EXPO, SGEM 2013 (Vol. 1, pp. 895–902). International Multidisciplinary Scientific Geoconference. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84892620985&partnerID=40&md5=3dd54957ad1f4a42ae2193fec463e575>

Kavka, P.; Strouhal, L.; Landa, M.; David, V. Nástroj pro odvození návrhových srážkových úhrnů na území ČR, *Vodní hospodářství*. 2016, 66(8), 9-15. ISSN 1211-0760.

Krása, J. et al. (2013): Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy. Certifikovaná metodika. ČVUT v Praze, VÚV TGM, v.v.i., Biologické centrum AVČR, Povodí Vltavy, státní podnik. 55 pp. – projekt NAZV č. QI102A265.

Macků, J., 2012. Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích. In: FIALOVÁ, J., ed.: *Krajinné inženýrství 2012*. Praha: Ministerstvo zemědělství, s. 15-22. ISBN 978-80-87384-03-9.

Rosendorf, P. et al. (2016): Metodika stanovení území potenciálně ohrožených dopady přívalových srážek spojených s erozí půdy při zohlednění očekávané změny klimatu [online]. 2016. Praha: VÚV T. G. Masaryka, v.v.i. Získáno z: <http://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/eroznismyv/default.asp>

Strouhal, L., D. Zumr a P. Kavka, 2016. Investigating runoff generation on compacted subsoil using a field rainfall simulator. In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. s. 1135. EGU General Assembly Conference Abstracts.

Strouhal, L. *Kvantifikace vlivu liniových opatření na povodňové odtoky*. 2016. Doktorská práce (Ph.D.). Praha: ČVUT FSv.

Tolasz, R. et al., 2007. *Atlas podnebí Česka* [online]. 1. vydání. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Universita Palackého. ISBN 978-80-86690-26-1.

Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i., 2015, Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice

Weynants, M., et al., 2013. European HYdropedological Data Inventory (EU-HYDI). *EUR Scientific and Technical Research series* [online]. B.m.: Publications Office of the European Union. Získáno z: doi:10.2788/5936

Zádorová, T., & Penížek, V. (2011). Problems in correlation of Czech national soil classification and World Reference Base 2006. *Geoderma*, 167, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.014>

7. Dosažené výsledky

V roce 2016 byl plánován 1 výsledek typu Jrec hodnotitelný v RIVa tři výsledky typu O. Nad rámec tohoto plánu byly vzhledem k dosaženým výsledkům při testování a zpracovávání dat prezentovány další výstupy řešení na odborných konferencích. Byly proto dosaženy následující výsledky:

Tab. 9 Výsledky dosažené v roce 2016

Druh výsledku	Název a popis
Jrec	KAVKA, P, L STROUHAL, LANDA M. a V DAVID, 2016. Nástroj pro odvození návrhových srážkových úhrnů na území ČR. <i>Vodní hospodářství</i> . roč. 66, č. 8, s. 9–15. ISSN 1211-0760. Článek prezentující nástroj pro odvozování návrhových srážek, podkladová data a použité metody, v pozadí běžící projekt a směr dalšího vývoje.
Jrec	Nyvlt, O.; Kavka, P. Řídicí systém mobilního simulátoru deště AUTOMA - časopis pro automatizační techniku. 2016, 2016 ISSN 1210-9592. Článek prezentující inovace v řízení mobilního dešťového simulátoru
O	Strouhal, Zmr, Kavka, 2016. Investigating runoff generation on compacted subsoil using a field rainfall simulator. <i>Geophysical Research Abstracts</i> Vol. 18, EGU2016-1135, EGU General Assembly 2016 Ústní příspěvek na mezinárodní konferenci prezentující výzkum procesů formování odtoku s využitím dešťového simulátoru
O	Bauer, Kavka, Strouhal, Dostál, Krása, 2016. Rainfall simulators – innovations seeking rainfall uniformity and automatic flow rate measurements. <i>Geophysical Research Abstracts</i> . Vol. 18, EGU2016-936, EGU General Assembly 2016 Příspěvek ve formě posteru, prezentující inovace v měření pomocí mobilního dešťového simulátoru.
O	Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Radar-based precipitation climatology of the Czech Republic in the warm part of the year. 16 th EMS Annual Meeting & ECAC, Trieste (Italy), 12–16 September 2016. poster
O	Kašpar, M., Müller, M., Bližňák, V.: Analysis of heavy rains with respect to precipitation intensity course. 16 th EMS Annual Meeting & ECAC, Trieste (Italy), 12–16 September 2016. ústní příspěvek
O	Müller, M., Kašpar, M., Bližňák, V.: Quantification of precipitation intensity variations during heavy rains. European Geosciences Union, General Assembly, Wien (Austria), 18–22 April 2016. poster
O	Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Radar-based precipitation climatology of the Czech Republic in the warm part of the year. European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Antalya (Turkey), 10–14 October 2016. poster
O	Martin Landa, Petr Kavka, Ludek Strouhal, Ivan Mincik, Marcel Dancak, and Cepicky Jachym. GIS.lab: Hydrological modelling on the Web. In <i>FOSS4G 2016</i> , August 24-26 2016.

	Příspěvek formou posteru prezentující vývoj webové aplikace GIS.lab pro účely projektu
O	Kavka, P.; Strouhal, L.; Landa, M.; Muller, M. M.; Kožant, P. K. Variability of Short-term Precipitation and Runoff in Small Czech Drainage Basins In: Geophysical Research Abstracts. Göttingen: Copernicus GmbH, 2016, Příspěvek formou posteru prezentující průběh řešení projektu
O	Kavka, P.; Jeřábek, J.; Strouhal, L. Numerical model SMODERP In: AGU Fall Meeting Abstracts. Washington: American Geophysical Union, 2015, Příspěvek formou posteru prezentující využití modelu SMODERP
O	Kavka, P.; Strouhal, L.; Weyskrabová, L.; Muller, M.: Problematika návrhových srážek v hydrologických modelech, In: Vodní toky 2016

8. Popis uplatnění

Získané poznatky budou uplatněny při tvorbě plánované metodiky a budou zároveň poskytnuty v rámci webových služeb a aplikací.

9. Přílohy

Přílohou této zprávy je výsledek typu Jrec (článek Nástroj pro odvození návrhových srážkových úhrnů na území ČR).