



Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulční schopnosti v povodí Rakovnického potoka

Ing. Stanislav Horáček, Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., a kolektiv

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.

Praha 2011



Autoři:

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.:

Ing. Stanislav Horáček, Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., Ing. Martin Hanel, Ph.D., Ing. Adam Vizina, Jan Kašpárek, Bc. Adéla Poláková, RNDr. Pavel Eckhardt, RNDr. Ladislav Havel, CSc., Ing. Radek Vlnas, Ing. Hana Nováková, Ph.D., Ing. Miroslav Kněžek, CSc., Ing. Libor Elleder, Ph.D., Zvonimír Dragoun, Ing. Jolana Šírová

Česká zemědělská univerzita v Praze:

Ing. Jiří Pavlásek, Ph.D., Ing. Vojtěch Havlíček, Ing. Petr Máca, Ph.D., Ing. Štěpán Vizina, Ing. Václav Hradílek, Ing. Miroslav Pácl

Vědecká redakce:

Ing. Šárka Blažková, DrSc., prof. Ing. Alexander Grünwald, CSc., doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., prof. Ing. Pavel Pitter, DrSc., prof. RNDr. Alena Sládečková, CSc., prof. Ing. Jiří Zezulák, DrSc.

Lektoři:

prof. Ing. Zdeněk Kos, DrSc.
Ing. Jaroslav Beneš

Poděkování:

Publikace byla zpracována na základě výsledků projektu QH91247 Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulční schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt), financovaného Národní agenturou pro zemědělský výzkum Ministerstva zemědělství České republiky.

Obsah

1 ÚVOD	5
2 METODIKA ZPRACOVÁNÍ NÁVRHU ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ NA DOPADY ZMĚNY KLIMATU V POVODÍCH S PASIVNÍ VODNÍ BILANCÍ	7
2.1 Obecné principy metodiky	7
2.2 Popis současného stavu a existujících problémů, které souvisí se stavem vodní bilance ..	7
Informace o povodí	8
2.3 Analýza příčin projevujících se změn	8
Analýza trendů meteorologických a hydrologických veličin.....	8
Analýza trendů odběrů a vypouštění vod	9
Hydrologická chronologická bilance minulého vývoje.....	9
2.4 Odhad budoucího vývoje hydrologického režimu	9
2.5 Posouzení vodohospodářské bilance pro budoucí stav hydrologického režimu a užívání vod.....	10
2.6 Zpřesnění znalostí o plošné a časové proměnlivosti hydrologických veličin	10
2.7 Vztahy povrchových a podzemních vod.....	10
2.8 Režim povodní.....	11
2.9 Návrh variant adaptačních opatření.....	11
2.10 Posouzení efektu adaptačních opatření na vodohospodářskou bilanci povodí.....	12
2.11 Posouzení možných překážek a rizik při realizaci adaptačních opatření	12
2.12 Porovnání variant adaptačních opatření z hlediska nákladů	12
2.13 Výsledné doporučení dalšího postupu adaptace	12
3 PŘÍKLAD POUŽITÍ METODIKY PRO POVODÍ RAKOVNICKÉHO POTOKA	16
3.1 Popis povodí.....	16
3.1.1 Morfologické poměry.....	16
3.1.2 Geologické poměry.....	18
3.1.3 Hydrogeologické poměry.....	20
3.1.4 Pedologické poměry.....	21
3.1.5 Klimatické poměry	23
Atmosférické srážky.....	23
Teploty vzduchu	25
3.1.6 Hydrologické poměry.....	26
3.1.7 Užívání vod.....	28
Povrchové vody.....	28
Podzemní vody.....	32
Bilance	32
Existující rybníky	32
Zaniklé rybníky	34
Záměry výstavby rybničních nádrží.....	37
3.2 Trendy meteorologických a hydrologických veličin	38
3.2.1 Atmosférické srážky	38
Dlouhodobé kolísání a trend měsíčních výšek srážek	38
3.2.2 Teploty vzduchu	43
3.2.3 Relativní vlhkost vzduchu	45
Trend v chronologické řadě relativních vlhkostí vzduchu.....	45
Změny ročního chodu relativní vlhkosti vzduchu	45
3.2.4 Průtoky.....	47
Použitá data.....	47
Dlouhodobé kolísání a trend chronologické řady průtoků.....	47
Sezonní rozdělení trendu průtoků	48
3.2.5 Podzemní vody	50



3.3	Zpřesnění znalostí o plošné a časové proměnlivosti hydrologických poměrů.....	56
3.3.1	Povrchové vody	56
3.3.2	Podzemní vody	71
3.3.3	Vztah povrchových a podzemních vod	95
3.4	Hydrologická bilance – analýza příčin projevujících se změn a odhad budoucího vývoje	102
3.4.1	Hydrologická bilance v období pozorování	102
3.4.2	Hydrologická bilance v podmínkách klimatické změny	103
3.5	Režim povodní.....	111
3.5.1	Ověření hodnot N-letých průtoků	111
3.5.2	Možné změny extrémních srážek za klimatické změny	112
3.6	Posouzení možností adaptačních opatření pro zlepšení akumulační funkce povodí a zvýšení protipovodňové a protierozní ochrany	114
3.6.1	Rámcové posouzení opatření různého typu.....	114
	Shrnutí poznatků o vlivu fyzicko-geografických charakteristik povodí na základní charakteristiky průtoků (Kašpárek, 2007)	114
	Hydrologické posouzení možností zvětšení dotace podzemních vod pomocí změn v povodí.....	114
3.6.2	Návrh a ověření protierozních a agrotechnických opatření.....	116
	Výpočet teoretických návrhových povodňových vln pro současný stav povodí.....	116
	Výpočet teoretických návrhových povodňových vln po změnách v povodí	120
3.6.3	Návrh a posouzení akumulačních nádrží.....	123
	Vyhledání vhodných lokalit pro nové nádrže	123
	Odhad základních charakteristik navrhovaných vodních nádrží.....	133
3.6.4	Návrh a posouzení možných převodů vody	144
3.6.5	Posouzení revitalizace toků.....	145
4	ZÁVĚR – SHRNU TÍ POZNATKŮ	152
	Charakteristika zájmového území.....	152
	Klimatické poměry a trendy klimatických veličin	152
	Hydrologické poměry a trendy hydrologických veličin.....	153
	Užívání vod	154
	Podzemní vody.....	154
	Zhodnocení dopadu změn klimatu.....	155
	Poznátky o povodních	155
	Možnosti adaptačních opatření	156
	SUMMARY.....	160
	LITERATURA.....	161

1 ÚVOD

Z pozorování meteorologických veličin (zejména teploty vzduchu) vyplývá, že na území České republiky dochází v několika posledních desetiletích k významné změně klimatu. Proto je stále větší důraz kladen na hledání efektivních možností jak její dopady eliminovat či omezit. Platí to zejména pro odvětví, která jsou klimatem a jeho vývojem bezprostředně ovlivněna. Mezi ně patří také významné sektory vodního hospodářství a zemědělství.

Na evropské úrovni se na adaptaci na změnu klimatu zaměřily dva dokumenty, tzv. Zelená kniha (2007), která je obecným materiálem, a Bílá kniha (2009) s názvem „Přizpůsobení se změně klimatu: směřování k evropskému akčnímu rámci“, která již navrhuje konkrétní postupy v rámci EU. Jejím základem je návrh na vytvoření dvoufázového strategického rámce pro přizpůsobení se změně klimatu v EU. V počáteční fázi je plánováno vybudovat pevnou znalostní základnu a šířit informace v rámci jednotlivých členských států i mezi nimi, dalším důležitým krokem je zhodnocení a následná integrace adaptačních opatření do klíčových oblastí politik EU a posílení mezinárodní spolupráce v problematice adaptace. V rámci následující fáze se zhodnotí dosažené výsledky a zváží další strategický postup. Bílá kniha se zaměřila zejména na odvětví zemědělství, zdraví a problematiky vody, pobřeží a moří.

Hlavním cílem Bílé knihy je snížení zranitelnosti lidí a ekosystémů v důsledku změny klimatu. Hlavní očekávané výsledky jsou:

- tvorba systémů pro výměnu informací o adaptaci na změny klimatu,
- tvorba strategií a opatření pro adaptaci na změny klimatu,
- větší kapacita pro vyhodnocení zranitelnosti v důsledku změn klimatu,
- větší informovanost o adaptaci na změny klimatu a vzdělávání v této oblasti.

V rámci České republiky byl vzestup teploty vzduchu, který se již projevil na celém jejím území, z hlediska hydrologické bilance na většině území doprovázen mírným zvětšením srážek, které postačily dotovat zvýšený výpar, a odtok z povodí se nezmenšoval. Na území Středočeského kraje však srážky spíše klesaly. Z dvanácti let v období 1998–2009 byly jen ve dvou letech roční úhrny nad normálem. Ve většině let oblast s podprůměrnými srážkami zasahuje i část Ústeckého kraje, zejména dolní část povodí Ohře. Jedná se o území charakterizované nejmenšími dlouhodobými úhrny srážek v Čechách. Výsledky z vodoměrných pozorování na povodích ležících v této oblasti pak ukazují výrazně klesající trend průtoků až do hodnot blízkých nule.

Jedním z takových případů je povodí Rakovnického potoka, kde při posudku zabezpečení bilančního stavu (v daném profilu Rakovník jde o zachování minimálního průtoku) je již současný stav charakterizován jako pasivní, tj. nevyhovující požadavkům ČSN 75 2405 (studie VÚV TGM, 2006). Na nepříznivý stav hydrologické bilance, která se v povodí Rakovnického potoka projevuje nejen v odtokových poměrech, ale i nedosahováním optimálních výnosů zemědělských plodin v důsledku sucha, upozornila představitel Ministerstva zemědělství ČR a následně i VÚV TGM, v.v.i., Zemědělská agentura Rakovník.

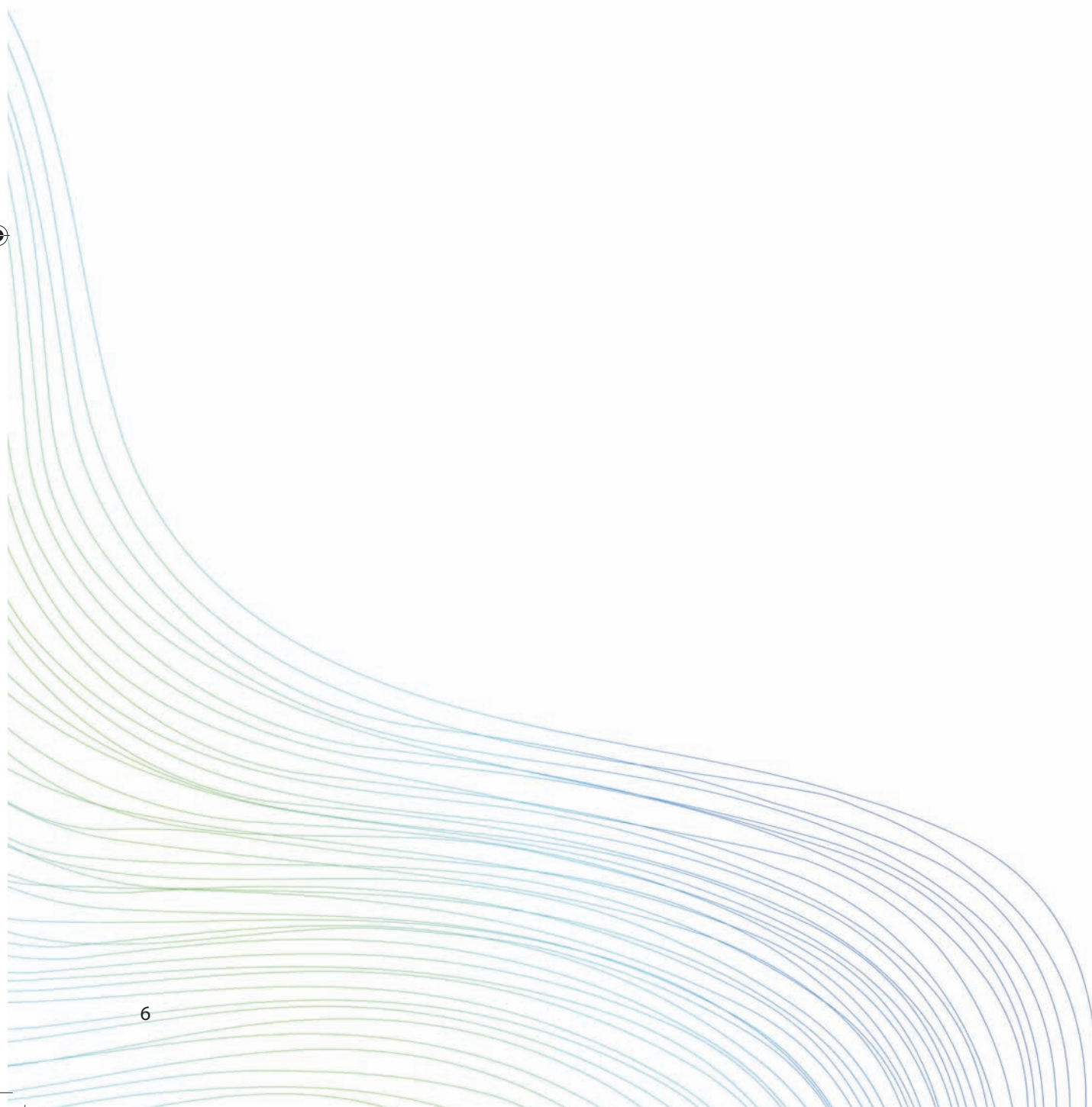
Jako reakci na uvedené skutečnosti jsme pro povodí Rakovnického potoka (jako pilotní případ) navrhli provést výzkum spočívající v analýze vývoje klimatických a hydrologických poměrů v rozsahu celého povodí, v odhadu jejich vývoje pro nejbližší desetiletí a v návrhu opatření pro zlepšení nepříznivé vodní bilance. V soutěži Programu výzkumu v agrárním sektoru s počátkem řešení v roce 2009, který vypsala Národní agentura pro zemědělský výzkum, projekt Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulární schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt) uspěl. Byl řešen v letech 2009–2011, na řešení se podílel Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i. (koordinátor) a Česká zemědělská univerzita v Praze. Spolupracovali i pracovníci Českého hydrometeorologického ústavu, který také poskytl meteorologická a hydrologická data. Publikace vychází ze zprávy, která shrnuje získané poznatky z celé doby řešení, tj. ve stručnější formě i ty, které jsou obsahem periodických zpráv za roky 2009 a 2010. Výsledky projektu přispívají na regionální úrovni k řešení bodu „tvorba strategií a opatření pro adaptaci na změny klimatu“ uvedeného v Bílé knize.



Získané poznatky a zkušenosti byly využity jako podklad k sestavení metodiky pro tvorbu opatření směřujících primárně ke zvýšení akumulární schopnosti povodí a zabezpečujících požadavky na užívání vody. Metodika je uvedena v kapitole 2, kromě možnosti zvýšení akumulace vody se zabývá i dalšími aspekty, které souvisejí se zlepšením hydrologických poměrů a vodohospodářské bilance povodí.

Pilotní studie Rakovnického potoka je obsahem kapitoly 3. Ta obsahuje řadu dílčích částí, které zahrnují komplexní popis povodí, analýzu trendů meteorologických a hydrologických veličin a odhad jejich dalšího vývoje, zpřesnění znalostí o plošné a časové proměnlivosti hydrologických veličin, analýzu příčin současných dopadů klimatické změny, zpřesnění znalostí o extrémních povodních a posouzení různých typů adaptačních opatření (agrotechnické změny v povodí, akumulární nádrže, převody vody). Na základě posouzení jejich účinnosti pro zvětšení akumulární i retenční schopnosti byly podrobněji navrženy varianty akumulárních nádrží i agrotechnické úpravy v povodí. Jejich návrh je zpracován jako samostatný mapový materiál. Vzhledem k tomu, že v povodí Rakovnického potoka jsou využívány převážně podzemní vody, byla velká pozornost věnována zpřesnění znalostí o prostorovém i časovém rozložení hladiny podzemní vody, zpřesnění odhadů přírodních zásob podzemní vody i vztahům podzemní vody a průtoků říční sítě.

V závěru studie jsou stručně shrnuty základní výsledky výzkumu a doporučena prioritní adaptační opatření.



2 METODIKA ZPRACOVÁNÍ NÁVRHU ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ NA DOPADY ZMĚNY KLIMATU V POVODÍCH S PASIVNÍ VODNÍ BILANCÍ

2.1 Obecné principy metodiky

Metodika je zaměřena na povodí s pasivní vodohospodářskou bilancí, tj. na povodí, ve kterých se již projevují nebo lze oprávněně očekávat problémy v oblasti užívání vod, ředění odpadních vod, nedostatku vod pro závlahy atd.

Návrh adaptačních opatření by měl vycházet z posouzení dosavadního vývoje vodohospodářské bilance, podrobných znalostí hydrologického režimu posuzovaného povodí, včetně jeho časového vývoje a předpokládaného vývoje klimatu i současných a předpokládaných nároků na užívání vody. Pomocí hydrologického modelování je třeba analyzovat příčiny proběhlých změn hydrologického režimu a odhadnout varianty jeho dalšího vývoje. Na tomto základě lze navrhnout varianty adaptačních opatření a posoudit jejich účinnost. Pro opatření, která se jeví jako efektivní, je třeba alespoň rámcově posoudit investiční i provozní náklady.

Návrh opatření má dva základní atributy:

- Časový – projekce změn klimatu a jim odpovídající odhady změn hydrologického režimu jsou vztaženy ke zvoleným časovým úrovním, které jsou obvykle dány výstupy klimatických modelů. Je zřejmé, že spolehlivost odhadu budoucího vývoje s časovou odlehlostí klesá.
- Prostorový – adaptační opatření se mohou omezovat jen na posuzované povodí nebo jeho část, ale mohou také využívat zejména možnosti převodu vody z jiných povodí.

Podle materiálu *Adaptace na klimatickou změnu v Evropě – možnosti pro postup EU* (ČHMÚ, 2007) je při přípravě a zavádění regionálních adaptačních opatření nezbytná spolupráce národních, regionálních a místních orgánů. Většinu rozhodnutí o adaptačních opatřeních, která přímo či nepřímo ovlivňují důsledky změn klimatu, je nutno přijmout na regionální a místní úrovni. Zde je nezastupitelná úloha krajských a místních orgánů při přijímání adaptačních opatření. Adaptační strategie musí sledovat integrovaný přístup, který zahrne opatření a jejich důsledky ve všech ohrožených sektorech a vyhne se negativním zpětným vazbám. V následujících odstavcích popíšeme stručně postup zpracování podkladů pro návrh adaptačních opatření.

2.2 Popis současného stavu a existujících problémů, které souvisí se stavem vodní bilance

Návrh adaptačních opatření by měl vycházet ze znalostí o současném stavu vodní bilance v posuzovaném povodí. Základní informaci poskytují výsledky vodní bilance, sestavované podle § 22 odst. 1 vodního zákona. Podle § 1 vyhlášky 431 Ministerstva zemědělství o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci se vodní bilance sestavuje v povodích povrchových vod a v hydrogeologických rajonech podzemních vod pro oblast povodí, popřípadě pro konkrétní lokality, a obsahuje výstupy, které se použijí pro rozhodování vodoprávních úřadů, jakož i orgánů státní správy, zejména pro stanovení množství vody využitelné k odběru nebo stanovení přípustného znečištění odpadních vod vypouštěných do vod povrchových nebo podzemních v konkrétní lokalitě, pro souhrnné hodnocení stavu povrchových a podzemních vod a podávání zpráv o jejich stavu, pro plánování v oblasti vod a pro další činnosti podle vodního zákona.

Vodohospodářská bilance, která je součástí vodní bilance, se provádí pro kontrolní profily, což jsou zejména

- a) vybrané profily ze státní monitorovací sítě vodoměrných stanic ovlivněných nakládáním s vodami,
- b) závěrové profily významných vodních toků v oblastech povodí,
- c) vybrané profily na hraničních vodních tocích.



Pro návrh adaptačních opatření v konkrétních povodích bude obvykle nezbytné zpracovat vodní bilanci v podrobnějším prostorovém členění. Přitom je vhodné získat informace o tom, zda existují problémy zejména v dále uvedených oblastech:

- a) zásobování obyvatelstva vodou,
- b) obecné užívání vody,
- c) zásobování průmyslu, energetiky, služeb aj. vodou,
- d) předepsané ředění odpadních vod,
- e) dodržování stanovených minimálních zůstatkových průtoků,
- f) odběry vody pro závlahy,
- g) kvalita vody,
- h) stabilita ekosystémů.

Získané informace mohou indikovat, že projevy kolísání klimatu se v povodí již projevily a jsou základem pro nasměrování navazujících analýz a návrhů adaptačních opatření.

Informace o povodí

Při návrhu přiměřených a účinných adaptačních opatření je třeba vycházet ze znalostí přírodního prostředí i vodohospodářských a dalších infrastruktur, které ovlivňují hydrologický režim, včetně užívání vod. Základní informace jsou z následujících oblastí:

Přírodní poměry

- morfologické a geologické poměry,
- hydrogeologické poměry,
- pedologické poměry,
- klimatické poměry,
- hydrologické poměry.

Vodohospodářské a další infrastruktury

- vodní nádrže včetně rybníků (existující i zaniklé),
- převody vody,
- vodárenské soustavy,
- doly ovlivňující podzemní vody (činné i zaniklé).

Užívání vod (v rozlišení prostorovém i časovém)

- odběry povrchové vody,
- odběry podzemní vody,
- vypouštění odpadních vod,
- vypouštění důlních vod,
- manipulace nádrží.

2.3 Analýza příčin projevujících se změn

Analýza trendů meteorologických a hydrologických veličin

Analýza časového vývoje meteorologických a hydrologických veličin poskytuje základní informace o tom, zda hydrologický režim zkoumaného povodí pouze kolísá, nebo zda se projevují jeho soustavné změny.

Je třeba posoudit základní veličiny hydrologické bilance, které lze určit z existujících pozorování, tj. atmosférické srážky a celkový odtok z povodí. Místo třetí rozhodující veličiny, územního výparu, který měřen není, posoudíme průběh teplot vzduchu jako veličiny, která podstatně ovlivňuje potenciální evapotranspiraci a jejím prostřednictvím (spolu se srážkami) územní výpar.





Analýza časového průběhu pozorovaných hladin podzemní vody a vydatnosti pramenů může poskytnout informace o tom, zda nedochází k soustavným změnám zásob podzemní vody, které ve většině povodí tvoří rozhodující část celkové přírodní zásoby vody v povodí.

Analýza trendů odběrů a vypouštění vod

Analýza časového vývoje odběrů povrchové a podzemní vody i vypouštění odpadních vod, včetně odběrů a vypouštění důlních vod, umožní posoudit, zda a do jaké míry lze změny pozorovaných průtoků a výšek hladin podzemní vody vysvětlit přímými zásahy člověka do hydrologického procesu.

Hydrologická chronologická bilance minulého vývoje

Účinným nástrojem, který umožňuje posoudit, zda se hydrologický režim povodí měnil, resp. v závislosti na změně meteorologických veličin mění, je modelování chronologické hydrologické bilance pomocí hydrologických bilančních modelů. Základní zpracování se obvykle provede v měsíčním kroku, pro který v posledních desetiletích již lze použít průtoky očištěné o vliv přímých antropogenních zásahů. Pro detailní zkoumání lze použít i výpočty v denním kroku, s uvážením ovlivňujících zásahů.

Při posuzování možných změn hydrologického režimu, které byly vyvolány buď přirozeným kolísáním klimatu, nebo soustavnými dopady změny klimatu, je možné využít zpracování řad odtoků rozdělených na starší, obvykle málo ovlivněné období, a na období končící v současnosti. Parametry modelu jsou nejprve odvozeny pro období málo ovlivněné a dále jsou použity pro modelování odtoku v období, které považujeme za ovlivněné. Z porovnání pozorovaného a modelovaného odtoku lze usuzovat na to, zda změny meteorologických vstupů dostatečně vysvětlují změny odtoku.

Využije se i analýza trendů bilančních veličin, které jsou výstupem hydrologického modelu, zejména potenciální evapotranspirace, územního výparu, složek zásob vody (ve sněhu, v půdě, podzemní vody).

V povodích s významným oběhem podzemních vod je vhodné při modelování využít i pozorování výšek hladin podzemní vody pro zmenšení nejistot odhadu základního odtoku.

2.4 Odhad budoucího vývoje hydrologického režimu

Pro odhad budoucího vývoje hydrologického režimu se používají dva základní přístupy:

- scénáře hydrologických poměrů odvozené pomocí hydrologických modelů ze scénářů klimatické změny,
- časová extrapolace již probíhajících změn.

Scénáře změn klimatu jsou zpravidla odvozeny ze simulací klimatických modelů a jsou obvykle připravovány pro několik časových úrovní, většinou i s výhledem na několik desetiletí, běžně do roku 2100. Scénáře změn klimatu jsou v České republice zpracovány ve formě tzv. přírůstkových faktorů, tj. relativních změn srážek (popř. relativní vlhkosti vzduchu) a absolutních změn teploty pro jednotlivé měsíce roku pro jednotlivé výpočetní buňky klimatického modelu. Přírůstkové faktory je následně nutné interpolovat na plochu povodí. Tyto interpolované přírůstkové faktory slouží pro úpravu pozorovaných časových řad srážek (relativní vlhkosti vzduchu) a teploty (vstupních veličin hydrologického modelu). Tato metodika je vhodná pro modelování dopadů změn klimatu v měsíčním časovém kroku, pro odhady změn v podrobnějších časových měřítkách je nutné použít složitější metody zohledňující i změny ve variabilitě vstupních veličin. Alternativou je použití výstupů klimatických modelů opravených o systematické chyby. Surové výstupy klimatického modelu využít zásadně nelze. Vždy je třeba uvážit, jakým způsobem scénáře vznikly, zejména bylo-li využito více simulací klimatických modelů. Posouzení změn hydrologické bilance v důsledku změn klimatu by mělo být vždy provedeno v několika variantách reprezentujících nejistoty spojené s odhadem budoucího vývoje klimatu.



Další možností posouzení změn srážek a teploty (obecně vstupních veličin hydrologického modelu) je extrapolace již probíhajících změn. Tuto metodu je v zásadě možné uplatnit jen pro méně vzdálenou budoucnost. I při použití této metody je vhodné uvážit více variant změn vstupních veličin vyjadřujících nejistotu spojenou s odhadem jejich změn. V případě této metody je nejistota spojena zejména s přirozenou variabilitou klimatu (výsledky jsou závislé na délce a konkrétním průběhu pozorovaných řad, zahrnutí/vyloučení extrémů apod.), volbou parametrického modelu (např. lineární/nelineární trend, volba počátečního bodu změn atp.), uvážením závislostí mezi veličinami atd.

Odvozené časové řady srážek a teploty (popř. relativní vlhkosti vzduchu či dalších vstupních veličin hydrologického modelu) odpovídající zvolenému časovému období jsou následně využity pro simulaci hydrologické bilance pro budoucí podmínky pomocí nakalibrovaného (zpravidla konceptuálního) hydrologického modelu. Využití „black-box“ hydrologických modelů, tj. modelů, které nevycházejí z fyzikálního popisu dějů v povodí, není vhodné, jelikož schopnost extrapolace za podmínky odpovídající kalibračnímu období je u těchto modelů sporná.

2.5 Posouzení vodohospodářské bilance pro budoucí stav hydrologického režimu a užívání vod

Na základě průtokových řad, které odpovídají zvolené časové úrovni budoucího vývoje, se posoudí vodohospodářská bilance ve změněných podmínkách, a to s využitím předpokládaných požadavků na užívání vod (zejména odběry povrchových a podzemních vod, předepsané minimální zůstatkové průtoky, průtoky pro požadované ředění vypouštěných odpadních vod, požadavky na zachování obecného užívání vod a ochrany životního prostředí). K tomu se použije přiměřený simulační model, vycházející z principů výše citované vodní bilance. Často však bude třeba použít detailnější rozlišení říční sítě a dílčích povodí.

Výsledky vodohospodářské bilance indikují říční profily a dílčí povodí, ve kterých by požadavky na užívání vod nebyly zajištěny s požadovanou zabezpečeností.

2.6 Zpřesnění znalostí o plošné a časové proměnlivosti hydrologických veličin

Pro posuzování vodohospodářské bilance v prostorovém rozlišení i pro návrh adaptačních opatření většinou potřebujeme hydrologické charakteristiky nebo časové řady průtoků, popř. hladin podzemních vod v rozlišení podstatně detailnějším, než poskytují výsledky standardních pozorování. Pro tento účel je vhodné v posuzovaném povodí uskutečnit alespoň krátkodobá (několikaletá) pozorování průtoků, hladin podzemní vody a vydatnosti pramenů (popř. i srážek) v účelově navržené pozorovací síti. Podle vztahu k dlouhodobě provozovaným pozorováním se pak výsledky účelových pozorování zařadí do kontextu víceletého i sezonního kolísání hydrologického režimu a metodami hydrologické analogie se zpracují data pro dílčí povodí, ve kterých jsou navrhována adaptační opatření.

2.7 Vztahy povrchových a podzemních vod

Povrchové a podzemní vody jsou součástí jediného procesu tvorby zásob a odtoku vody z povodí. Základní skutečností, kterou je třeba vzít do úvahy, je, že v období malých průtoků je průtok v tocích tvořen základním odtokem, jenž je ztotožňován s odtokem ze zásob podzemní vody. Podstatné zmenšení zásob podzemní vody se tedy běžně projevuje poklesem průtoků v období hydrologického sucha. Existují však i úseky toků, ve kterých dochází k opačnému toku vody, kdy povrchová voda infiltruje z toku do vody podzemní. Pro kvalifikovaný návrh adaptačních opatření je třeba v posuzovaném povodí alespoň rámcově oba popsání procesy kvantifikovat v čase i prostoru. Posouzení vztahu zásoby podzemní vody a základního odtoku lze provést metodami jeho separace a korelace k výšce hladin podzemní vody. Pro vymezení úseků toků, kde nastává infiltrace vody z toku do podzemní vody, je třeba provést hydrometrická měření v podélném profilu toku.



2.8 Režim povodní

I v povodích s pasivní vodohospodářskou bilancí se vyskytují povodně. Charakteristické je, že v povodích s malými dlouhodobými úhrny srážek se i po několik desetiletí nevyskytne žádná větší povodeň, takže ochrana před povodněmi zůstává stranou pozornosti. V případě, kdy je povodí zasaženo mimořádně vydatnou srážkou, nastane povodeň několikanásobně překračující běžná roční maxima. Střední případy tohoto typu mají průměrnou dobu opakování několik desítek let, extrémní katastrofální povodně několik stovek let. Režim povodní na relativně suchých povodích je tedy charakterizován malým průměrem maxim a mimořádně velkou variabilitou. Je zřejmé, že stanovení N-letých průtoků a N-letých povodní je pro tento typ povodí velmi obtížné a zatížené značnou nejistotou. V této situaci je podstatným přínosem studium povodní včetně historických extrémních případů.

Přitom i při návrhu adaptačních opatření pro zmírnění nedostatku vody musíme s povodněmi počítat. Zásahy do vodního režimu krajiny, které směřují ke zvětšení infiltrační schopnosti povodí, se minimálně u přívalových povodní běžné velikosti projeví příznivě, míru jejich působení je však třeba kvantifikovat.

Vodní nádrže se zásobní funkcí je vhodné při výstavbě navrhovat takovým způsobem, aby měly i funkci ochrannou a zmenšovaly kulminační průtoky povodní. Ještě podstatnější však je navrhovat jejich konstrukci a bezpečnostní přelivy tak, aby i v případě extrémních povodní nebyly destruovány a nezpůsobily v následujícím úseku toku zvětšení povodně.

2.9 Návrh variant adaptačních opatření

Z možných adaptačních opatření podle práce (Hanel et al., 2012) lze uvažovat zejména:

opatření v krajině

- organizační (podpora plošné rozmanitosti v rámci komplexních pozemkových úprav, podpora zalesnění a zatravnění, omezení plodin, pod nimiž se vytváří nepropustná kůra, např. kukuřice), agrotechnická (osevní postupy podporující infiltraci atp.), biotechnická (průlehy, zasakovací pásy atd.);

opatření na tocích a v nivě

- revitalizace toků (úpravy řečišť zpomalující odtok vody a zlepšující komunikaci s přívalem vodní, uvolnění nivy pro rozlivy);

opatření v urbanizovaných územích

- zvýšení infiltrace dešťové vody (retenční a vsakovací objekty), jímání a využívání srážkových vod;

obnova starých či zřízení nových vodních nádrží;

zefektivnění hospodaření s vodními zdroji

- převody vody mezi povodími a vodárenskými soustavami, zpětné převody vody uvnitř povodí, dočasné využití statických zásob podzemní vody, umělé infiltrace, vícenásobné využití vody, zhodnocení a přerozdělení kapacit vodních zdrojů;

zmenšení spotřeby vody

- minimalizace ztrát ve vodárenských soustavách, racionalizace stanovení minimálních průtoků, stanovení priorit pro kritické situace nedostatku vody;

dokonalejší čištění odpadních vod.

Účinek jednotlivých opatření na zmírnění vybraných dopadů je znázorněn v *tabulce 1*. Opatření a jejich dopady jsou specifikovány v *tabulce 2*, respektive v *tabulce 3*. Význam opatření v krajině spočívá zejména ve zlepšení vodního režimu krajiny a zmenšení povodňového odtoku z přívalových povodní a s tím spojených negativních jevů (např. eroze). Na druhou stranu, lepší uplatnění vody v krajině vede ke zvětšení územní evapotranspirace, takže na odtok ze srážek v období sucha zůstane vody méně. Pro zvětšení průtoků a zásob podzemní vody v období hydrologického



sucha nemají tedy reálně proveditelná opatření v krajině (zejména vzhledem k rozloze pozemků, na nichž je možno tato opatření realizovat) znatelný význam. Podobně i opatření na toku a v nivě mají vliv zejména na snížení odtoků za povodní, jejich význam pro zlepšení hydrologických podmínek v období sucha je však zanedbatelný. Velký potenciál z hlediska opatření vedoucích ke zmírnění dopadů hydrologického sucha mají zejména vodohospodářská opatření různých typů, a to jak opatření již známá a využívaná (využití vodních nádrží, převodů vody), tak opatření, jejichž efekt je sice slibný, nicméně doposud nebyl komplexně kvantifikován (recyklace průtoků, řízené vícenásobné využití vody). Prostředky racionalizace využívání a ochrany vodních zdrojů je nutné spatřovat i v legislativních opatřeních a snižování požadavků na odběr vody.

2.10 Posouzení efektu adaptačních opatření na vodohospodářskou bilanci povodí

V povodích s pasivní vodohospodářskou bilancí je hlavním účelem adaptačních opatření zajistit dostatek vody nebo alespoň zmírnit následky nedostatku vody pro účely specifikované v kapitole 2.2. Pro posouzení efektu navržených variant adaptačních opatření je vhodné použít metody vodohospodářské bilance na přiměřeně detailní úrovni prostorového a časového rozlišení. Pro výpočty se využijí varianty průtokových, popř. dalších hydrologických veličin, stanovené podle klimatických scénářů pro zvolené časové úrovně klimatické změny a předpokládané požadavky na užívání vod.

Na základě výsledků vodohospodářského řešení lze vybrat ta opatření nebo jejich kombinace, jež jsou v určité fázi změn klimatu dostatečně účinné.

2.11 Posouzení možných překážek a rizik při realizaci adaptačních opatření

Mezi zásadní omezení realizovatelnosti adaptačních opatření patří zejména problémy s řešením majetkoprávních vztahů v dotčeném území, omezení daná přírodními podmínkami (např. srážko-odtokovými poměry, ale i hydrogeologií apod.), nevhodná morfologie koryta a velikost plochy, na které je možno realizovat adaptační opatření, ale i omezení vyplývající z ochrany vodních zdrojů, ochrany přírody atd. Navrhovaná adaptační opatření je vhodné z tohoto hlediska alespoň rámcově posoudit a z výběru variant vyloučit ta, která nemají naději na realizaci.

2.12 Porovnání variant adaptačních opatření z hlediska nákladů

Racionálně uvažující zpracovatel bere v úvahu ekonomické hledisko – velikost nákladů v porovnání s dosaženým efektem – během celého procesu navrhování adaptačních opatření, přičemž očividně příliš nákladná opatření ne navrhuje. V závěru zpracování návrhu adaptačních opatření je třeba varianty, které se jeví jako účinné, porovnat z hlediska investičních i provozních nákladů.

2.13 Výsledné doporučení dalšího postupu adaptace

Výsledný návrh adaptačních opatření by měl vycházet z výsledků posouzení efektu adaptačních opatření na vodohospodářskou bilanci povodí, z porovnání variant adaptačních opatření z hlediska nákladů a zvážení vedlejších kladných i nepříznivých účinků adaptačních opatření i mimo oblast vodního hospodářství. Návrh by měl preferovat opatření, která budou užitečná nebo využitelná i v případě, že se klima bude vyvíjet jinak, než klimatické scénáře předpokládají. Z hlediska časového je výhodné, když jsou opatření navržena tak, aby je bylo možno uskutečnit po etapách a přizpůsobit se tak skutečnému vývoji hydrologických poměrů. Adaptace by měla být chápána jako cyklický proces, který nekončí jednorázovou realizací vybraných opatření. Na základě skutečně probíhajících změn hydrologických podmínek a požadavků na vodu je třeba celý proces aktualizovat, vyhodnocovat účinnost současných opatření a popřípadě doplňovat opatření nová.



Tabulka 2. Stručná specifikace adaptačních opatření z tabulky 1 (Hanel et al., 2012)

Adaptační opatření	
1	Rozmístění, tvar a velikost pozemků uspořádat tak, aby podporovaly plošnou rozmanitost, nevytvářely dlouhé souvislé svahy, umožňovaly infiltraci vody do půdy a nevytvářely podmínky pro soustředěný odtok.
2	Zvětšení rozsahu pozemků zatratněných a zalesněných, vyloučení kukuřice a plodin, pod nimiž se vytváří nepropustná křusta, i z mírně svažitých pozemků.
3	Střídání plodin, osevní postupy zvětšující infiltraci a zmenšující erozi, vhodné lesnické péstební postupy.
4	Protierozní účelová opatření – travnaté pásy, průlehy, terasy.
5	Obnova mokřadů v lokalitách, ze kterých byla voda v minulosti drenáží odvedena.
6	Úpravy řečišť, které zpomalí odtok vody a zlepší podmínky pro průsak vody z řečiště do přípoверхové zvodně a zpět (pokud zvodně existuje).
7	Na potenciálně zaplavovaných územích zrušit aktivity, které jsou záplavou ohroženy, ponechat prostor pro rozlivy povodní a vsak vody z nivy do přípoверхové zvodně (tam, kde je vyvinutá niva a přípoверхová zvodně).
8	Propustné úpravy povrchu – zatratněné pásy, retenční a vsakovací objekty.
9	Zachycení srážkových vod pro lokální zavlazňování a další účely.
10	Obnova/výstavba nádrží s dominantní zásobní funkcí, využití existujících nádrží jako zásobních.
11	Zřizování suchých nádrží (poldrů) a řízených rozlivů.
12	Zřizování víceúčelových vodních nádrží, přípůsobení manipulačních řádů stávajících nádrží změněným podmínkám.
13	Převody vody z povodí, kde je jí dostatek, do místa, kde je jí nedostatek, nebo odvedení části povodňového průtoky do toku nebo nádrže, kde neškodí a může sloužit pro nalepšování průtoků/zásobování. Propojení vodárenských soustav umožňující v kritických situacích převod vody.
14	Převod vody z níže ležícího úseku toku do výše ležícího úseku (recyklace vody) pro zajištění minimálních průtoků a obecného užívání vody.
15	Dočasné využití statických zásob podzemní vody (pokud existují) pro odběr nebo i zajištění min. průtoků lze použít jen v krátkém kritickém období hydrologického sucha, aby se zásoba mohla po jeho ukončení doplnit.
16	Posílení zdrojů podzemní vody technicky zajištěným zvětšením infiltrace.
17	Vícenásobné využití vody, například vyčištěné odpadní vody pro závlahy.
18	Vodohospodářská řešení zásobních nádrží a vodohospodářských soustav pro měnění se hydrologické poměry, identifikace volných kapacit a možností jimi posílit deficitní oblasti.
19	Zmenšování ztrát vody rekonstrukcí trubních řádů a pomocí dalších opatření.
20	Úpravy ceny vody směřující ke zmenšení potřeby a spotřeby vody, při rozlišení typu zdrojů, odběratelů i stavu vodohospodářské bilance.
21	Využití moderních způsobů závlahy, které zmenšují nároky na množství odebrané vody, např. kapkové závlahy.
22	Stávající systém povolování odběrů vody nezaručuje, aby velikost povoleného odběru nebyla u některých odběratelů podstatně větší než skutečný a potřebný odběr. Tím se administrativně omezuje povolení a uskutečnění jiných odběrů. Tento rozpor je třeba účinně vyřešit pomocí legislativních a ekonomických nástrojů.
23	Stávající přístup ke stanovení minimálních zůstatkových průtoků nevede vždy k hodnotám, které odpovídají požadovaným efektům. V případě toků, na nichž průtoky vlivem změny klimatu již významně poklesly, není někdy reálné je dodržet a je nutná změna přístupu i metod výpočtu.
24	V kritických fázích hydrologického sucha může nastat stav, kdy nelze splnit všechny požadavky na odběry a zachování minimálních průtoků. Je třeba stanovit priority podle míry nebezpečných dopadů na obyvatelstvo, životní prostředí, energetiku, průmysl, zemědělství a další odběratele.
25	Účinnější čištění odpadních vod a další opatření by přispěly k menším nárokům na jejich ředění.

Tabulka 3. Stručná specifikace dopadů změn klimatu z tabulky 1 (Hanel et al., 2012)

Dopady klimatické změny	
I	Zhoršení mikroklimatu Zvýšení teplot vzduchu spolu se zmenšením srážek v letním období zejména v oblastech s podprůměrnými ročními úhrny srážek a nadprůměrnými teplotami vzduchu zhorší klimatické podmínky pro stávající vegetační kryt. Adaptační opatření nemožou změnit klimatické poměry, ale mohou ovlivnit lokální mikroklima.
II	Stres stávajících společenstev Vlivem změn popsaných v bodě 1 se v obdobích agronomického sucha zhorší podmínky pro současnou vegetaci, u některých plodin poklesnou výnosy, pro některé rostliny a typy lesních společenstev nebudou optimální klimatické podmínky. V extrémních případech může dojít k významné změně struktury společenstev. Nepříznivé dopady lze očekávat v aridnějších oblastech.
III	Zvětšení větrné eroze Zvětšení větrné eroze půdy při horším stavu vegetačního krytu – více povrchu půdy vystaveno větru.
IV	Zvětšení přímého odtoku Zvětšení přímého odtoku z méně pokrytého povrchu půdy (zmenšená schopnost průsaku do půdy, zvětšená pravděpodobnost vytvoření téměř nepropustné krusty). Následkem bude větší ohrožení obcí odtokem z přívalových dešťů z polí a malých toků.
V	Zvětšení vodní eroze Zvětšení vodní eroze půdy při horším stavu vegetačního krytu – více povrchu půdy vystaveno účinkům přívalových dešťů.
VI	Pokles průměrných průtoků Při dlouhodobě zvětšeném územním výparu vlivem zvýšených teplot vzduchu poklesne průměrná výška odtoku, a tedy i průměrný průtok i v případě nezměněných dlouhodobých srážek.
VII	Pokles minimálních průtoků Vlivem poklesu srážek v letním období a dřívějšího počátku poklesu výtoků vody ze zásob podzemní vody poklesnou minimální průtoky v letním a na začátku podzimního období podstatně více než průměrné průtoky. Průtok pak poklesne pod historicky zaznamenané minimální hodnoty, pod rybníky a nádržemi nebude možné zajistit stanovené minimální ekologické průtoky.
VIII	Zánik průtoků Proces popsaný v bodě VII povede na malých a středních tocích, v jejichž povodí nejsou významné zásoby podzemní vody, k tomu, že přírodní odtok z povodí i na dobu několika měsíců zanikne.
IX	Zvýšení maximálních průtoků Jevy popsané v bodě IV při současném zasažení většího území vedou ke zvětšení kulminačních průtoků i na větších tocích.
X	Dopady na odběry vody Pokles průměrných průtoků a změna ročního chodu průtoků zmenší kapacitu vodních zdrojů povrchové vody u odběrů z toků i vodních nádrží. Poklesy odtoku podzemní vody jsou obdobné jako poklesy průtoků, v hydrogeologických systémech s velkou akumulací s určitým zpožděním. Pokles zdrojů podzemní vody je tedy obdobný poklesu u zdrojů vody povrchové.
XI	Dopady na kvalitu vody Zvýšení teploty vody a menší ředění odpadních vod v období malých průtoků povede ke zhoršení kvality vody. V situacích popsaných v bodě VIII poteče v některých úsecích toku jen vypouštěná odpadní voda.

3 PŘÍKLAD POUŽITÍ METODIKY PRO POVODÍ RAKOVNICKÉHO POTOKA

3.1 Popis povodí

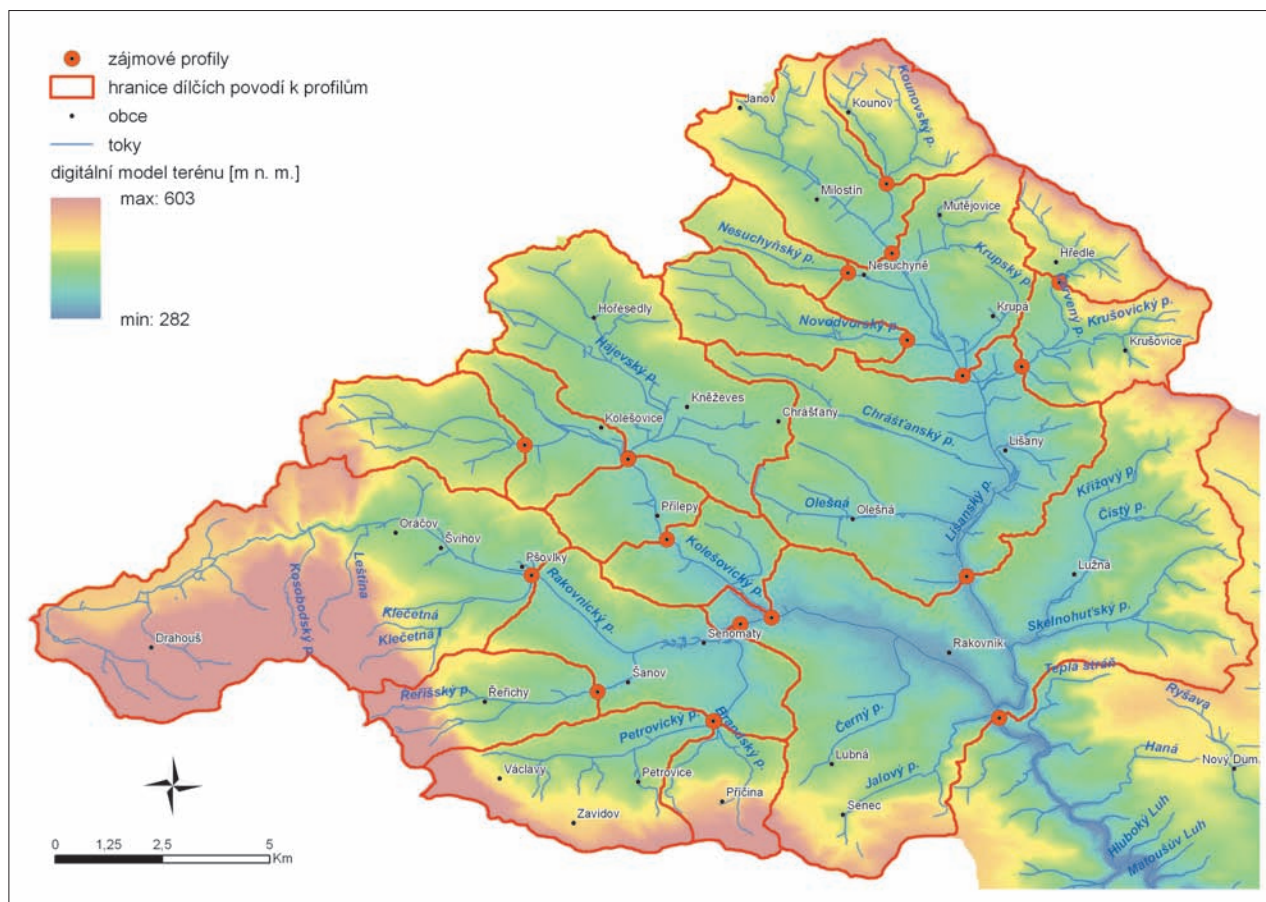
3.1.1 Morfologické poměry

Rakovnický potok je levostranným přítokem Berounky, do které ústí v obci Rostoky. Plocha celého jeho povodí činí 344 km². Předmětem výzkumu bylo povodí nad vodoměrnou stanicí Rakovník, která se nachází na Rakovnickém potoce pod Rakovníkem a uzavírá povodí o ploše 302 km².

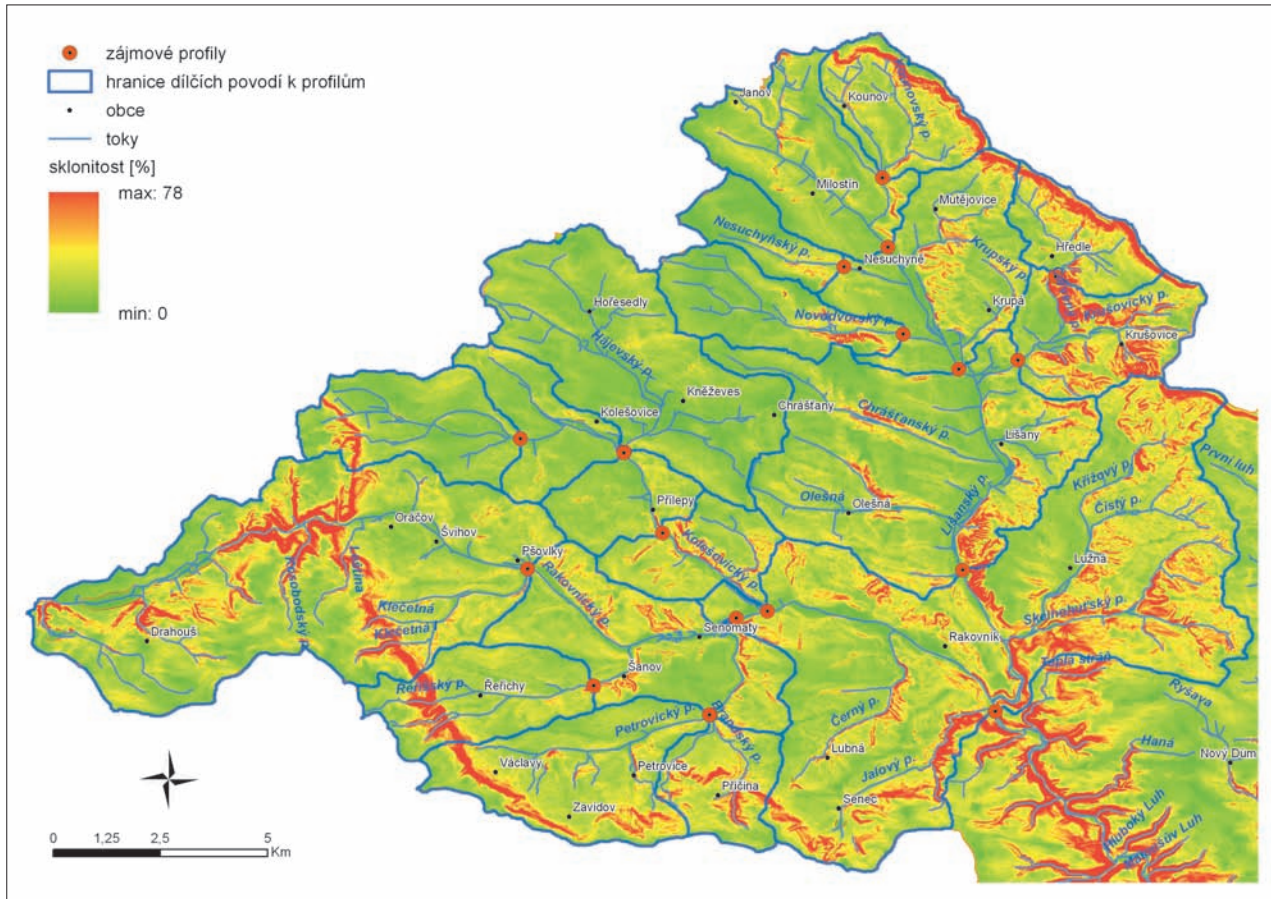
Rakovnický potok pramení na Rakovnické pahorkatině asi 3 km od Jesenice v nadmořské výšce 578 m. Povodí nad Rakovníkem má průměrnou nadmořskou výšku 407 m n. m., závěrový profil je ve výšce cca 315 m n. m., největších výšek těsně nad 600 m n. m. dosahuje Plavečský vrch na západním okraji povodí. Morfologie povodí je na obr. 1.

Základní říční síť tvoří Rakovnický potok, který směřuje od Jesenice východním směrem k Rakovníku, a jeho nejvýznamnější (oba levostranné) přítoky Kolečovický a Lišanský potok. Povodí je tedy asymetrické, pravostranné přítoky odvodňují podstatně menší část povodí než levostranné.

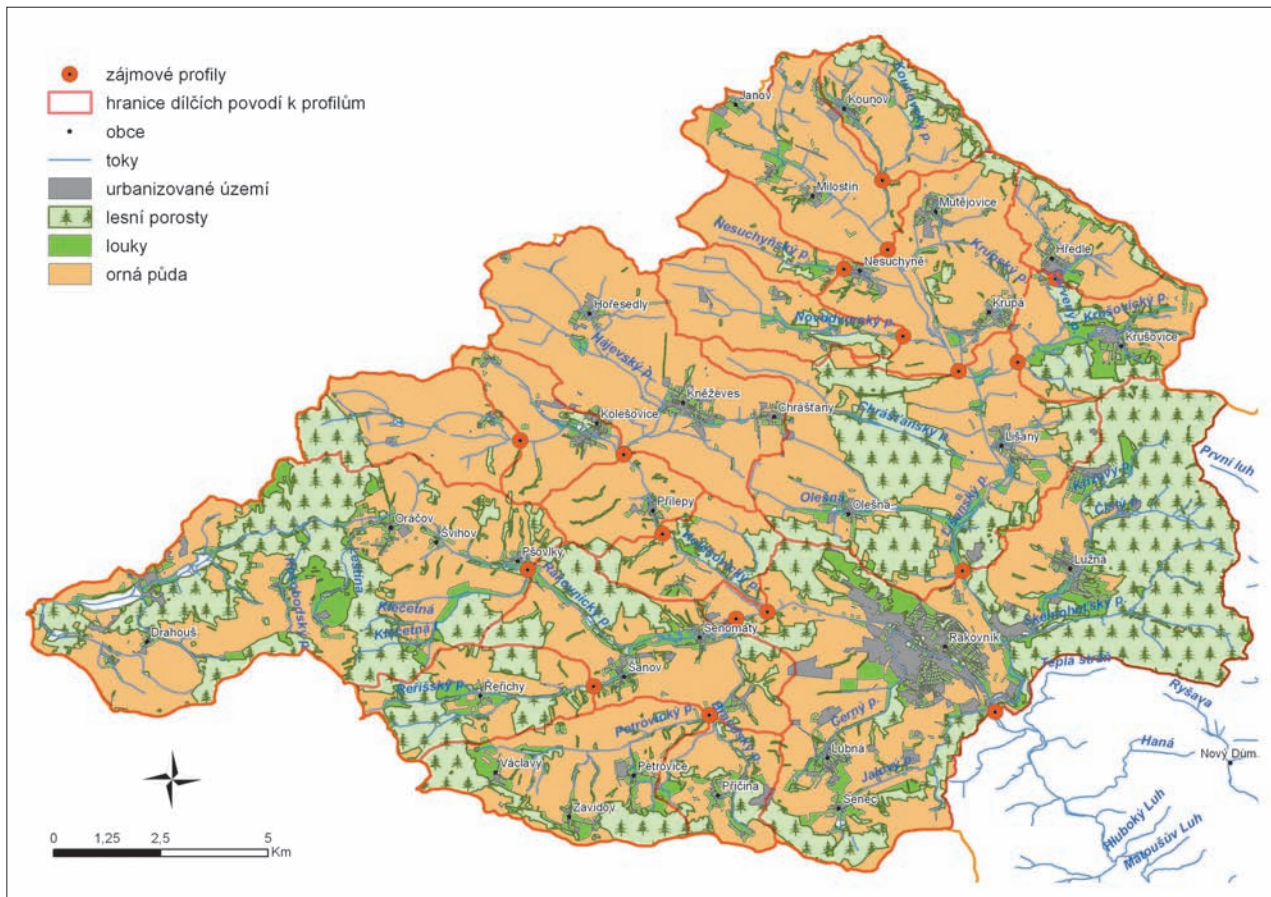
Pro účely tohoto projektu bylo povodí Rakovnického potoka rozděleno na dílčí povodí, v jejichž závěrových profilech byla jednorázově nebo soustavně prováděna hydrometrická měření (obr. 1). Charakteristiky takto vymezených dílčích povodí jsou uvedeny v tabulce 4.



Obr. 1. Topografická mapa, říční síť a rozvodnice dílčích povodí



Obr. 2. Mapa sklonitosti terénu



Obr. 3. Mapa využití pozemků podle databáze CORINE

Na obr. 2 jsou znázorněny sklonové poměry v povodí. V severozápadní části povodí (zhruba ohraničené Lišanským a Rakovnickým potokem) jsou sklony minimální, na ostatních částech povodí jsou sklony větší. Dokládají to i průměrné sklony vodních toků, např. průměrný sklon Hájevského potoka (vlévajícího se do Kolečovického potoka pod Kolečovicemi) je jen 8 ‰, zatímco sklon Kounovského potoka (vlévajícího se do Lišanského potoka nad Nesuchyní) je 19 ‰.

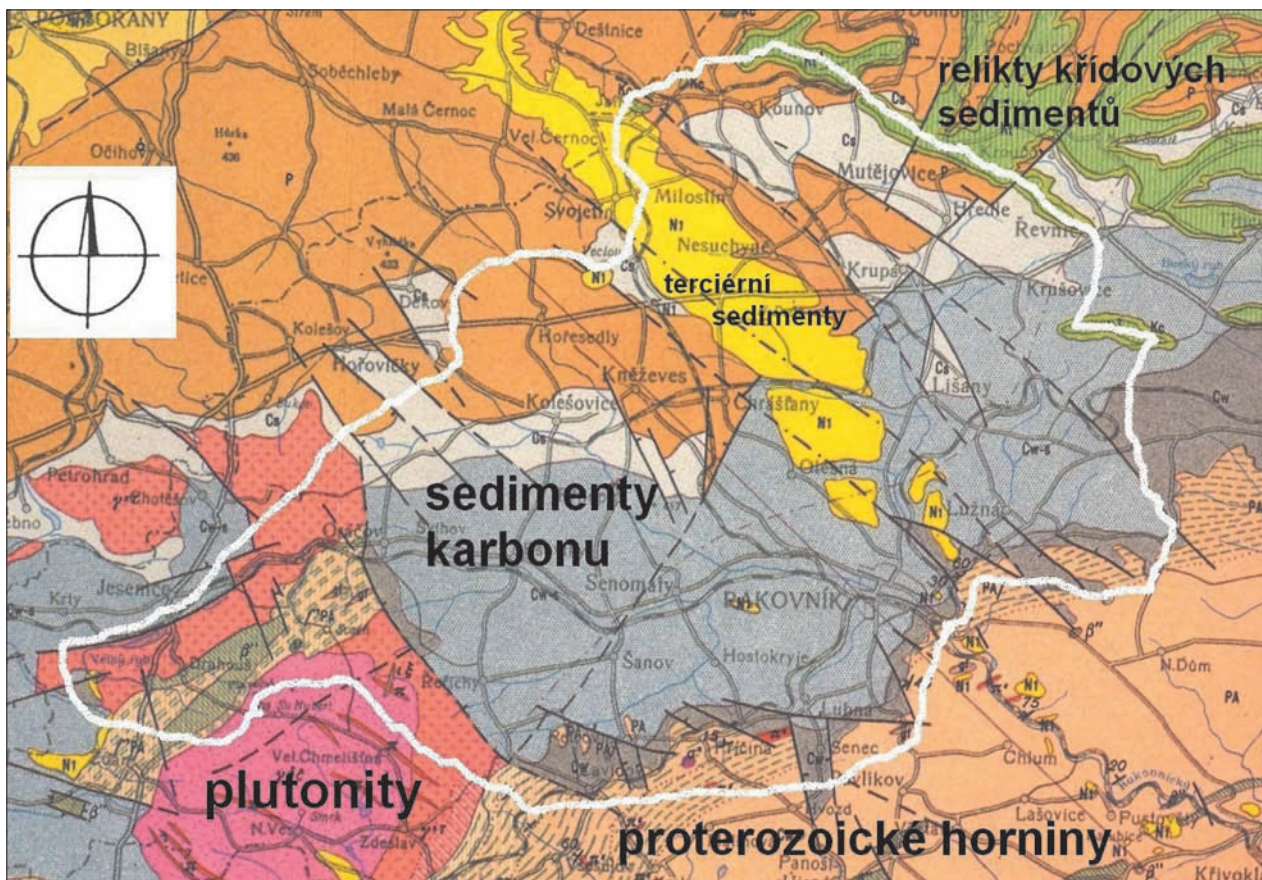
Obrázek 3 znázorňuje využití pozemků v povodí podle databáze CORINE (Bossard et al., 2000). Podstatná část je zemědělsky využívaná, orná půda se nachází na 58,8 % jeho plochy, louky na 9,6 %, zalesněno je 27,7 %. Míra zalesnění je po ploše povodí značně proměnlivá. Největší lesní celek leží v oblasti při jihovýchodním okraji povodí (dílčí povodí Čistého potoka). Velmi malé zalesnění je v povodí Kolečovického potoka (8,8 %) a v horní části povodí Lišanského potoka (9,4 %). Na obou těchto povodích přesahuje podíl orné půdy 80 %, jedná se tedy o oblast velmi intenzivně zemědělsky využívanou. Na přibližně 5 % orné půdy jsou chmelnice.

Tabulka 4. Základní charakteristiky dílčích povodí

Závěrový profil	Tok	Hydrol. číslo	Plocha povodí [km ²]	Sklon [%]	Orná půda [%]	Louky [%]	Les [%]	Urban. plochy [%]
Pšovky nad Klečetnou	Rakovnický p.	1	35,3	7,97	50,1	11,4	34,5	1,9
Pšovky	Klečetná	2	7,4	9,24	37,3	11,6	50,9	0,2
Pšovky pod Klečetnou	Rakovnický p.	2	44,6	8,09	48,4	11,4	36,9	1,6
nad Šanovem	Řeřišský p.	4	9,6	7,63	45,9	9,8	43,9	0,3
nad rybníkem Hostokryje	Petrovický p.	6	14,1	7,65	59,2	12,8	26	1,9
nad rybníkem Hostokryje	Brandský p.	7	6,4	9,14	62,5	13,6	20,6	3,1
pod Senomaty	Rakovnický p.	8	90,2	7,77	52,1	11,7	33,4	1,8
u býv. rybníka nad Kolečovicemi	Kolečovický p.	10	10,1	4,59	78	1,4	19,6	0,5
nad soutokem s Hájevským	Kolečovický p.	0	16,8	4,34	80,4	3,5	13,8	2
u Kněževse	Hájevský p.	11	14,5	3,67	93,4	3,6	0,7	2,3
nad soutokem s Kolečovickým	Hájevský p.	0	22,7	3,61	90,3	5,1	0,8	3,7
pod Přílepy	Kolečovický p.	0	45,1	3,91	86,2	4,4	6,4	2,8
nad ústím	Kolečovický p.	12	51,9	4,35	84	4,6	8,8	2,4
nad soutokem s Lišanským	Rakovnický p.	15	163,3	6,56	61,5	10,2	23,7	4
Milostín most	Lišanský p.	16	7,3	5,22	81	12,6	3,8	2,5
most na Mutějovice	Kounovský p.	17	8,0	9,22	63,8	7,1	27,2	1,8
most Nesuchyně–Mutějovice	Lišanský p.	18	21,1	6,47	78,3	7,7	11,9	2,1
Nesuchyně	Nesuchyňský p.	20	4,6	3,56	89,2	4,9	5,5	0,3
nad rybníkem Chobot	Novodvorský p.	21	8,6	4,27	83,5	5,2	9,2	1,8
býv. rybník Chobot	Lišanský p.	21	49,3	5,62	81,1	7	9,4	2,4
pod obcí Hředle	Červený p.	21	6,2	10,96	71,1	8,9	16,6	3,3
křížení s karlovarskou silnicí	Červený p.	23	7,3	11,27	68,3	8,2	20,2	3,2
most Krupá–Lišany	Červený p.	25	15,8	10,98	57,7	15	24,1	3
Lišany	Lišanský p.	26	74,6	6,75	74,1	8,7	14,5	2,5
Na Cikánce	Lišanský p.	30	97,7	6,55	68,4	8,6	20,6	2,2
ústí	Lišanský p.	34	129,4	7,32	56	8,8	32,5	2,5
limnigraf	Rakovnický p.	35	302,0	7	58,9	9,6	27,7	3,3

3.1.2 Geologické poměry

Detailní geologická stavba zájmového území Rakovnického potoka je poměrně pestrá. Většina území leží v oblasti permokarbonské rakovnické pánve, jižní část území náleží k barrandienskému proterozoiku, do jihozápadní části povodí (horní povodí nad Oráčovem) zasahují i hlubinné magmatity čistecko-jesenického masivu. Mladší horniny jsou zastoupeny denudačními reliktami sedimentů křídla a terciéru, povrch je kryt sedimenty kvartéru. Geologické zastoupení předčtvrtohorních útvarů v zájmovém území dokumentuje mapka na obr. 4 (Zoubek, 1990).



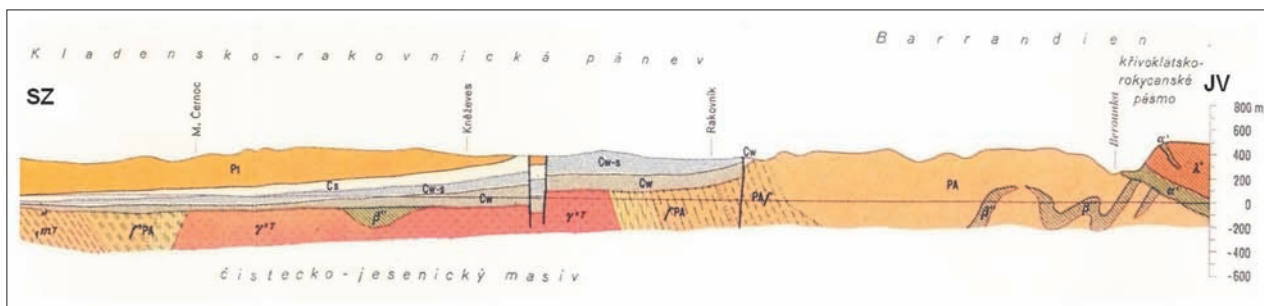
Obr. 4. Geologická mapa předkvartérních útvarů zájmové oblasti

Horniny proterozoika tepelsko-barrandienské oblasti jsou zastoupeny zejména střídáním břidlic, prachovců a drob. V severních a západních částech výskytu byly tyto horniny přeměněny na fylitické břidlice, prachovce a drobky, popřípadě až na chlorit-sericitické fylity. Lokálně se v těchto horninách vyskytují polohy spilitů (na západě metabazalty), popř. grafitických fylitů.

Plutonity čistecko-jesenického masivu jsou kadomského stáří a prorážejí horniny proterozoika. Jsou zastoupeny zejména středně zrnitým biotitickým až amfibol-biotitickým granodioritem a středně až hrubě zrnitým biotitickým granitem (tiský typ). Tyto horniny se v přípovrchové partii vyskytují v jihozápadní části zájmového území, jejich rozšíření však sahá i do podloží karbonských sedimentů rakovnické pánve. Plutonické horniny a proterozoické sedimenty jsou lokálně proráženy žilnými magmatity, zejména porfyryty.

Permokarbonské sedimenty rakovnické pánve vyplňují převážnou část zájmového území. Rakovnická pánev je součástí středočeské limnické oblasti (Mísař et al., 1983). Bázi sedimentární výplně tvoří sedimenty kladenského souvrství karbonského stáří (westphal), tvořené bazálními brekciemi, slepenci, arkózovými pískovci, arkózami, aleuropelity, jílovci a uhelnými slojemi. Sedimentace navazuje týneckým souvrstvím (spodní červené, stáří cantabr až stefan A) – arkózovými pískovci až arkózami, s polohami slepenců, aleuropelitů a jílovců. Nadložní slánské souvrství (svrchní šedé, stáří stefan B) tvoří jílovce, aleuropelity, uhelné sloje (kounovské souslojí), pískovce a arkózy. Sedimentaci uzavírá líňské souvrství (svrchní červené, stáří stefan C), tvořené jílovci, aleuropelity, pískovci a slepenci. Vzhledem ke generelnímu sklonu vrstev se horniny svrchních souvrství vyskytují převážně na severu zájmového území. Vztahy zastoupených skalních hornin dokládá schematický geologický řez (obr. 5), který je veden přes centrální část zájmového území ve směru SZ–JV (Zoubek, 1990).

Horniny svrchnokřídového stáří jsou zastoupeny denudačními relikty při severovýchodní hranici zájmového území (vrchy Džbán, Louštín apod.). Jde o sedimenty, mezi nimiž převažují pískovce a jílovce perucko-korycanského souvrství cenomanského stáří, svrchu kryté prachovito-písečnými slínovci, spongility a vápnitými jílovci bělohorského souvrství stáří spodního turonu.



Obr. 5. Geologický řez zájmovou oblastí

Horniny terciéru zastupují zejména sedimenty říčních teras miocenního stáří. Tvoří je nezpevněné sedimenty – písky, štěrky a jíly. Denudační reliktů těchto sedimentů (tzv. „hlavačovské štěrky“) tvoří v zájmovém území ne zcela souvislý pás směru zhruba SZ–JV mezi Rakovníkem a Svojetínem.

Z tektonického hlediska je území porušeno zlomy, převažujícím směrem poruch je SV–JZ, popř. na ně kolmé poruchy SZ–JV. Vyskytují se i další směry zlomů.

Terén je kryt nezpevněnými horninami kvartéru. Nejvýrazněji jsou zastoupeny deluviální sedimenty, zejména písčité a jílovité hlíny s příměsí štěrků. Značně rozšířené jsou i deluvioeolické sedimenty. V údolích toků se nacházejí fluviofluvioální, převážně písčité až písčitojílovité hlíny, popř. deluviofluvioální písčité a jílovité hlíny. Výskyt fluviofluvioálních písčitých štěrků pleistocenního stáří je dokladován například v okolí Lišanského potoka. Lokálně se v území vyskytují antropogenní uloženiny, jako různé druhy navážek, haldy hlusiny z těžební činnosti, staré skládky odpadu apod. (Valín, 1991; Blažek, 1996; Tyráček, 1991).

3.1.3 Hydrogeologické poměry

Z hydrogeologického hlediska patří území do rajonu základní vrstvy č. 5131 – rakovnická pánev, jih a západ území pak do rajonu č. 6230 – krystalinikum, proterozoikum a paleozoikum v povodí Berounky (Olmer et al., 2006).

V horninách krystalinika a proterozoika hraje hlavní roli mělká zvodně v kvartérních sedimentech a v přípovrchovém pásmu rozpojení skalních hornin. Směr odtoku podzemních vod tu bývá generelně shodný se sklonem terénu, drenážní bázi území tvoří lokální vodoteče. V mělkém puklinovém kolektoru v horninách proterozoika se pohybuje podle Hrazdíry (1993) koeficient transmisivity v rozmezí $6,2 \cdot 10^{-6}$ až $9,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Koeficient transmisivity puklinového kolektoru plutonitů území dosahuje podle Hrazdíry (1994) až řádově vyšších hodnot mezi $1,4 \cdot 10^{-5}$ až $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Naopak v horninách karbonu a křídly (zejména centrální část, východ a sever zájmového území) existují významné hlubší zvodně. V rámci sedimentů karbonu se střídáním poloh propustných sedimentů s jílovitými polohami izolátorů vytváří řada lokálních zvodně. Jejich propustnost se obecně snižuje směrem do hloubky a k severnímu okraji pánve, kde ubývá hrubší složky sedimentů. Charakter zvodnění je místně rozdílný, většinou převažuje puklinová propustnost nad průlinovou. Regionální oběh podzemních vod je značně omezen častými faciálními změnami. Značný vliv mají četné tektonické poruchy. Hrazdíra (1993) uvádí pro sedimenty kladenského souvrství (v jižní části pánve) koeficient transmisivity v rozmezí $1,5 \cdot 10^{-4}$ až $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, pro slánské souvrství v rozmezí $3,8 \cdot 10^{-5}$ až $5,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, pro týnecké souvrství v rozmezí $2 \cdot 10^{-5}$ až $2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a pro souvrství línské v rozmezí $6,5 \cdot 10^{-6}$ až $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Důležitou okolností je v geologické stavbě jižní ohraničení pánve jižně od Rakovníku hrástí z hornin proterozoika (z fylitů), probíhající ve směru SV–JZ. Za přirozeného stavu přispívala k vyrovnávání hladiny podzemní vody v přilehlé akumulační části pánve i vyvolanou regulací drenáže podzemní vody do Rakovnického potoka, z části i jejím přetokem relativně otevřenými puklinami v pásmu povrchového narušení horniny.

Dlouhodobý specifický odtok podzemní vody z oblasti dosahuje velmi nízkých hodnot – mezi 0,5 a $1,0 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (Krásný et al., 1982).





Průzkumy společnosti Aquatest, a.s., (Kuklík et al., 2004; Kozubek, 2006) se podrobně zabývaly jímacím územím, průzkum se však týkal malé plochy 4 × 1 km podél Rakovnického potoka západně od Rakovníka.

V této části permokarbonské pánve (limnický permokarbon) je prameniště v týneckém souvrství, charakteristickým cyklickým střídáním slepenců, pískovců, jílovců, prachovců a uhelných slojí. Proudění podzemní vody je výrazně ovlivňováno zlomovými systémy směrů SSV–JJZ, SZ–JV, ZSZ–VJV. Podle výsledků geofyzikálního průzkumu jsou v této oblasti preferenční cesty proudění.

Pod málo mocným kvartérem (4–5 m) tvořeným písčitymi jíly a písky následuje komplikovaný systém většího počtu nepravidelně se střídajících průlinovo-puklinových kolektorů a izolátorů. Jejich vzájemné rozložení je značně chaotické. Jednotlivé kolektory jsou v různé míře vzájemně hydraulicky propojeny systémem puklin a povrchových pásem. Hladina podzemní vody je v jednotlivých kolektorech jak volná, tak mírně napjatá.

Intenzivnější proudění bylo v této oblasti prostřednictvím tektonické linie ve směru JV–SZ. Generelní směr proudění podzemní vody je k místním erozním bázím. Obecnějším poznatkem je identifikace vertikálního pohybu vody do hloubky cca 15–18 m, kde se vyskytuje zóna propustnějších hornin (pískovce, písky, i když s jílovitou příměsí). Dokládá to i značnou vertikální variabilitu proudění.

Citované průzkumy potvrdily střídání propustných a nepropustných vrstev ve velmi širokém rozsahu jejich propustnosti a dominantní vliv tektoniky na proudění podzemní vody. Pokud není v širším zájmovém území lokalizována a ověřena její funkce (izolátor × preferenční cesta), je jedinou možností hodnotit pohyb podzemní vody v rozsáhlejších oblastech velmi zjednodušeně jako kvazihomogenní.

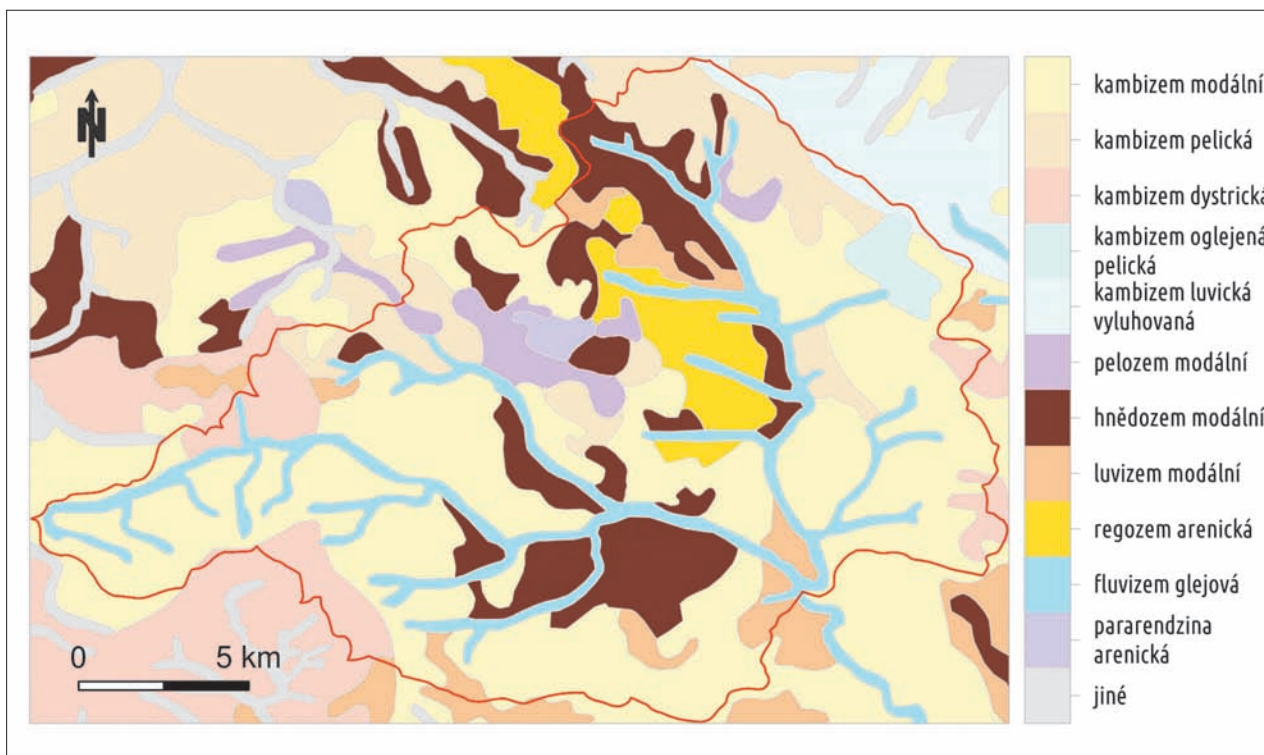
Z hlediska kvality vod se na značné části zájmového území vyskytují podzemní vody vyžadující složitější úpravu (voda II. kategorie), lokálně i vody s výskytem málo vhodné či nevhodné jakosti podzemní vody (voda III. kategorie). Kritickými složkami jsou zejména sloučeniny dusíku, v menší míře i celková mineralizace vod, obsah železa a manganu apod. (Hrazdíra, 1993 a 1994; Kačura, 1992).

3.1.4 Pedologické poměry

Pedologické poměry jsou především určeny geologickým podložím, vegetačním krytem, klimatickými podmínkami, morfologií terénu a činností člověka. Převažující referenční třídou v zájmovém území Rakovnického potoka jsou kambisoly. V nižších polohách Rakovnické kotliny se vyskytují zástupci referenční třídy luvisoly a v povodí Lišanského potoka je významně zastoupena referenční třída regosoly. Na fluviální náplavy v blízkosti vodních toků jsou vázány fluvisoly, ojediněle se v povodí vyskytují leptosoly. V povodí Lišanského potoka je vyšší pestrost v zastoupení jednotlivých referenčních tříd než v povodí Rakovnického potoka, především v jeho horní části. Přehled zastoupení jednotlivých referenčních tříd, půdních typů a subtypů je uveden na *obr. 6* (KPOP, 2009).

Z hydrologického hlediska se v povodí vyskytují především půdy se střední rychlostí infiltrace (hydrologická skupina půd B s rychlostí 0,06–0,12 mm.min⁻¹). V povodí Lišanského potoka jsou ale také významně zastoupeny půdy s vysokou rychlostí infiltrace (HSP A s rychlostí vyšší než 0,12 mm.min⁻¹). Ojediněle se v povodí vyskytují půdy s nižší infiltrační schopností spadající do HSP C (0,02–0,06 mm.min⁻¹), které mají hlavní plošné zastoupení na levém břehu Kolečovického potoka.

Referenční třída kambisoly je zastoupena především půdním typem kambizem, který převažuje ve vyšších polohách povodí, a v malé míře půdním typem pelozem. Z půdních subtypů je dominantní kambizem modální, která převažuje ve vrchovinných partiích horní části povodí Rakovnického potoka, kde se vyskytuje mimo fluviální náplavy vodního toku. Na levém břehu je výskyt omezen mezi Oráčovem, Kolečovicemi a Senomaty, na pravém břehu je tento subtyp dominantní až po Pšovlky. Další významné výskyty jsou na levém břehu Lišanského potoka od Mutějovic až k soutoku s Rakovnickým potokem, severně od Rakovníka mezi Rakovnickým a Lišanským potokem a severně nad Hořesedly. Kambizem modální má na permokarbonských sedimentech typickou červenou až červenošedou barvu.



Obr. 6. Pedologické poměry v povodí Rakovnického potoka (KPOP, 2009)

Ve vyšších polohách povodí (převážně v jihozápadní části) se vyskytuje kambizem dystrická, která je vázána na kyselé horniny čistecko-jesenického masivu a ve východní části na relikty křídových sedimentů. Kambizem pelická se vyskytuje v menších okrscích poblíž Mutějovic, Lišan, Kolečovic a Kněževse. Tento subtyp je tvořen z těžších substrátů a jílovitá zrnitostní frakce se významně vyskytuje i v orníční vrstvě půdního profilu. V severovýchodní části povodí Lišanského potoka se vyskytuje také kambizem luvická vyluhovaná, která obsahuje části eolického materiálu a karbonáty jsou z podpovrchového horizontu vyluhovány do půdního substrátu. V okolí Krušovic se vyskytuje kambizem oglejená pelická, která vznikla na těžších substrátech a nese výraznější reduktomorfní znaky. Půdní subtyp pelozem modální vznikl ze slabě zpevněných třetihorních jílu a slínů, řadí se proto k velmi těžkým půdám a v povodí se vyskytuje u Kolečovic, Chrástán a Mutějovic.

Z hydrologického hlediska patří kambizem především mezi půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06-0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$), což odpovídá skupině B v hodnocení hydrologických skupin půd (HSP), které je zde uváděno podle Janečka et al. (2005). Kambizem pelická a kambizem oglejená pelická mohou kvůli jemnozrnnějšímu zrnitostnímu složení vykazovat nižší propustnost a spadat tak do skupiny C s nízkou rychlostí infiltrace ($0,02-0,06 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). Pelozem se podle vyhlášky MZe (1998) řadí do hlavní půdní jednotky 20, která je zařazena do skupiny D s rychlostí infiltrace menší než $0,02 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Luvizoly, které se obecně vytvářejí v teplejších klimatických podmínkách na nezpevněných sedimentech, jsou v povodí zastoupeny půdními typy hnědozem a luvizem, výrazně více je zastoupena hnědozem modální, která se vyvinula na deluvioeolických sedimentech. Tento subtyp má velmi dobré vlastnosti sorpčního komplexu, a je proto ovlivněn dlouhodobou zemědělskou činností. Vyskytuje se v nižších polohách západně od Rakovníka, na horním povodí Lišanského potoka a dále v malých ostrůvcích. Luvizem je zastoupena luvizemí modální, která má výrazněji diferencovaný půdní profil s výrazným eluviálním horizontem a která se vytváří na středně těžkých substrátech v rovinných nebo mírně zvlněných reliéfech, na větších svazích totiž rychle podléhají erozi (Němeček et al., 2001). Luvizem modální se vyskytuje v menších lokalitách, které většinou navazují na lokality hnědozemě modální, nejvíce u soutoku Rakovnického a Lišanského potoka a na dalších, menších lokalitách.

Hnědozem modální a luvizem modální patří do hydrologické skupiny půd B se střední rychlostí infiltrace ($0,06$ až $0,12 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$).



V pravobřežní části povodí Lišanského potoka se významně vyskytují regosoly, které v zájmové lokalitě vznikly z písčítých štěrků terciérních sedimentů. Jediným půdním typem je regozem, na povodí zastoupená regozemí arenickou. Tento půdní subtyp vznikl na minerálně chudých terciérních sedimentech s hrubším zrnitostním složením, v půdním profilu proto převažuje písčítý a hrubě-písčítý materiál. Vyskytuje se ve větším rozsahu mezi obcemi Chrášťany, Olešná, Lišany a Nový Dvůr a dále v menších výskytech.

Půdy arenického subtypu lze podle vyhlášky MZe (1998) řadit do hlavní půdní jednotky (HPJ) 21, která spadá do hydrologické skupiny půd A s vysokou rychlostí infiltrace, vyšší než $0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

V údolních nivách v blízkosti vodních toků je po celém povodí výrazný výskyt půdního typu fluvizem patřícího do referenční třídy fluvisoly, které se váží na nivní sedimenty a jsou charakteristické vrstevnatostí, nepravidelným rozložením organických látek do hloubky 0,6 m (Němeček et al., 2001). Fluvizem je zde zastoupena fluvizemí glejovou, která nese výraznější reduktomorfní znaky v hloubce pod 0,6 m.

Podle vyhlášky MZe (1998) lze tyto půdy řadit do hlavní půdní jednotky (HPJ) 58 nebo v polohách s těžším substrátem do jednotky 74. Půdy řazené do HPJ 58 řadíme do HSP B–C se střední až nízkou rychlostí infiltrace v rozsahu od 0,02 do $0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Půdy z HPJ 74 nelze přesně zařadit z důvodu dlouhodobého převlčení a rozmanitosti zrnitostního složení, lze u nich ale předpokládat nízké hodnoty infiltračních rychlostí (od 0,02 do $0,06 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$).

Referenční třída leptosoly je zastoupena půdním subtypem pararendzina arenická, která je charakterizována hrubším zrnitostním složením v souladu se zrnitostním složením substrátu. Vyskytuje se na jedné lokalitě u Kněževsi. Odpovídá jí HPJ 21 s HSP A s rychlostí infiltrace vyšší než $0,12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Tento půdní subtyp se však může lokálně vyskytovat i na středních substrátech, kde rychlost infiltrace vlivem vlastností podloží klesá a může vykazovat charakteristiky HSP B.

3.1.5 Klimatické poměry

Z klimatických poměrů jsou z hlediska hydrologie nejpodstatnější údaje o atmosférických srážkách a teplotách vzduchu. Zpracovány byly údaje o pozorovaných řadách z období 1901–1950 (HMÚ, 1961). Vzhledem k tomu, že v současné době je i na posuzovaném povodí patrné významné zvyšování teplot vzduchu, je zkoumání trendů teplot vzduchu i změnám srážkového režimu v období 1961–2008 věnována samostatná část (kapitola 3.2).

Atmosférické srážky

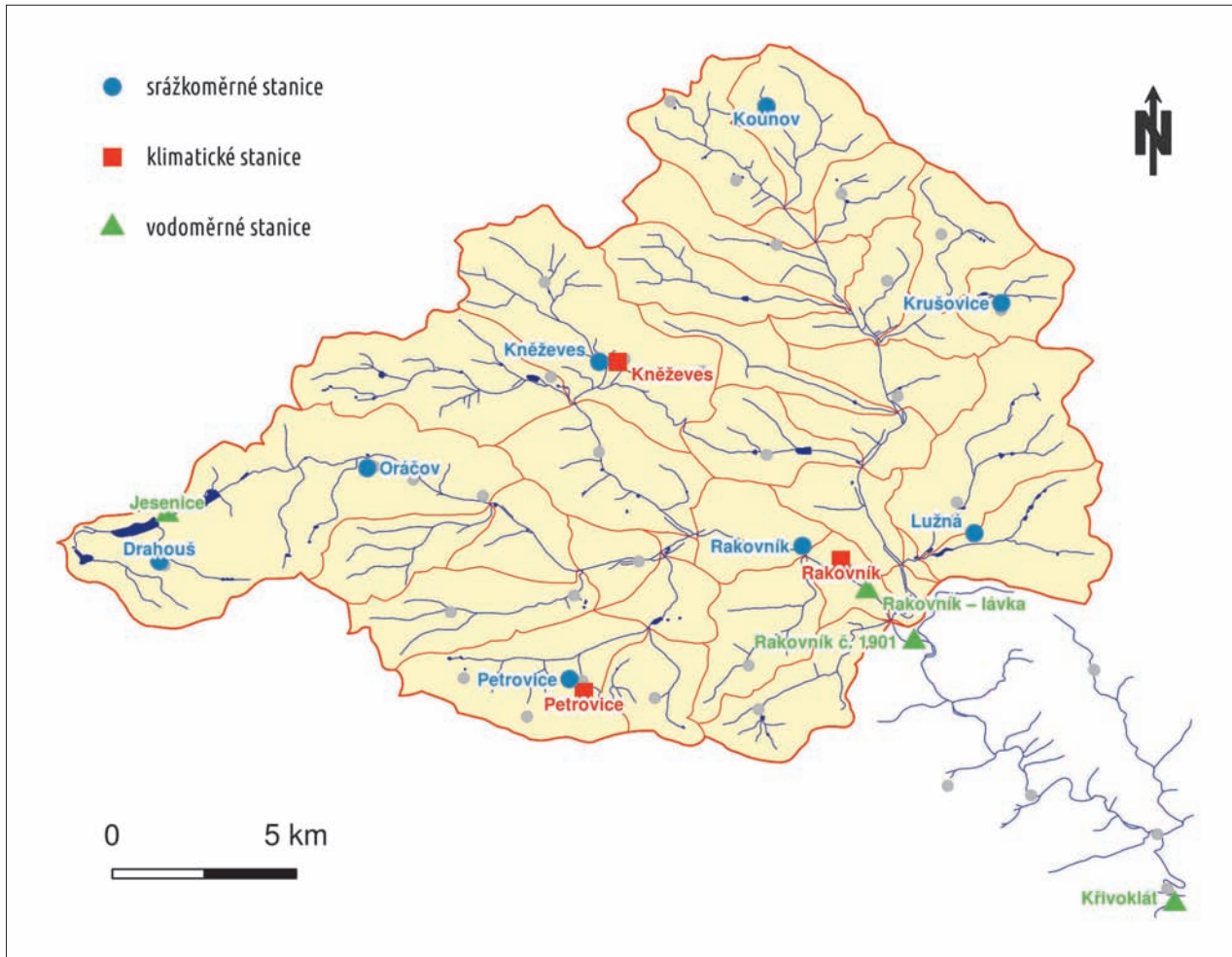
Dlouhodobé průměrné úhrny srážek ve stanicích na povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem z období 1875 až 1925, 1901–1950 a 1961–2008 jsou uvedeny v *tabulce 5*, rozmístění stanic je na *obr. 7*.

Průměry pro povodí byly přepočteny podle gradientu lineárního regresního vztahu mezi nadmořskou výškou stanice a průměrným ročním úhrnem, který je zobrazen na *obr. 8*.

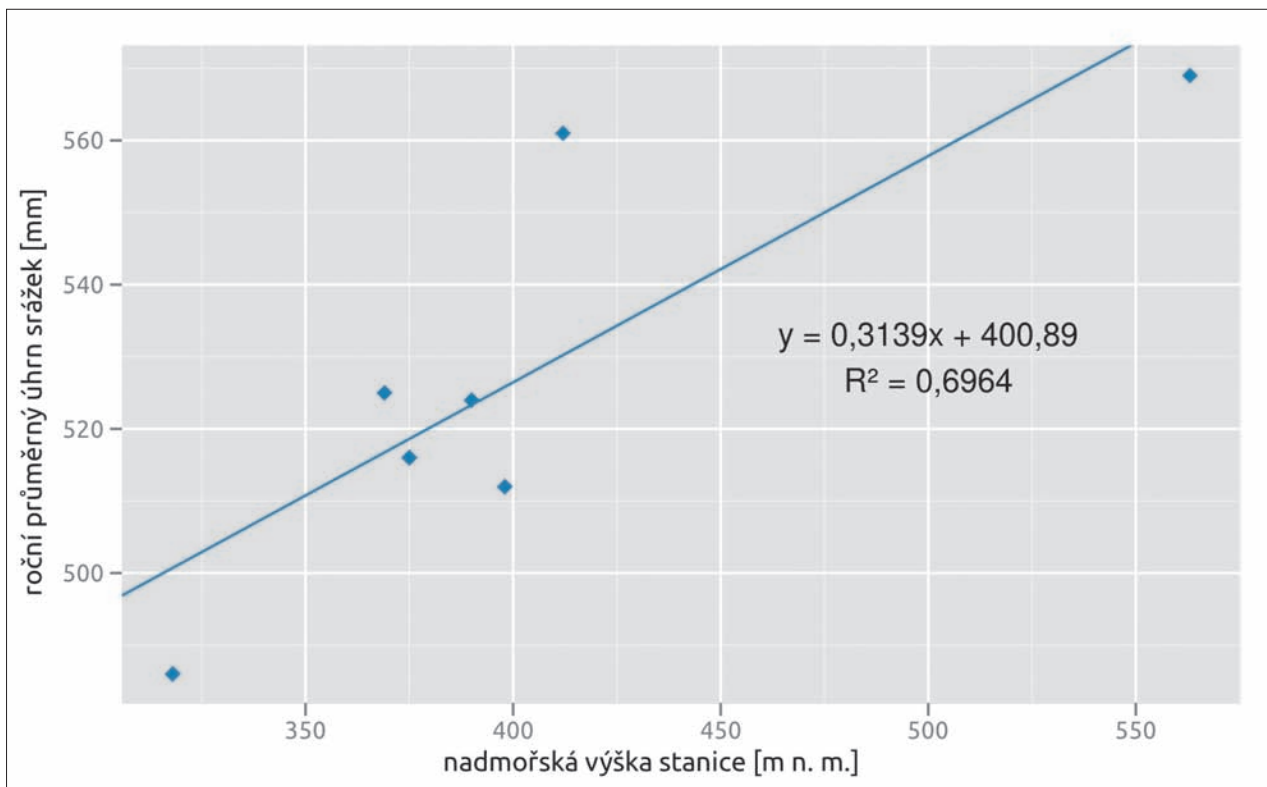
Rozdíly dlouhodobých průměrných výšek srážek pro posuzovaná období jsou velmi malé, z hlediska dlouhodobých ročních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka zřejmě nedošlo k žádným významným změnám. Výjimkou je pokles srážek ve stanici Kounov mezi obdobími 1901–1950 a 1961–2008 o 8,3 %.

Graf na *obr. 8* ukazuje, že plošná proměnlivost dlouhodobých úhrnů srážek není v povodí Rakovnického potoka zanedbatelná. Potvrzuje to i zpracování srážek v gridové síti provedené ČHMÚ, zobrazené na *obr. 9*. Toto zpracování vychází z dat z období 1960–2005 a pro interpolaci využívá časově i plošně proměnný vztah mezi nadmořskou výškou srážkoměrné stanice a úhrnem srážky (Šercl, 2008). Roční srážkové úhrny, pohybující se v rozmezí 484–584 mm, jsou nejnižší pro subpovodí v severozápadní části povodí, zejména na subpovodích Kolečovického potoka, na kterých jsou (kromě horní části Kolečovického potoka) úhrny srážek nižší než 500 mm. Naopak v jižní části povodí dosahují srážky na jednotlivá subpovodí úhrnů nad 510 mm. Subpovodí s nejvyššími úhrny srážek leží při severovýchodním okraji povodí (subpovodí Kounovského a Krušovického potoka) s ročními úhrny nad 530 mm.

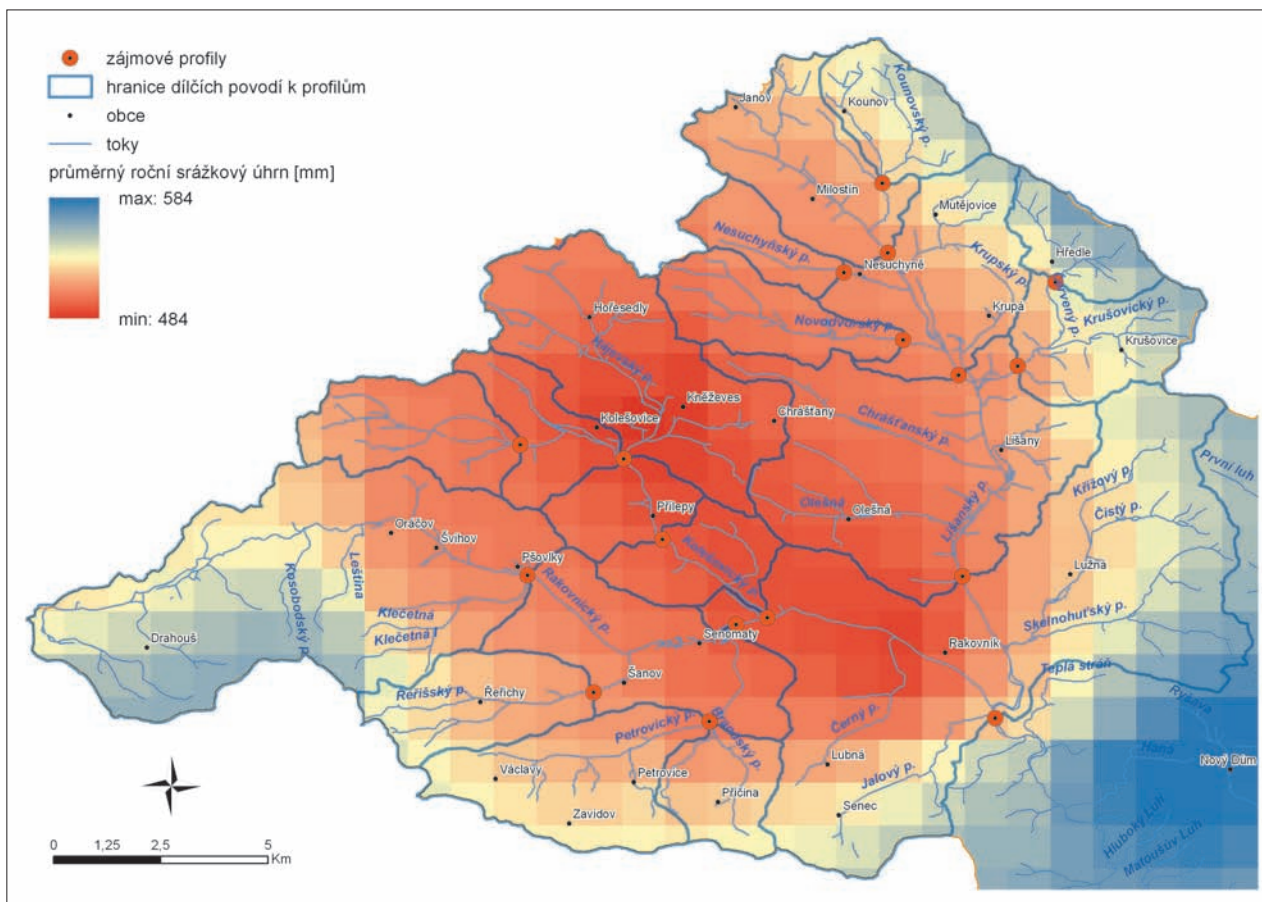
Obdobný rozsah a oblasti nejvyšších úhrnů ukazuje zpracování ročních srážkových úhrnů z období 1875–1925 (Dratva, 1943).



Obr. 7. Srážkoměrné, klimatické a vodoměrné stanice



Obr. 8. Vztah mezi nadmořskou výškou srážkoměrné stanice a dlouhodobým průměrným úhrnem



Obr. 9. Plošné rozložení průměrných ročních úhrnů srážek za období 1960–2005

Tabulka 5. Dlouhodobé průměrné úhrny srážek ve stanicích na povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem

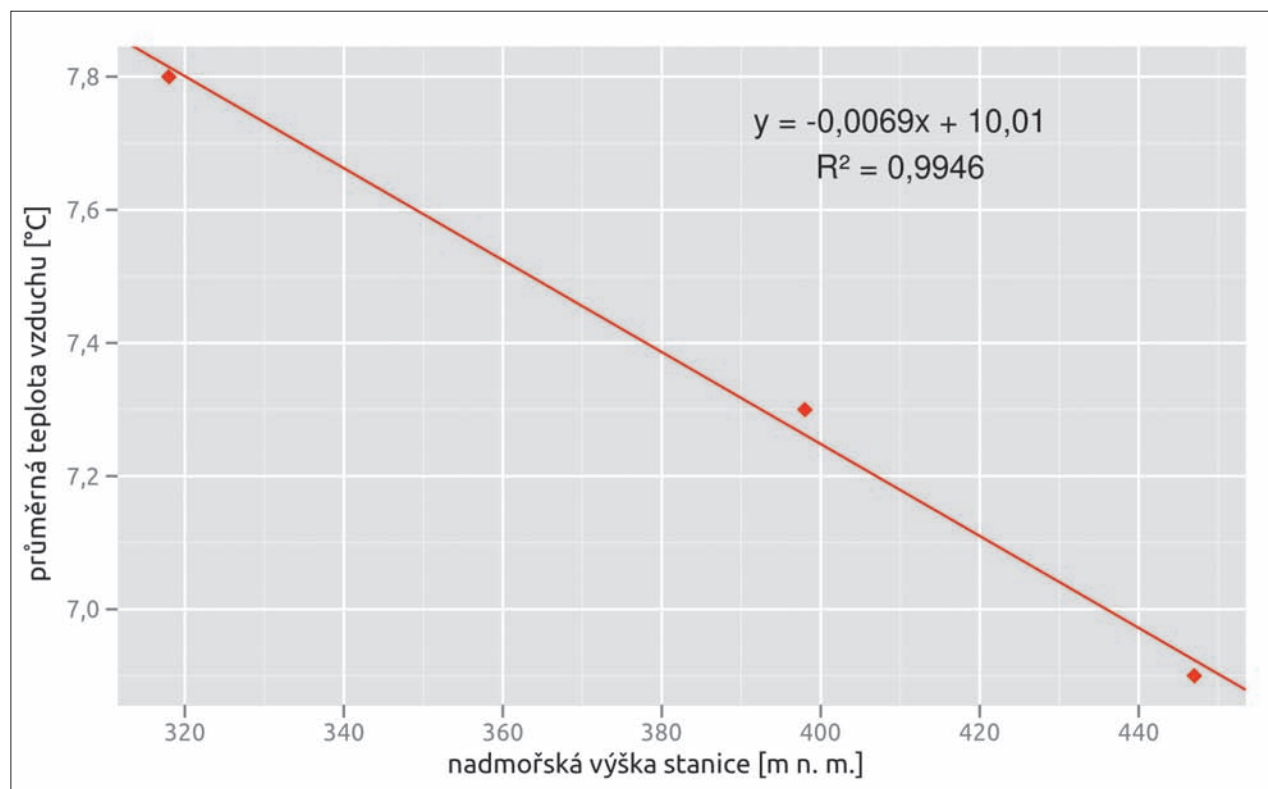
Stanice	Nadmožská výška [m n. m.]	Průměrný roční úhrn srážek [mm]		
		1876–1925	1901–1950	1961–2008
Kounov	412		561	514
Krušovice	390	513	524	534
Drahouš	563	594	569	
Petrovice	398	508	512	
Oráčov	375		516	508
Lužná	369	527	525	
Rakovník	318	491	486	491
průměr pro období				
1875–1925	408	527		
1901–1950	404		528	
1961–2008	374			512
průměr po přepočtu na nadmožskou výšku 407 m n. m.				
1875–1925		526		
1901–1950			529	
1961–2008				522

Teploty vzduchu

Síť klimatických stanic je mnohem řidší než síť stanic srážkoměrných. Pro období 1901–1950 jsou ze zájmového povodí k dispozici údaje pro klimatické stanice Petrovice a Rakovník. Od roku 1995 do roku 2010 prováděla na tomto povodí pozorování klimatická stanice Kněževs, v roce 2011 nahrazená automatickou stanicí Heřmanov. Pro zpraco-

vání vztahu mezi nadmořskou výškou a teplotou byly použity i údaje ze stanice Lány, která leží mimo posuzované povodí.

Průměrné teploty z období 1901–1950 obsahuje *tabulka 6*, vztah mezi nadmořskou výškou a průměrnou roční teplotou vzduchu je na *obr. 10*. Pro průměrnou nadmořskou výšku povodí by podle tohoto vztahu byla průměrná dlouhodobá teplota v povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem cca 7,2 °C.



Obr. 10. Vztah mezi nadmořskou výškou stanice a průměrnou teplotou vzduchu v období 1901–1950

Tabulka 6. Dlouhodobé průměrné teploty v klimatických stanicích v povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem a ve stanici Lány za období 1901–1950

Stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Průměrná teplota [°C]
Petrovice	398	7,3
Rakovník	318	7,8
Lány	447	6,9

Průměrná teplota z pozorování klimatické stanice Kněževy z období 1995–2008 je 8,5 °C, v období 1901–1950 by byla podle přepočtu na nadmořskou výšku stanice asi 7,5 °C, a v současnosti zde jsou tedy podstatně vyšší teploty. Rozbor trendů teplot je uveden v kapitole 3.2.

3.1.6 Hydrologické poměry

V databázi ČHMÚ je z povodí Rakovnického potoka k dispozici řada průměrných denních průtoků od roku 1970. V období před rokem 1970 prováděly pozorování dvě vodoměrné stanice, probíhalo i další pozorování na horním toku v Jesenici. Na přelomu 18. a 19. století byly vodní stavy pozorovány ve stanici Křivoklát. Přehled dostupných dat je uveden v *tabulce 7*. Rozmístění vodoměrných stanic je znázorněno na *obr. 7*.

Pro rozbor dlouhodobého kolísání a trendů je k dispozici řada z vodoměrné stanice Rakovník. Při předběžných analýzách a pokusech modelovat hydrologickou bilanci povodí nad touto stanicí se některé části řady jeví jako problematické. Na základě podkladů poskytnutých ČHMÚ (řady vodních stavů, výsledky hydrometrických měření, měrné

křivky průtoku, zaměření morfologie stanice po povodni v roce 1981) proto bylo ověřeno a rekonstruováno vyčíslení průměrných denních průtoků celé této řady. Zkušenosti s řešením úlohy tohoto typu, které bylo zřejmě provedeno v ČR poprvé, byly zveřejněny v článku Kašpárek (2009).

Při odvozování hydrologických charakteristik pro základní dílo československé hydrologie – Hydrologické poměry III (1970) tedy nebyla žádná průtoková řada z povodí Rakovnického potoka k dispozici. V roce 1985, kdy bylo dokončeno další systematické zpracování hydrologických charakteristik pro období 1931–1980, byla využita jen poměrně krátká pozorovaná řada průtoků Rakovnického potoka v Rakovníku s počátkem v roce 1970.

Charakteristiky dlouhodobé hydrologické bilance, m-denní a N-leté průtoky podle Hydrologických poměrů III (1970), uvádíme v *tabulkách 8–10*.

Tabulka 7. Přehled vodočetných pozorování v povodí Rakovnického potoka

Stanice	Plocha povodí [km ²]	Období pozorování vodních stavů	Vyhodnoceny průtoky
Jesenice	cca 4	IV.1965–IV.1970	ano
Rakovník-lávka	cca 163	IV.1965–III.1970	ano
Rakovník-soutok Rakovník č. 1901	302,3	III.1965–2009	ano od roku 1966
Křivoklát	cca 368	1899–1929	ne

Tabulka 8. Charakteristiky hydrologické bilance podle Hydrologických poměrů III

Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Roční výška srážek [mm]	Roční výška odtoku [mm]	Rozdíl výšky srážek a odtoku [mm]	Průtok [m ³ .s ⁻¹]	Specifický průtok [l.s ⁻¹ .km ⁻²]
Rakovnický p.	nad Kolečovickým p.	90,79	529	83	446	0,24	2,64
Kolečovický p.	ústí	52,83	508	66	442	0,11	2,08
Rakovnický p.	pod Kolečovickým p.	143,62	521	77	444	0,35	2,44
Rakovnický p.	nad Lišanským p.	163,70	517	73	444	0,38	2,32
Lišanský p.	ústí	129,14	516	73	443	0,30	2,32
Rakovnický p.	pod Lišanským p.	292,84	517	73	444	0,68	2,32

Tabulka 9. M-denní průtoky podle Hydrologických poměrů III [m³.s⁻¹]

Tok	Profil	Překročení dnů v roce						
		30	90	180	270	330	355	364
Rakovnický p.	nad Kolečovickým p.	0,4	0,23	0,15	0,11	0,07	0,04	0,02
Kolečovický p.	ústí	0,19	0,1	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01
Rakovnický p.	pod Kolečovickým p.	0,59	0,33	0,22	0,15	0,11	0,05	0,03
Rakovnický p.	nad Lišanským p.	0,64	0,36	0,24	0,17	0,12	0,06	0,03
Lišanský p.	ústí	0,51	0,28	0,19	0,13	0,09	0,04	0,03
Rakovnický p.	pod Lišanským p.	1,15	0,64	0,43	0,3	0,21	0,1	0,06

Tabulka 10. N-leté průtoky podle Hydrologických poměrů III [m³.s⁻¹]

Tok	Profil	Doba opakování let						
		1	2	5	10	20	50	100
Rakovnický p.	nad Kolečovickým p.	10	12	16	19	23	30	41
Kolečovický p.	ústí	8	10	13	16	19	25	33
Rakovnický p.	pod Kolečovickým p.	14	17	21	26	33	41	56
Rakovnický p.	nad Lišanským p.	15	18	23	28	31	44	60
Lišanský p.	ústí	14	17	21	25	30	41	55
Rakovnický p.	pod Lišanským p.	24	29	38	47	57	77	102

V tabulkách nejsou uvedena data pro vodoměrnou stanici Rakovník (plocha povodí cca 302 km²), ta se však jen velmi málo odlišují od profilu Rakovnický potok pod Lišanským potokem (plocha povodí cca 293 km²). To však platí jen pro neovlivněné průtoky, v současné době jsou průtoky ve vodoměrné stanici větší nejen o příspěvek z mezipovodí, ale také o poměrně významný výtok z čistírný odpadních vod (ČOV) Rakovník.

V tabulce 11 jsou uvedeny průměrné roční výšky srážek, průměrné roční výšky odtoku a další charakteristiky použité pro období 1931–1960 a 1931–1980 a vypočtené z aktuálně vyhodnocených pozorovaných řad pro období 1966 až 2008 a 1988–2008. Změny ve srážkách nejsou příliš velké, změny odtokových výšek jsou však značné. V posledním z uvažovaných období 1988–2008 je výška odtoku jen 53 % hodnoty odvozené pro období 1931–1980.

Takto drastický pokles průměrného průtoku je velmi neobvyklý, vyžaduje podrobný rozbor a identifikaci jeho příčin. Analýze trendů v pozorované řadě srážek a průtoků jsou věnovány části kapitoly 3.2.

Z uvedeného porovnání je zřejmé, že dosud používané charakteristiky průměrných průtoků a jim odpovídajících m-denních průtoků neodpovídají hydrologickým poměrům, jaké byly v povodí Rakovnického potoka v posledních 20 letech a jaké jsou v současnosti.

Tabulka 11. Charakteristiky hydrologické bilance Rakovnického potoka ve vodoměrné stanici Rakovník v různých obdobích

Vyčísleno podle dat z období	Průměrná roční výška srážek [mm]	Průměrná roční výška odtoku [mm]	Rozdíl výšky srážek a odtoku [mm]	Průměrný průtok [m ³ .s ⁻¹]	Specifický průměrný průtok [l.s ⁻¹ .km ⁻²]
1931–1960	517	73	444	0,68	2,32
1931–1980	526	90	436	0,867	2,87
1966–2008	512	64	448	0,611	2,02
1988–2008	497	48	449	0,46	1,52

3.1.7 Užívání vod

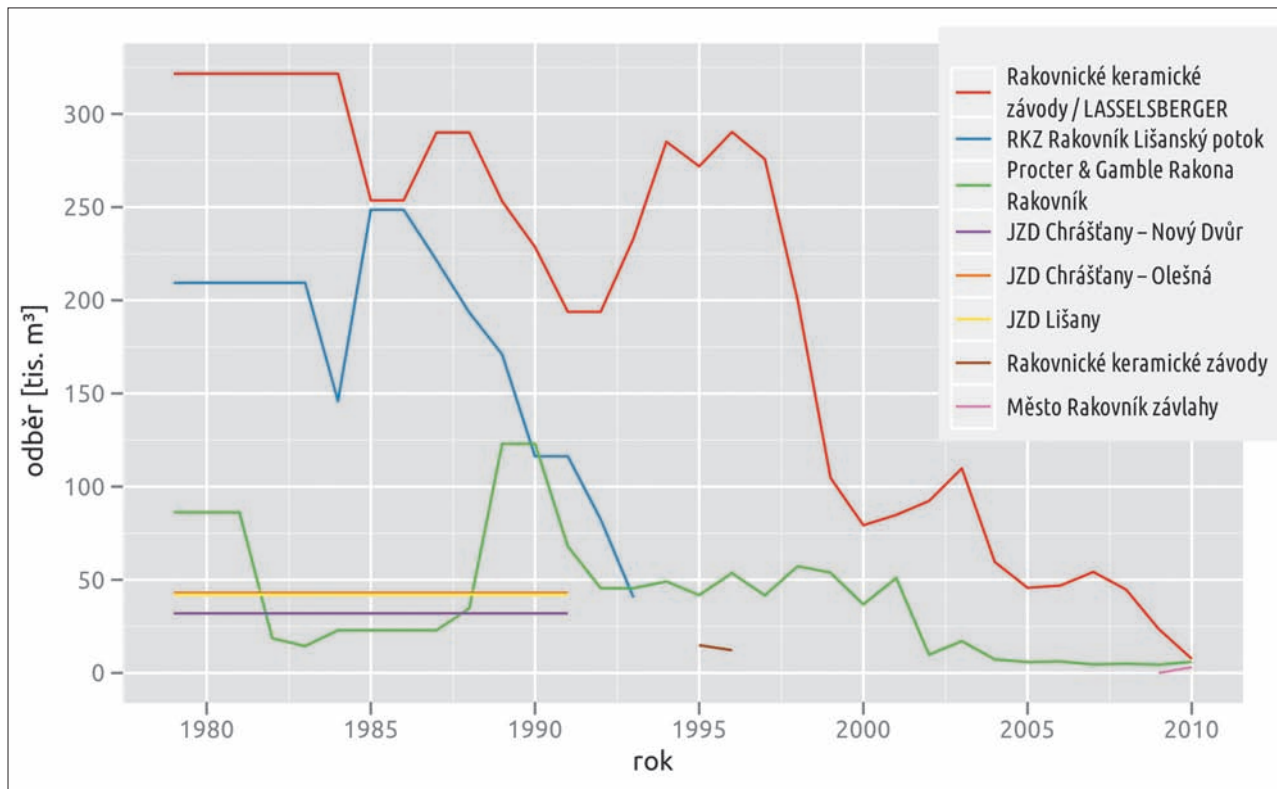
Údaje týkající se užívání vod popisují odběry vody (povrchové a podzemní) a vypouštění, která povrchové vody dotují. Základním podkladem je vodohospodářská bilance vedená podniky Povodí, ve které jsou data o užívání rozdělena do tří skupin (odběry povrchových vod, odběry podzemních vod a vypouštění).

Povinnost ohlašovat jednou ročně správcům povodí údaje o odběrech a vypouštění (zejména množství a jakost, popř. údaje o vzdouvání a akumulaci) platí od množství vody většího než 6 000 m³ za kalendářní rok či 500 m³ za kalendářní měsíc (popř. od vzdušného či akumulovaného objemu 1 mil. m³). Většina odběrů v povodí Rakovnického potoka je měřena.

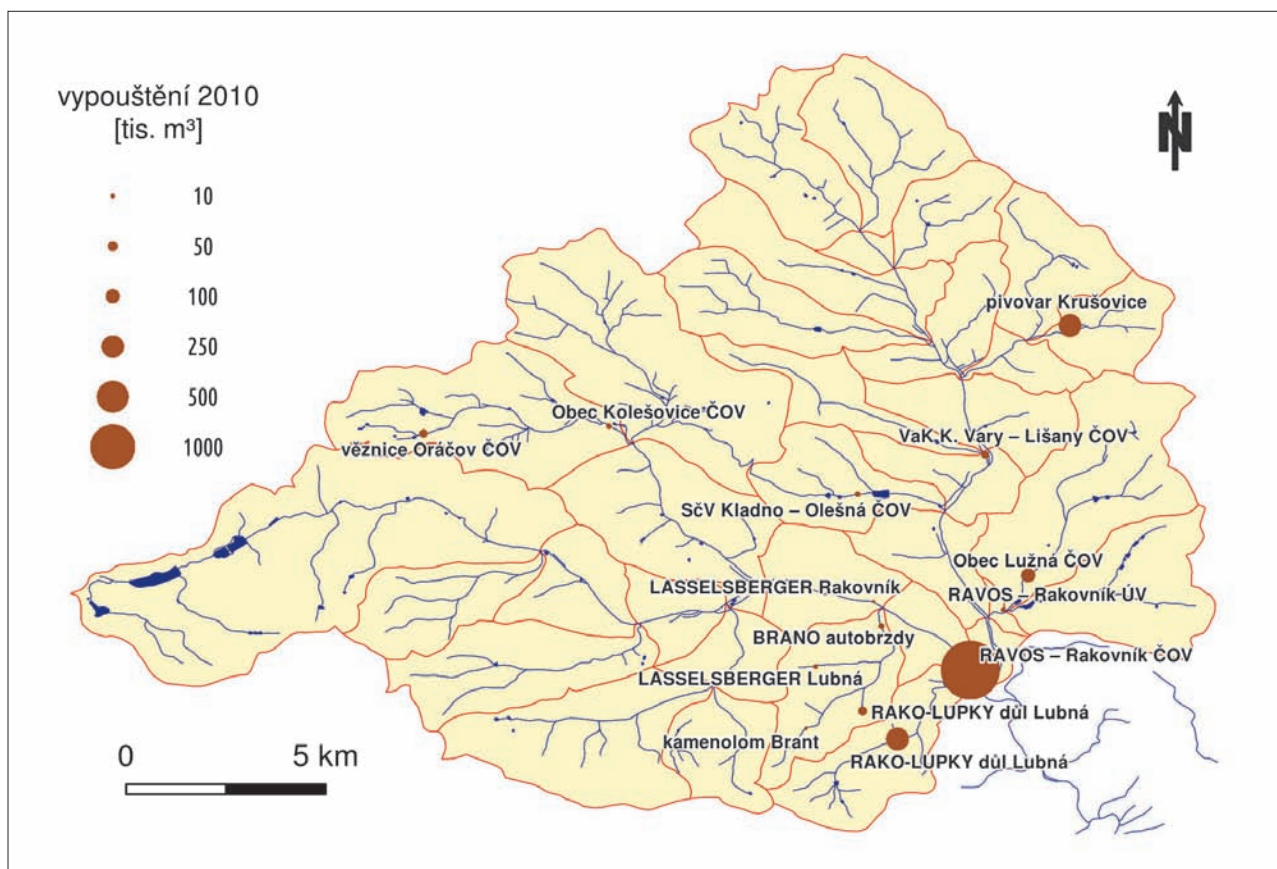
Povrchové vody

Odběry z povrchových vod v povodí Rakovnického potoka jsou znázorněny na obr. 11. Počet uživatelů klesl ze šesti na počátku 80. let na tři v roce 2010 a celkový odběr se snížil ze 700 tis. m³ na 15–50 tis. m³. Nejvýznamnějšími uživateli byly Rakovnické keramické závody a Rakona Rakovník.

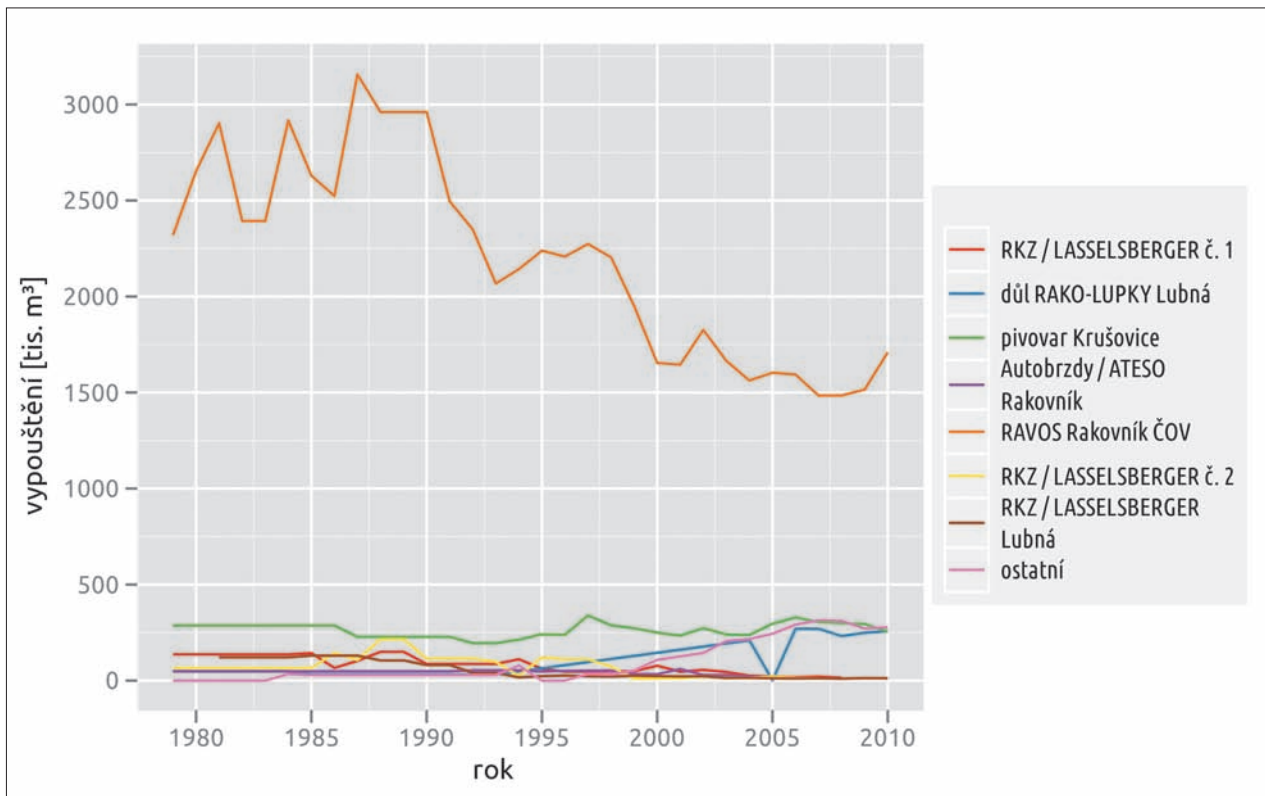
Plošné rozmístění vypouštění do povrchových vod je na obr. 12, na obr. 13 je zobrazeno vypouštěné množství podle jednotlivých uživatelů. Největší množství je vypouštěno z ČOV v Rakovníku. Výrazný pokles vypouštěného množství z vodárenské soustavy koresponduje s poklesem odběrů.



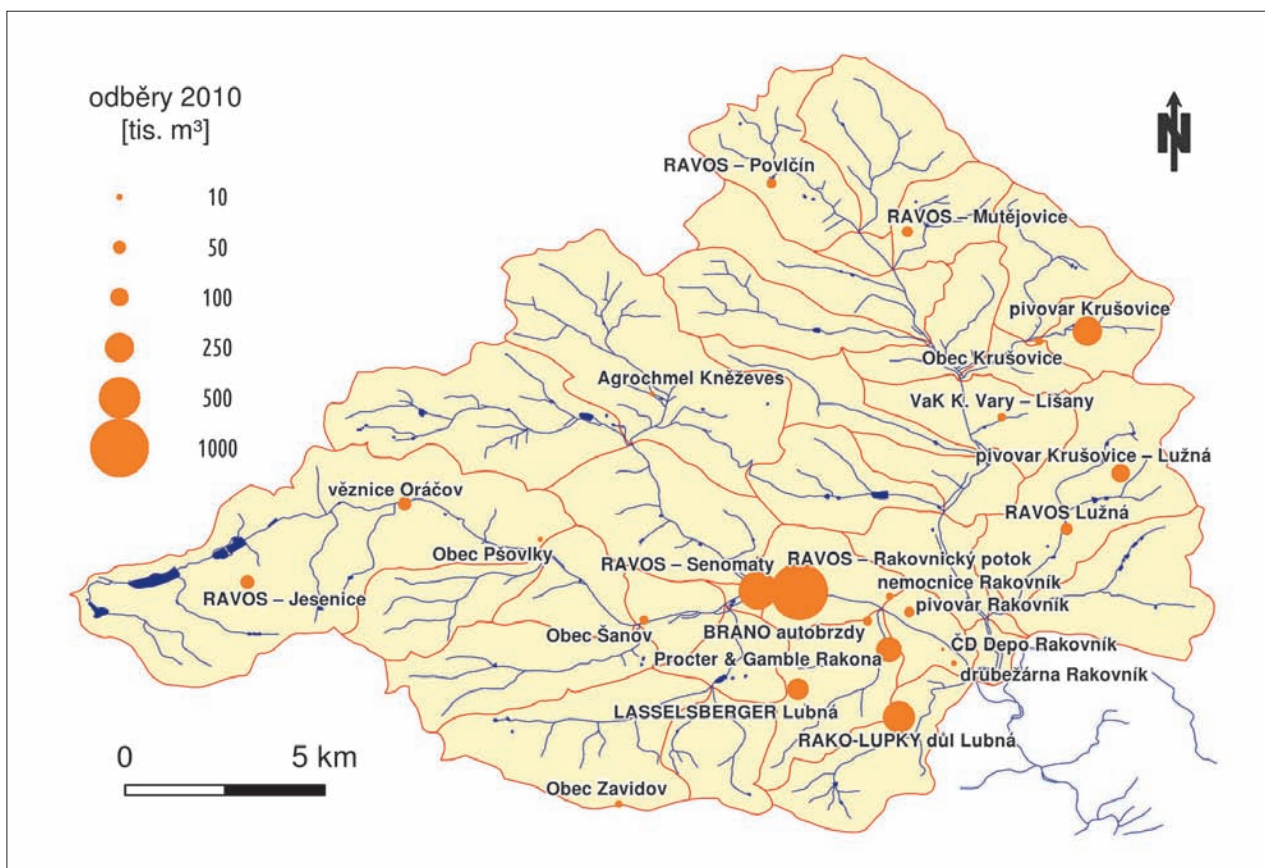
Obr. 11. Odběry z povrchových vod



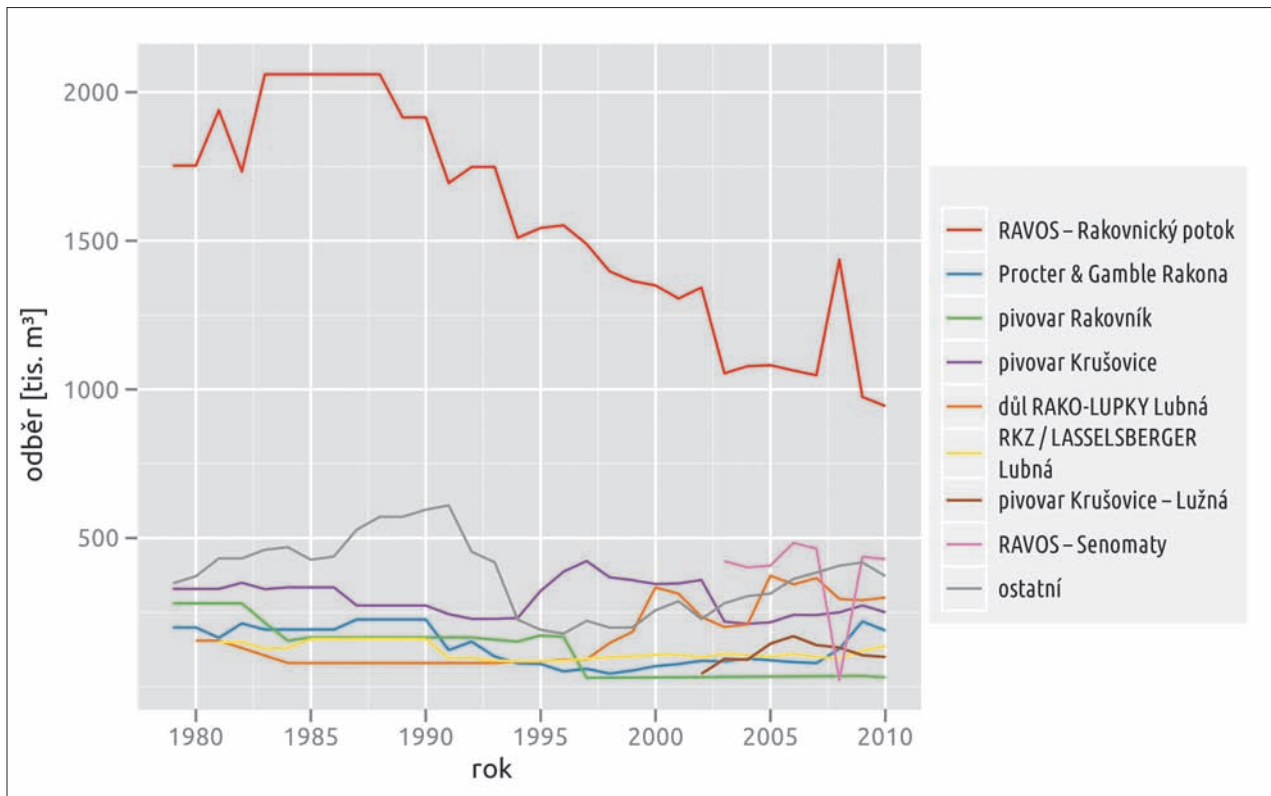
Obr. 12. Plošné rozmístění a vypouštěné množství v roce 2010



Obr. 13. Vypouštění do povrchových vod



Obr. 14. Plošné rozmístění a množství odběrů podzemních vod v roce 2010



Obr. 15. Odběry z podzemních vod



Obr. 16. Celková bilance užívání vody v povodí Rakovnického potoka za období 1979–2010

Podzemní vody

Plošné rozmístění odběrů z podzemních vod je zachyceno na *obr. 14*. Nejvýznamnější odběry jsou kolem měst Rakovník a Krušovice. Největší nároky na vodárenské odběry má firma RAVOS, s.r.o. Odběry jednotlivých subjektů za období 1979–2010 zobrazuje *obr. 15*. Za posledních deset let vzrostla potřeba vody z podzemních zdrojů zhruba o 500 tis. m³.

Hydrologický režim v povodí Rakovnického potoka je nejvíce ovlivněn jímáním vody pro vodárenské odběry vodovodu Rakovník, tento vliv je dále popsán v kapitole 3.3.

Bilance

Celková bilance užívání vod v povodí Rakovnického potoka je zobrazena na *obr. 16*. V posledním desetiletí dochází k nárůstu rozdílu mezi vodou odebranou a zpět vypuštěnou, tato hodnota se vrací na úroveň počátku devadesátých let. Ztráta vody cca 50 000 m³.rok⁻¹ odpovídá průtoku 1,6 l.s⁻¹, takže se na celkovém poklesu průtoků podílí jen malou měrou. Pěstování chmele na části území může v suchých letech vést k potřebě dalších odběrů pro závlahy. Podle studie disponibilních vodních zdrojů pro závlahu chmelařských oblastí je však již v současnosti možnost závlah v zájmovém území značně omezena z hlediska dostupnosti vodních zdrojů a je doporučován převod vody z jiných povodí (Dostál et al., 2008).

Existující rybníky

Celková výměra a retence vodních nádrží

V povodí Rakovnického potoka se nachází přibližně 85 malých vodních nádrží (MVN), umístění nejvýznamnějších z nich ukazuje *obr. 17*. Celková výměra všech nádrží je asi 143 ha při započítání celkové plochy Velkého Jesenického rybníku, který má největší rozlohu (44,4 ha). V současnosti není tento rybník zcela napouštěn a odhad jeho rozlohy činí 15,4 ha. Po korekci tedy dosahuje velikost celkové výměry rybníků 114 ha.

Převážná část MVN v povodí Rakovnického potoka může být klasifikována jako retenčně vodohospodářsky nevýznamná (jen 30 % má plochu zátopy větší než 1 ha), průměrná výměra nádrže činí 1,54 ha (resp. 1,93 ha bez korekce), obě hodnoty jsou vyšší než 75% kvantil plochy rybníků.

Výška povrchové retence (množství vody zadržené MVN) je při odhadu průměrné hloubky v nádržích 1 m rovna odtokové výšce 4 mm (bez korekce), resp. 3 mm (s korekcí). Při uvažované průměrné hloubce nádrží 2 m je výška povrchové retence v nádržích rovna 8 mm, resp. 7 mm.

Využití vybraných vodních nádrží a manipulace s vodou

Manipulace s vodou je uvedena pro nádrže s dostupnými podklady. Pro nádrže Oráčov a Zámecký rybník nejsou údaje o manipulaci k dispozici.

Nádrže v jesenické soustavě (Zvíkovský, Kofiler, Velký Jesenický, Horní a Dolní Fikač, Mlýnský) mají charakter jednoletých až dvouletých nádrží, čili k vypouštění nádrže dochází jednou až dvakrát za dva roky, a to na podzim nebo na jaře během tří až 25 dní podle velikosti nádrže. Vypouštění nádrží může pozitivně ovlivňovat průtoky v níže položených partiích Rakovnického potoka. Při vypouštění více rybníků ve stejném období jsou však nejprve vypouštěny rybníky níže v povodí, aby mohly být při napouštění dotovány z výše položených nádrží. Podle zkušeností je v období napouštění rybníků negativní ovlivnění průtoků v toku pod jesenickou soustavou silné, všechna přítékající voda je zadržována (kromě minimálních zůstatkových průtoků) pro plnění nádrží.

Z vodohospodářsky významných rybníků, ke kterým byly k dispozici manipulační řady, je pouze rybníční soustava Velkého Jesenického rybníka spojena s odběry pro vodovod v Jesenici. Vzhledem k této funkci nádrží je využití jesenických rybníků pro nalepšování průtoků nevhodné a pro správce vodních nádrží nežádoucí.

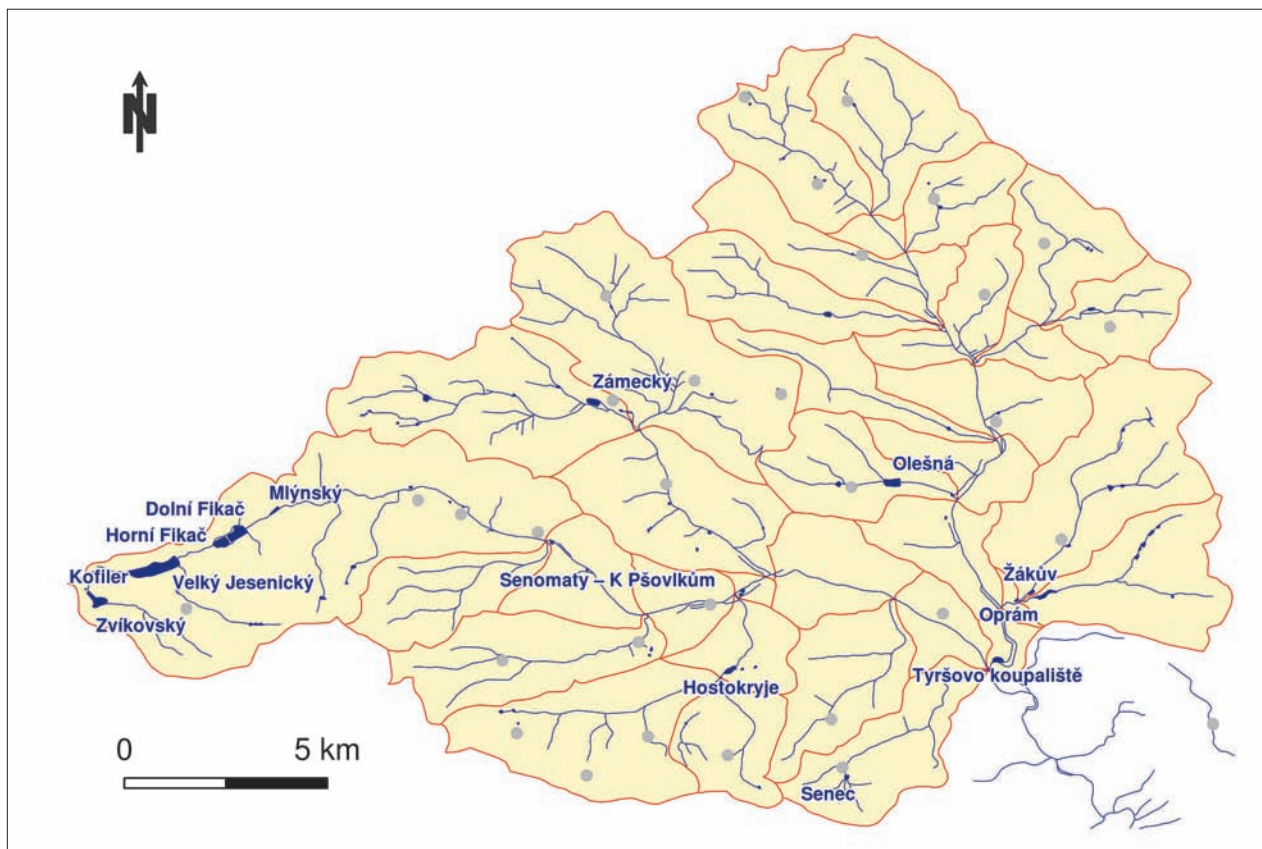
Rybník K Pšovlkům byl obnoven v roce 2004, má funkci krajinyotvornou, ekologickou a vodohospodářskou (akumulační s uvažovaným nalepšováním a protipovodňovou).

Nádrž Hostokryje na Petrovickém potoce má funkci závlahovou a funkcí doplňkovou je chov ryb. K významnému ovlivnění průtoků dochází při napouštění a vypouštění nádrže (max. $0,170 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ po čtyři dny), které je však nepravidelné.

Závlahovou nádrží je také nádrž Olešná na potoce Olešná, doplňkovou funkcí je chov ryb. Manipulace na této nádrži je pouze občasná, maximální vypouštěné množství činí $0,220 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

V katastru města Rakovník jsou popsány tři nádrže (průtočný Žákův rybník, neprůtočné Tyršovo koupaliště a Oprám), všechny mají nepravidelný režim vypouštění a ovlivnění průtoků vypouštěním je nahodilé.

Hlavním účelem nádrže Senec je závlaha zemědělských pozemků, doplňkovým je chov ryb.



Obr. 17. Umístění popsaných vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka

Retenční prostory vybraných vodních nádrží

Odhadovaný objem retenčních prostorů šesti rybníků jesenické soustavy činí $632\,566 \text{ m}^3$.

Největší vliv na snížení kulminačního průtoků a transformační vlny má v jesenické soustavě Velký Jesenický rybník (snížení kulminace Q_{100} z $15,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $2,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), objem retenčního prostoru je $293\,780 \text{ m}^3$. Objemy retenčních prostorů nádrží v jesenické soustavě dohromady jsou srovnatelné s retenčním prostorem Velkého Jesenického rybníka (průtočné Zvíkovský, Kofíler a Mlýnský – $122\,486 \text{ m}^3$, neprůtočné Horní a Dolní Fikač – $216\,300 \text{ m}^3$), retenční schopnost neprůtočných nádrží je ale výrazně omezena kapacitou jejich náhonu.

Rybník K Pšovlkům, kde je jednou z hlavních funkcí i funkce protipovodňová, disponuje retenčním prostorem o objemu $31\,520 \text{ m}^3$. Jeho význam zvyšuje mokřad v zadní části rybníka s rozlohou $2\,500 \text{ m}^2$ při hloubce $0,2\text{--}0,4 \text{ m}$.

Nádrž Hostokryje je z hlediska retence málo významná, objemu retence $7\,900 \text{ m}^3$ odpovídá snížení návrhového průtoků Q_{100} z $18,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $17,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Závlahová nádrž Olešná je s retenčním prostorem $62\,000 \text{ m}^3$ nejvýraznějším prvkem pro retenci na toku Olešná, kulminační průtok Q_{100} je snížen z $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na $4,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Vliv neprůtočných nádrží Oprám a Tyršovo koupaliště na retenci se dá předpokládat jako minimální, u průtočného Žákova rybníka je možné retenční objem orientačně stanovit na 15 000 m³.

Nádrž Senec má retenční prostor 13 280 m³, který sníží kulminační průtok Q_{100} z 5,5 m³.s⁻¹ na 0,4 m³.s⁻¹. Výraznou efektivitu transformace je možné přisoudit malému návrhovému průtoku.

Zaniklé rybníky

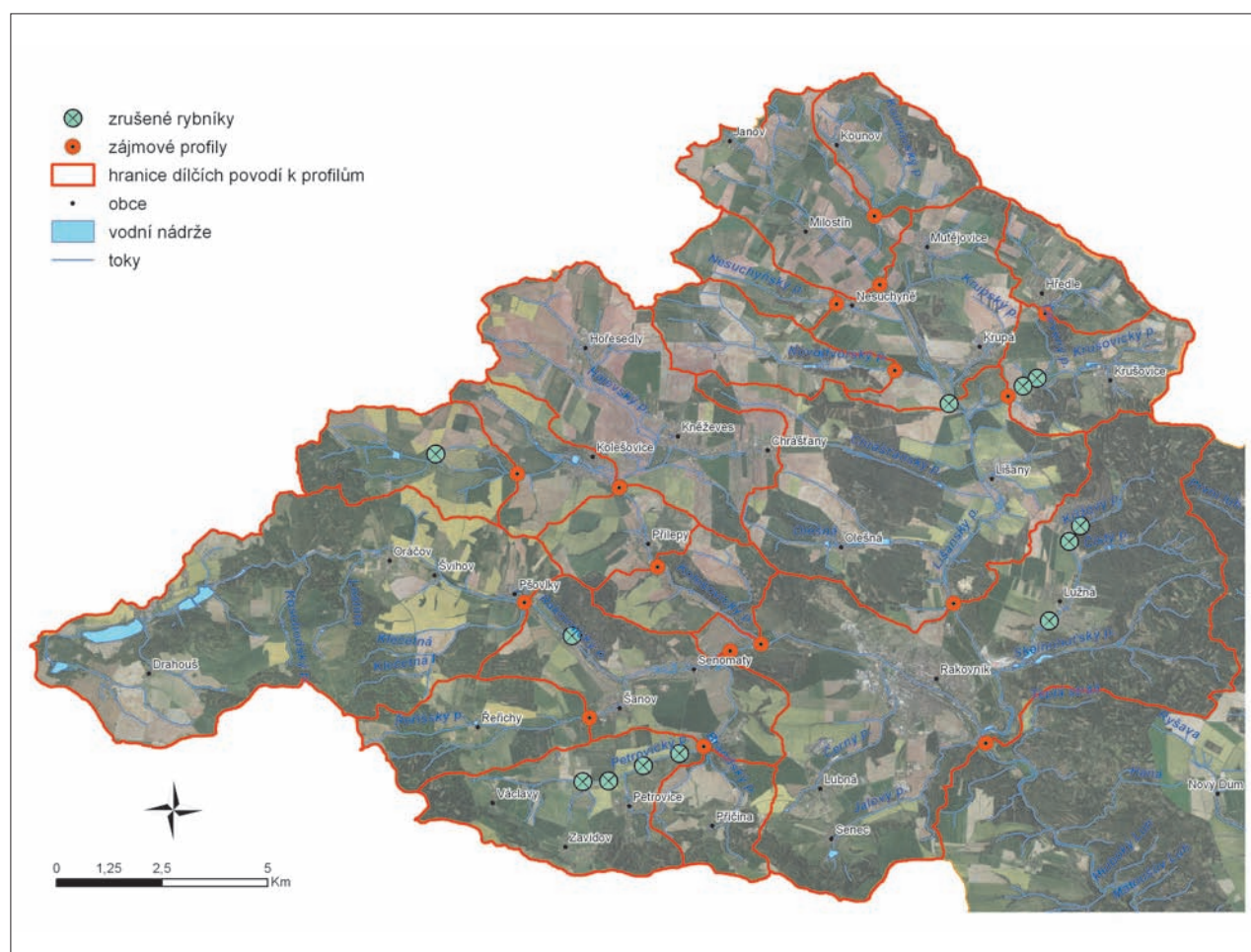
Na základě materiálu zpracovaného v roce 1964 Ludvíkem Boudou a Antonínem Cikánkem (Bouda a Cikánek, 1964; autoři využili materiály s informacemi již od roku 1436) a historických map (Müllerova mapa z roku 1720, mapa z roku 1783 a mapa z roku 1852) byly identifikovány lokality zrušených rybníků, proveden terénní průzkum s cílem nalézt hráze zrušených rybníků nebo jejich zbytky. Souhrnně jsou zrušené vodní nádrže vyznačeny na obr. 18.

Rybníky u obce Krušovice

Na potoce pod Krušovicemi bývaly tři rybníky, v současné době je zde jeden rybník, nejbližší ke vsi Krušovice, u pivovaru. V prostoru prostředního rybníka je pole, kterým protéká v upraveném korytu Krušovický potok, soutok s Červeným potokem, který býval nad rybníkem, je nyní níže po proudu. Po hrázi ani rybníku nejsou patrné stopy.

Ze spodního rybníka zůstala sice zachována hráz, ale rybník je po úroveň koruny zavezen a je zde pole. Červený potok (pod soutokem s Krušovickým) obtéká prostor bývalého rybníka po severní straně v hluboké strmé rokli. V prostoru bývalého rybníka protéká malý levostranný tok, u kterého je používán udržovaný vodní zdroj.

Obnovení původních rybníků není pro současné nevyhovující morfologické poměry vhodné. Plocha polí v bývalé zátopě je kvalitní, suchá a vysoko nad hladinou současných toků.



Obr. 18. Poloha zrušených rybníčních nádrží



Rybník Chobot u Krupé

Pod kostelem sv. Gotharda býval starobylý a velký rybník Na chobotě, 28,6 ha (Bouda a Cikánek, 1964). Byl vypuštěn po roce 1852 pro nezaplacení vyvazovacích poplatků obcí. Rybníkem protékal Lišanský potok.

V současné době vede po tělese mohutné hráze železniční trať Krupá–Kolešovice (od roku 2006 bez pravidelné dopravy). V prostoru rybníka je pole (obr. 19), v horní části louka a mokřiny.



Obr. 19. Pohled z hráze bývalého rybníka Chobot směrem ke kostelu a Krupé

Obnovení rybníka by bylo možné, je zachována celá hráz (koruna 5 m nad hladinou potoka), v prostoru rybníka není kromě sloupu vedení vysokého napětí žádný objekt a v horní části je i v současné době podmáčená louka a mokřiny. V tomto prostoru však prochází trasa plánované rychlostní komunikace Praha–Karlovy Vary.

Rybníky u Lužné

Na Čistém potoce (výše Od Kříže) bývalo několik rybníků, na Müllerově mapě je zakreslen jeden, na mapě z roku 1783 je pět menších rybníčků:

- V místě prvního rybníčku, nad silnicí od Lužné II na východ (směr Ruda) je mokřina se zbytky stavidel (nejsou od rybníka). Po hrázi vede silnice. O něco výše je nový obtékaný rybník, pravděpodobně sádka.
- Hráz dalšího, Flandrovského rybníku byla o 290 m níže po proudu a je dodnes zachována. V prostoru rybníku je pole, nesklízená louka a okraj lesa.
- Další rybník, který se nachází v obci Lužná, je zachován a je označován jako Požární rybník.
- V místě Královského rybníka pod obcí Lužná je mokřad s rákosím. Hráz byla pravděpodobně v místě, kde končí mokřad a začíná louka, je zde krátký úsek s větším spádem potoka a odvodňovací strouha, po hrázi samotné se žádné stopy nezachovaly.
- Nejníže položený rybník je zachován, jmenuje se Žákův rybník.

Horní rybníky, tj. rybník nad silnicí od Lužné II a pod touto silnicí, by bylo snadné a patrně i vhodné obnovit. Náročnější by bylo obnovit rybník pod Lužnou. Je otázkou, zda by z krajinného a přírodního hlediska bylo vhodné zatopit stávající mokřad, či popř. jen mírně zvednout hladinu potoka.



Rybníky u Petrovic

Na Petrovickém potoce bývala kaskáda rybníků. Tři jsou na Müllerově mapě, na mapě z roku 1783 jsou čtyři, na mapě z roku 1852 je jeden rybník u Malého mlýna nad Hostokryjemi:

- Nejvýše položený rybník Kopetz, v místě pravostranného přítoku od Zavidova, je zaniklý beze stopy. V místě je obhospodařovaný oplocený pozemek.
- Níže po proudu byl druhý rybník, Šrámek, silnice Petrovice–Šanov vede pravděpodobně po jeho hrázi. V prostoru rybníka je pole (*obr. 20*).
- V místě výše položeného rybníka, který ležel pod silnicí směrem po toku k Hostokryjím, je mokřina zarostlá rákosem. Zbytek hráze se stromy je patrný na levém břehu, na pravém je pole. Obnova by byla možná.
- Níže položený rybník u Malého mlýna je zcela zaniklý, po samotném mlýnu se nedochovala žádná stopa. Je zde pole, místo hráze připomíná jen mírný rozdíl výšky terénu na obou březích. V prostoru rybníka se podle geofondu nacházelo důlní dílo – uhelná šachta pravděpodobně z 19. století. Je možné, že rybník byl vypuštěn kvůli těžbě. Obnova by byla možná.
- Dále po proudu je u vsi Hostokryje udržovaný rybník. V materiálu Boudy a Cikánka je uveden zaniklý velký rybník nad Hostokryjemi.



Obr. 20. Celkový pohled na místo bývalého rybníka Šrámek u Petrovic

Rybníky u Šanova

Na Rakovnickém potoce zde bývaly dva velké rybníky:

- V místě rybníka položeného výše po proudu, u Malcovského mlýna, je zanedbaný mokřad, hráz je z větší části zaniklá. Na pravém břehu jsou patrné zbytky budovy mlýna, za kterou je malý rybníček, který není napájen Rakovnickým potokem. Na levém břehu v lese je zbytek hráze. V místě hráze je krátký úsek s větším spádem. Prostorem rybníku prochází vedení elektrické energie 22 kV.
- Druhý rybník, Mühlhasenský, je znovu obnoven a napuštěný.

Rybník u bývalého Malcovského mlýna by bylo snadné a vhodné obnovit.

Oráčovský rybník

Rybník je na mapě z roku 1872. Je zde zachována celá hráz rybníka. V prostoru rybníka je zanedbaná louka, malá vodní plocha a pole. Obnova by byla snadná, hráz se zdá být v dobrém stavu.



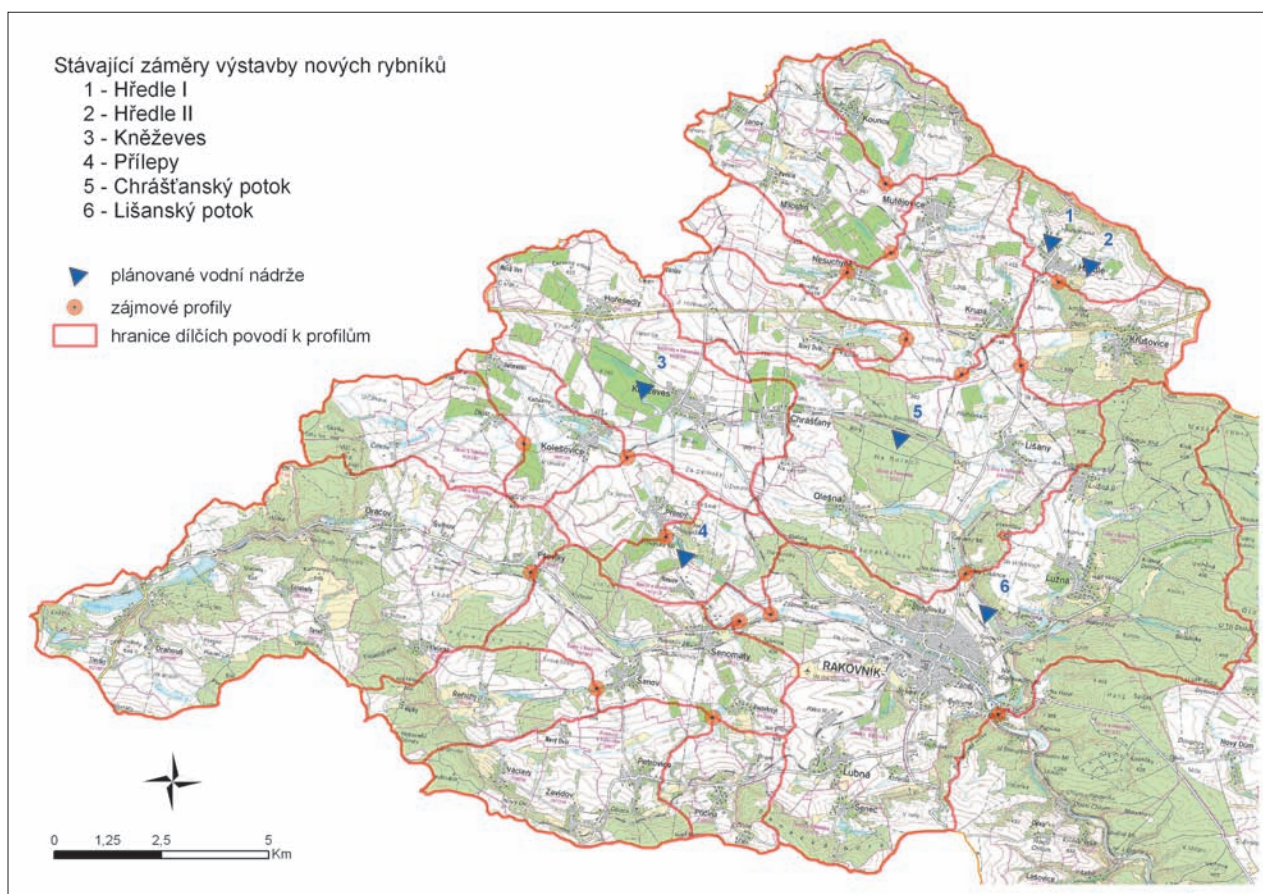
Záměry výstavby rybníčních nádrží

V současnosti je v povodí Rakovnického potoka plánována výstavba nových rybníků. Čtyři nové malé vodní nádrže jsou ve stavu projektové dokumentace, další dvě jsou naplánovány. Schéma umístění nových rybníků je uvedeno na obr. 21. Hydrologické podklady jsou k dispozici u záměrů s pokročilým stupněm realizace (Hředle I, Hředle II, Kněževes a Přílepy), navržená výměra se pohybuje v rozmezí 0,23–2,1 ha.

V roce 2011 již probíhala výstavba malé vodní nádrže na Řeřiškém potoce nad Šanovem.

Dále jsou podle sdělení pracovníků ZVS Rakovník plánovány formou záměru malé vodní nádrže Chrášťanský potok a Lišanský potok, rámcově je počítáno s výměrou pro každou nádrž cca 2 ha.

Uvedené nově vznikající nebo plánované nádrže nemají významnou vodohospodářskou ani retenční funkci.



Obr. 21. Poloha plánovaných vodních nádrží

3.2 Trendy meteorologických a hydrologických veličin

Pro analýzu trendů byly použity tyto zdroje dat:

- řady měsíčních úhrnů srážek ve stanicích ležících v povodí z období hydrologických let 1931–2008,
- řady denních úhrnů srážek z období kalendářních let 1960–2008 ze srážkoměrných stanic uvedených v *tabulce 12*,
- řady průměrných denních teplot a průměrných denních hodnot relativní vlhkosti vzduchu z klimatických stanic Kněževy (od 1. 3. 1995, stanice leží v posuzovaném povodí) a klimatické stanice Praha-Ruzyně (1960–2008, zvolený analogon pro doplnění dat před rokem 1995).

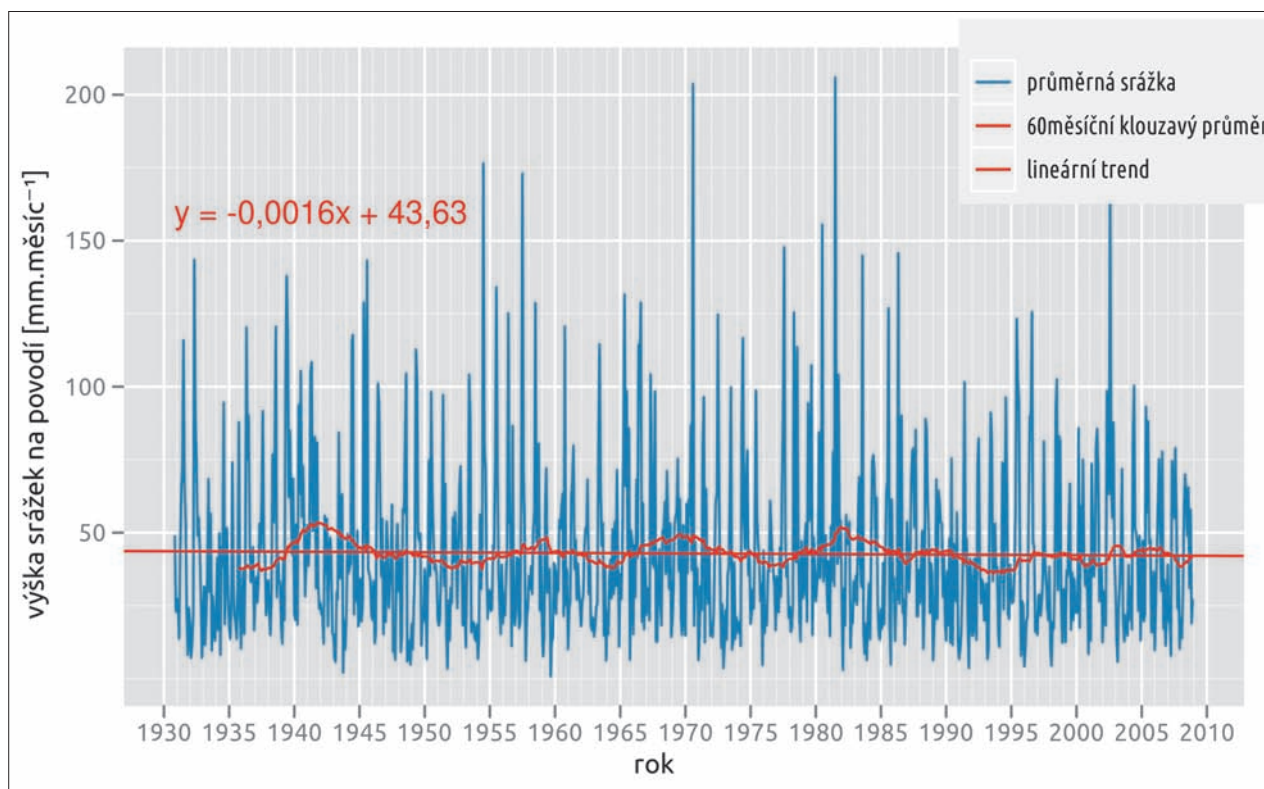
Tabulka 12. Přehled pozorování srážkoměrných stanic

Stanice	Rozsah pozorování	Mezery v řadě	Výpočet doplnění
Kněževy	III.1995–2008		1,035 * Kounov
Kounov	1960–2008	VII.1989	1 * Krušovice
Krušovice	1963–2008	I.1960–XII.1962, IX.2008–XII.2008	1,038 * Kounov
Oráčov	1963–2008	I.1960–XII.1962, III.1985, IV.1986, I.1988, I.1994–IV.1994	1,05 * Rakovník
Rakovník	1960–2008	I.1996–VI.1996	0,966 * Oráčov
Nový Dům	1960–2008		

3.2.1 Atmosférické srážky

Dlouhodobé kolísání a trend měsíčních výšek srážek

Povodí Rakovnického potoka se nevyznačuje velkými rozdíly nadmořských výšek (316 až 537 m n. m.) a vliv nadmořské výšky na velikost dlouhodobého úhrnu srážek je velmi slabý. Ukazuje to *obr. 8*, na kterém je podle dat z období 1960–2008 odhadnut gradient zvyšování srážek s nadmořskou výškou hodnotou 0,31, tj. při zvětšení nadmořské výšky o 100 m zvýšení srážky o 31 mm. Rozdíly srážek v jednotlivých stanicích jsou ovlivněny různou nadmořskou výškou a dalšími vlivy.



Obr. 22. Časový průběh a lineární trend měsíčních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka



Pro posouzení dlouhodobého vývoje kolísání a trendu srážek byla použita data z období hydrologických let 1931 až 2008. Počet srážkoměrných stanic na povodí se měnil od 3 do 9, ale průměr nadmořských výšek pozorujících stanic se po většinu období příliš neodchyloval od průměrné nadmořské výšky povodí (407 m n. m.).

Výše uvedený gradient 0,31 mm srážky na 1 m výšky byl použit pro korekci srážek celé řady (stejný pro všechny měsíce). Takto získaná řada průměrných výšek srážek na povodí o délce 78 let (936 měsíců) je zobrazena na obr. 22.

V období 1931–1970 se v řadě srážek vyhlazených klouzavým průměrem 60 měsíců projevuje cyklická složka s opakováním extrémů po 12 až 16 letech. V následující části řady se takové kolísání neobjevuje.

Z posouzení lineárního trendu celé řady vyplývá pokles s gradientem $0,0016 \text{ mm.měsíc}^{-1}$. Tomu odpovídá celkový pokles 15 mm ročního úhrnu za 78 let, což je 2,9 % z průměru řady 514 mm.rok^{-1} . Klesající trend srážek tedy není podstatný a dlouhodobý režim je z hlediska průměru ročních úhrnů srážek stacionární.

Změny režimu srážek

Z období kalendářních let 1960–2008 byly od ČHMÚ získány řady denních úhrnů srážek ze stanic uvedených v tabulce 12. Stanice Nový Dům, která nepatří do povodí nad vodoměrnou stanicí Rakovník, byla použita vzhledem k tomu, že jde o jediné nepřerušené pozorování.

V ostatních řadách se vyskytují úseky s chybějícím pozorováním. Pro jejich doplnění byly odvozeny regresní rovnice využívající pozorování ze sousedních stanic. Regresní koeficienty byly odvozeny jako poměr průměrů řad z období synchronních pozorování; tyto koeficienty jsou uvedeny v tabulce 12.

Průměrná výška srážek na povodí byla vypočtena jako průměr pozorování ze stanic Kounov, Krušovice, Oráčov a Rakovník. Průměr z uvedené sestavy stanic je 516 mm, po korekci na průměrnou nadmořskou výšku povodí 521 mm, což dobře odpovídá hodnotě 526 mm, ke které dospělo ČHMÚ při zpracování katastru vodnosti z období 1931–1980.

Z řady denních výšek srážek na povodí byla vypočtena řada měsíčních výšek srážek, která byla základem pro posouzení trendů a změn sezonního rozložení srážek. Korekce na nadmořskou výšku v této řadě nebyla použita.

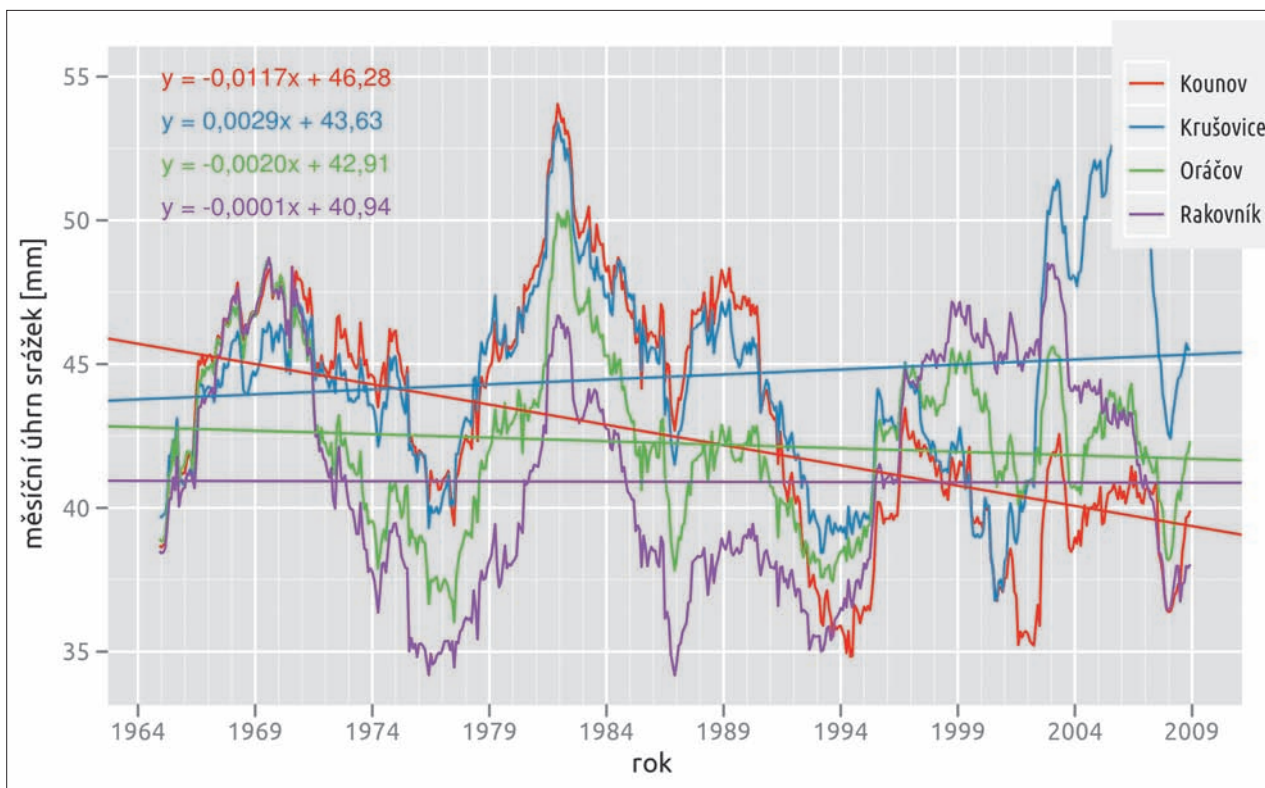
Trendy v chronologických řadách srážek

Průběh klouzavých průměrů srážek s délkou průměrování 60 měsíců v období 1960–2008 v jednotlivých srážkoměrných stanicích spolu s lineárními trendy ukazuje obr. 23. Srážky ve stanici Kounov mají výrazně klesající trend, v ostatních stanicích jsou trendy mnohem méně významné. Ve stanici Krušovice se projevuje období zvýšených hodnot po roce 2002, na rozdíl od ostatních stanic z povodí nad Rakovníkem.

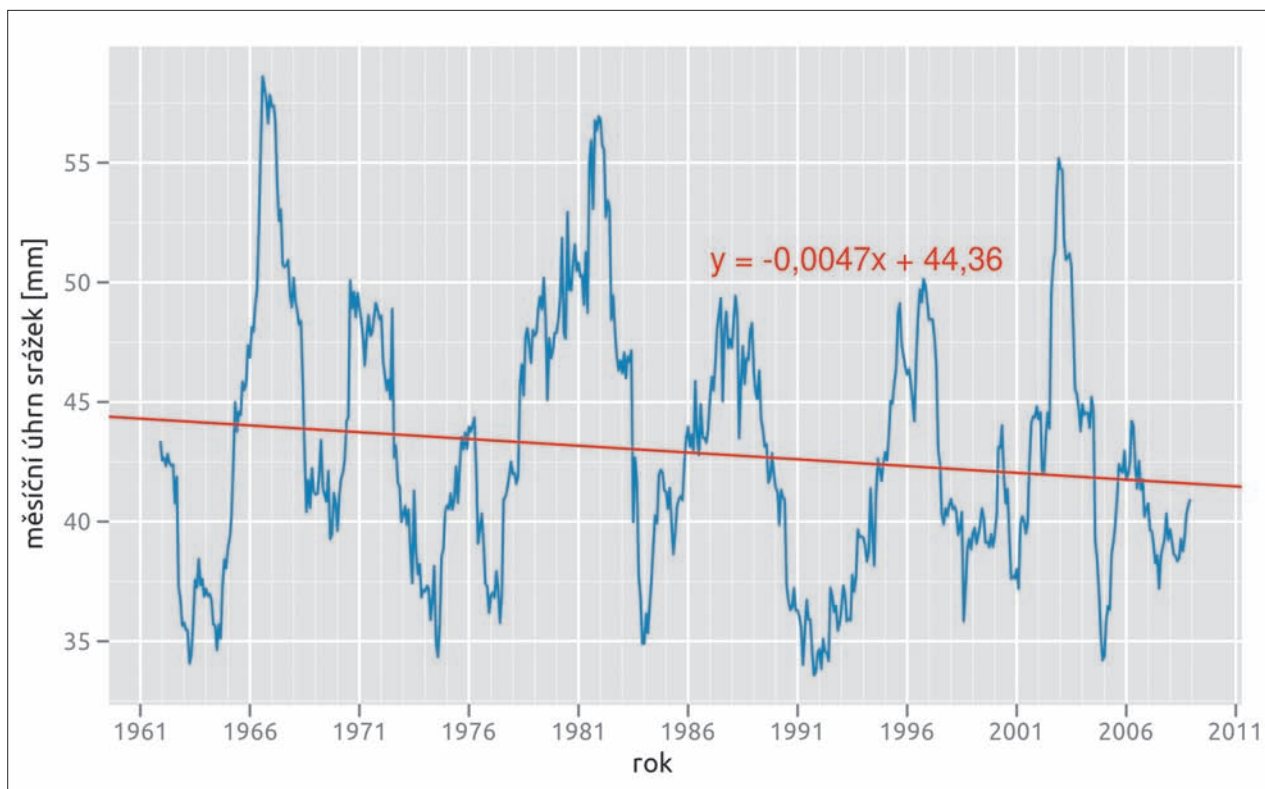
Klesající trend ve stanici Kounov je natolik významný, že převáží výsledky z ostatních stanic, takže trend průměrných výšek srážek na povodí je klesající (obr. 24) a odpovídá poklesu roční výšky srážek o 0,68 mm za jeden rok. Klesající trend v období 1960–2008 je tedy výraznější než v řadě 1931–2008. Podle obr. 24 lze usuzovat, že kolísání klouzavých průměrů srážek po roce 1984 je odlišné od předcházející části řady, maxima jsou menší. Z porovnání čar překročení měsíčních výšek srážek z období 1960–1984 a 1985–2008 na obr. 25 je vidět, že v pozdějším období se zmenšily srážky v oblasti hodnot větších než 50 mm.měsíc^{-1} . Tento jev je zřejmě příčinou výše uvedeného mírně klesajícího trendu. Z hlediska hydrologické bilance, a zejména dotace podzemních vod, jde o dosti podstatnou změnu, protože právě v případě velkých srážek po nasycení půdní zásoby může voda prosáknout do zóny podzemních vod.

Pokles četnosti i velikosti velkých výšek srážek na povodí ukazuje obr. 26. Byl sestaven tak, že po výběru všech případů, kdy se v některé stanici na povodí vyskytl denní úhrn větší než 50 mm, byly vypočteny výšky srážek na povodí jako průměry srážky v tomto dni ze všech stanic, které na povodí prováděly pozorování. V prvním období 1960–1984 bylo takových případů 18 a průměr výšek srážek na povodí je 37,7 mm. V druhé části řady 1985–2008 se takových případů vyskytlo jen deset a průměr výšek srážek na povodí je 29,2 mm.



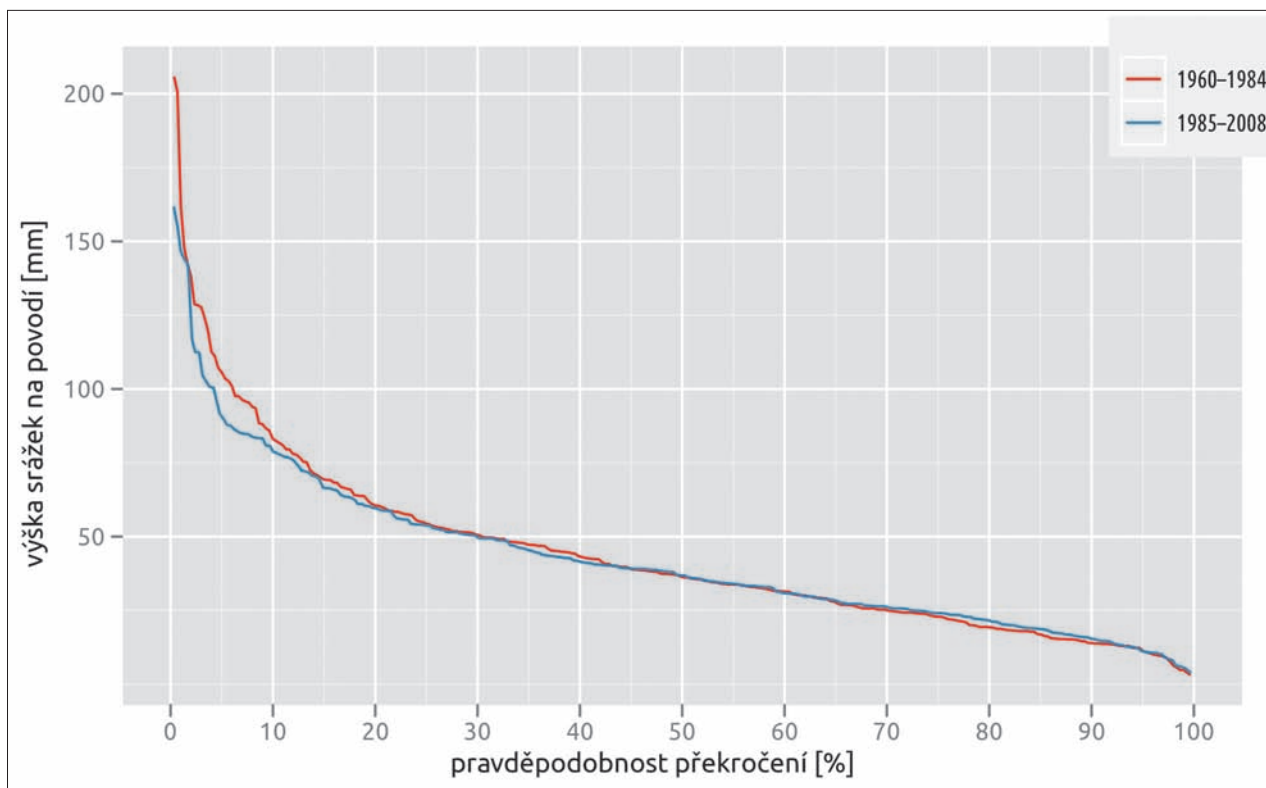


Obr. 23. Klouzavé průměry (60 měsíců) a lineární trendy měsíčních úhrnů srážek ve stanicích v povodí Rakovnického potoka

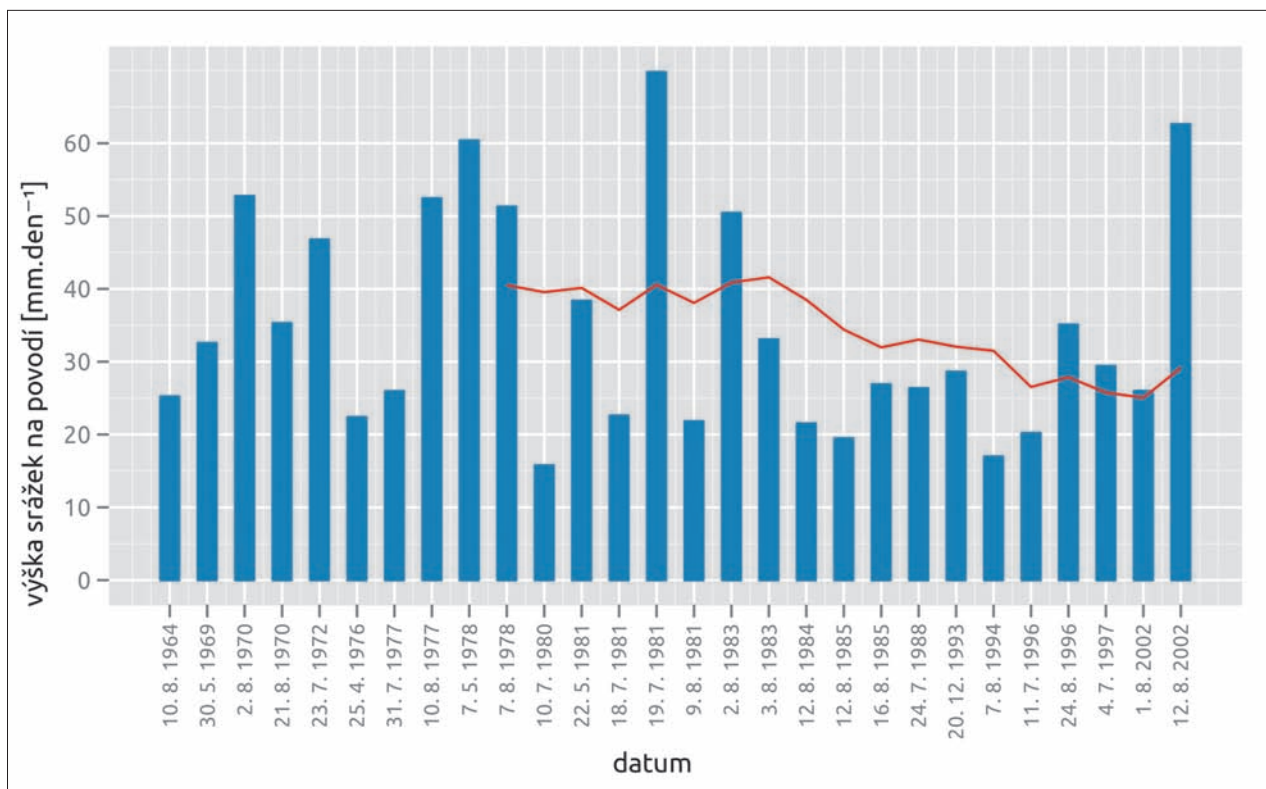


Obr. 24. Klouzavé průměry (24 měsíců) a lineární trend měsíčních výšek srážek na povodí





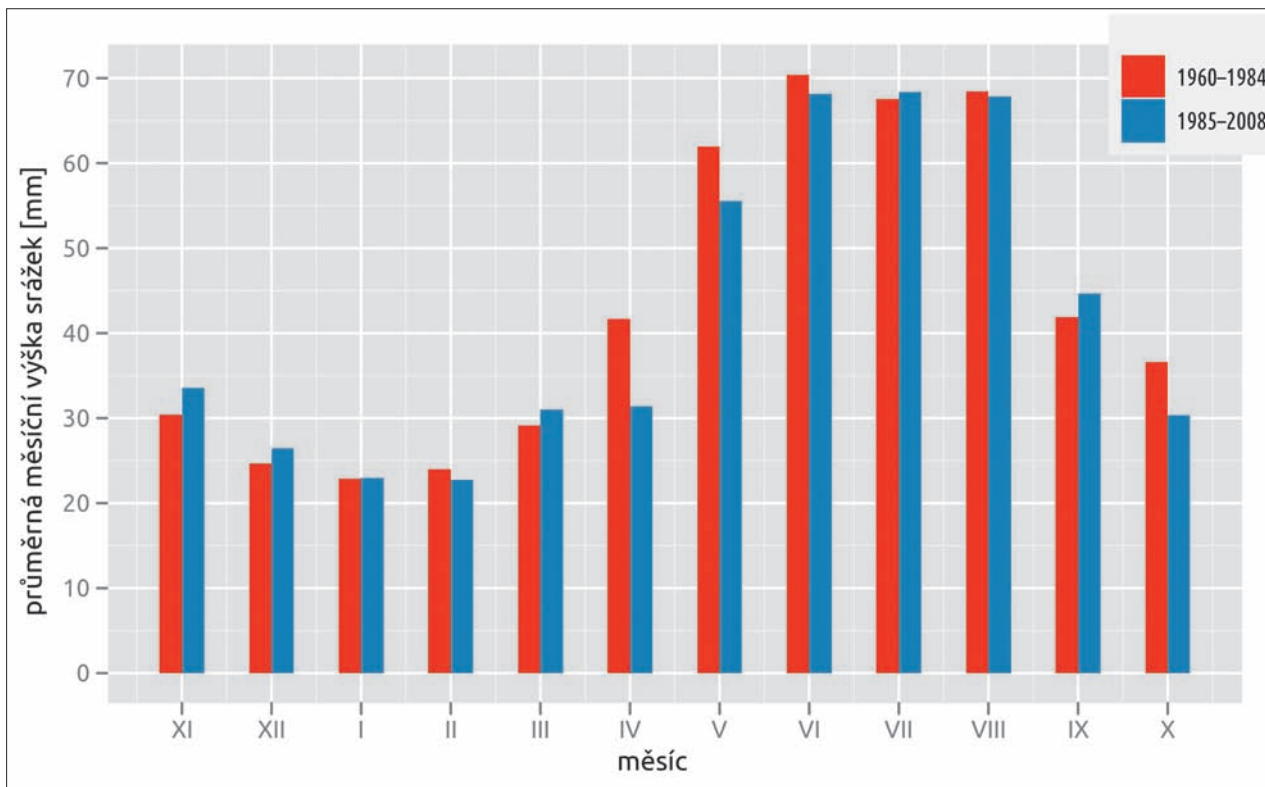
Obr. 25. Křivky překročení měsíčních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka z období 1960–1984 a 1985–2008



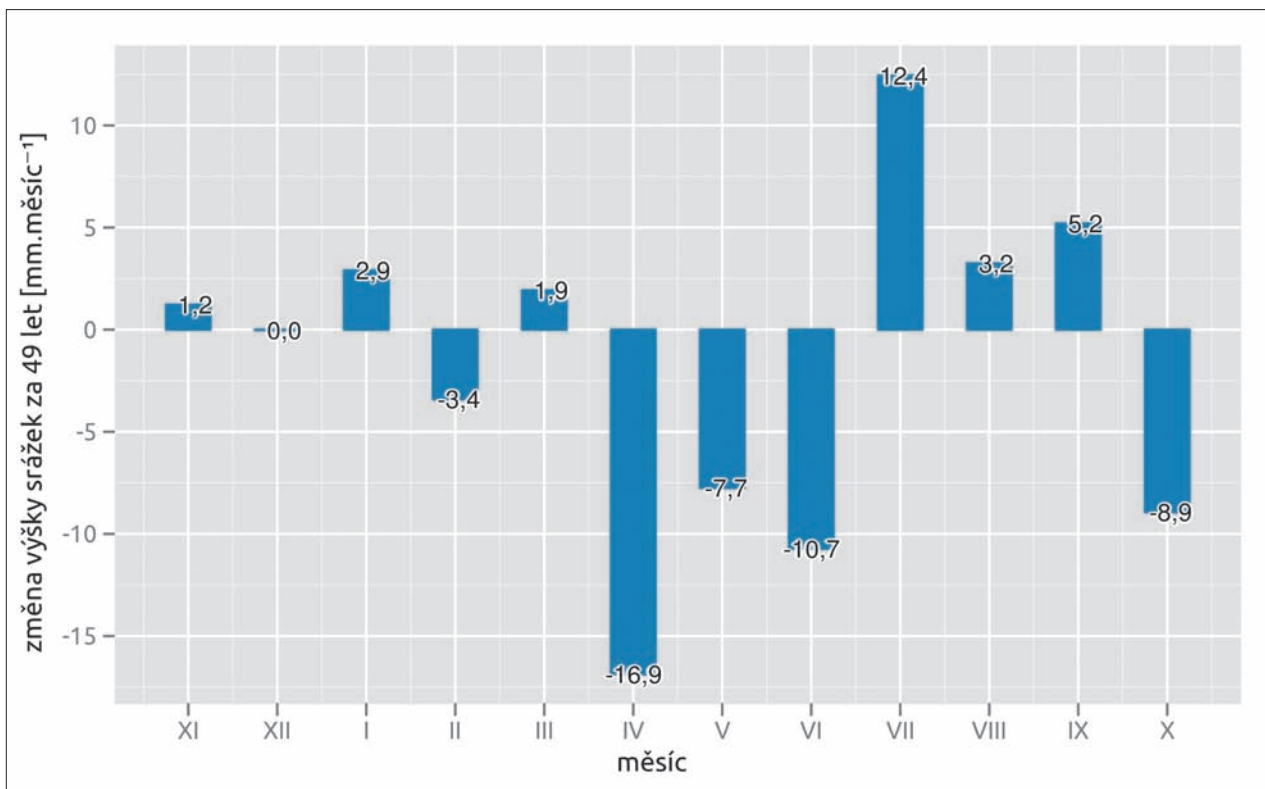
Obr. 26. Výšky srážek na povodí Rakovnického potoka v případech, kdy se v některé stanici vyskytl denní úhrn větší než 50 mm, a klouzávý průměr (10 hodnot)

Změny ročního chodu srážek

Na obr. 27 je znázorněn roční chod průměrných měsíčních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka v obdobích 1960–1984 a 1985–2008. Podstatný pokles srážek v pozdějším období je patrný v dubnu a v květnu, menší pokles se vyskytuje i v říjnu. Rozdíly v ostatních měsících nejsou příliš výrazné.



Obr. 27. Roční chod průměrů měsíčních srážek v období 1960–1984 a 1985–2008



Obr. 28. Roční chod změn výšky srážek na povodí za 49 let, odpovídající lineárním trendům



Lineární trendy pro průběhy měsíčních výšek srážek jsou znázorněny na *obr. 28* ve formě celkové změny odpovídající zjištěnému trendu za období 49 let, což je délka použitého období. I při tomto rozboru se největší pokles srážek projevuje v dubnu, patrný je však i v následujících měsících květnu a v červnu a také v říjnu. Největší vzestup srážek se vyskytuje v červenci, mírně stoupají srážky i v srpnu a září. Od listopadu do března jsou změny srážek malé.

3.2.2 Teploty vzduchu

V povodí Rakovnického potoka leží jediná klimatická stanice – Kněžves. Provádí pozorování však až od roku 1995. Jako nejvhodnější analogon pro prodloužení řady byla vybrána stanice Praha-Ruzyně, ve které je k dispozici nepřerušované pozorování z celého posuzovaného období.

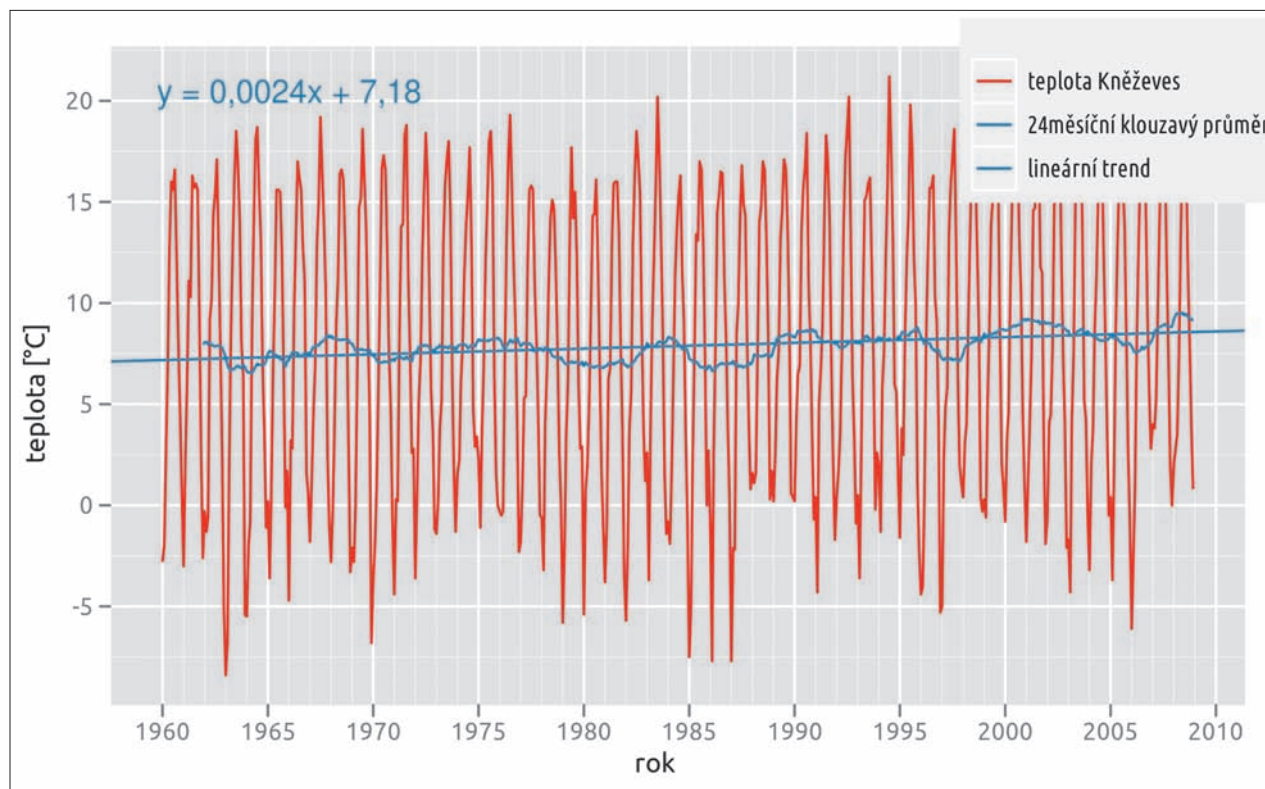
Z obou stanic poskytl ČHMÚ řady denních průměrných teplot vzduchu, z nich byly vypočteny řady průměrných měsíčních teplot vzduchu. Mezi řadami průměrných měsíčních teplot na obou stanicích je v letech 1995–2008 těsná korelace s koeficientem determinace 0,996, proto byla řada teplot v Kněževsi v období 1960–1994 dopočtena regresí.

Trend v chronologické řadě teplot vzduchu

Průběh doplněné řady v Kněževsi je na *obr. 29*, lineární trend znázorněný na tomto obrázku odpovídá vzestupu teploty za 49 let o 1,4 °C. Podstatné je, že převážná část vzestupu teploty vzduchu nastala až v období po roce 1980, což dokládá průběh klouzavých průměrů průměrných měsíčních teplot vzduchu s délkou průměrování 60 měsíců (5 let) na *obr. 30*.

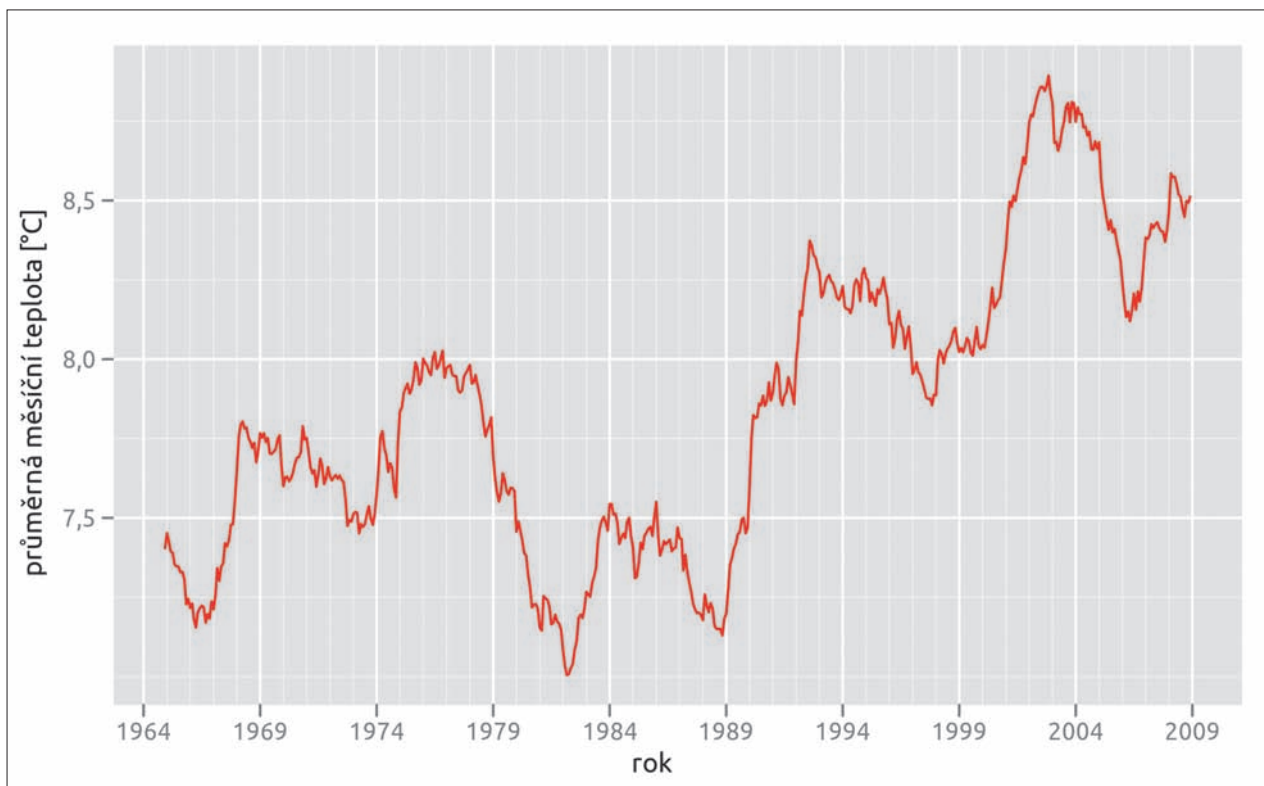
Změny ročního chodu teplot vzduchu

Výsledky lineárních trendů pro průměrné měsíční teploty vzduchu jsou pro jednotlivé měsíce znázorněny na *obr. 31* ve formě celkové změny odpovídající zjištěnému trendu za použité období 49 let. Změny teplot za 49 let jsou v průběhu roku značně odlišné. Od září do listopadu jsou velmi malé, prakticky indikují nezměněný stav. Ve všech ostatních měsících, tj. od prosince až po srpen, se teploty výrazně zvětšují, pouze v dubnu a v červnu je vzestup zřetelně menší. Maximum zvýšení – 2,93 °C – je v lednu.

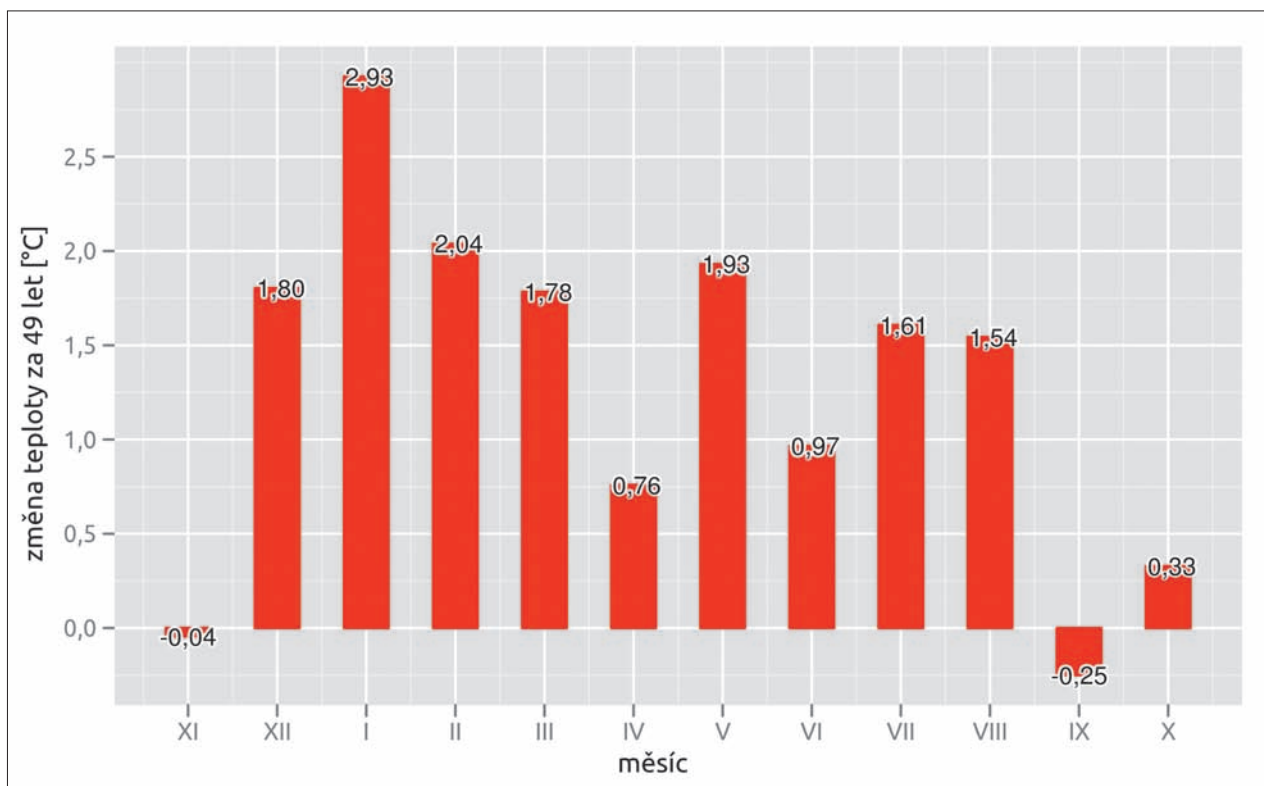


Obr. 29. Časový průběh a lineární trend doplněné řady průměrných měsíčních teplot ve stanici Kněžves





Obr. 30. Časový průběh klouzavých průměrů (60 měsíců) doplněné řady průměrných měsíčních teplot ve stanici Kněževes



Obr. 31. Roční chod změn teplot za 49 let, odpovídající lineárním trendům

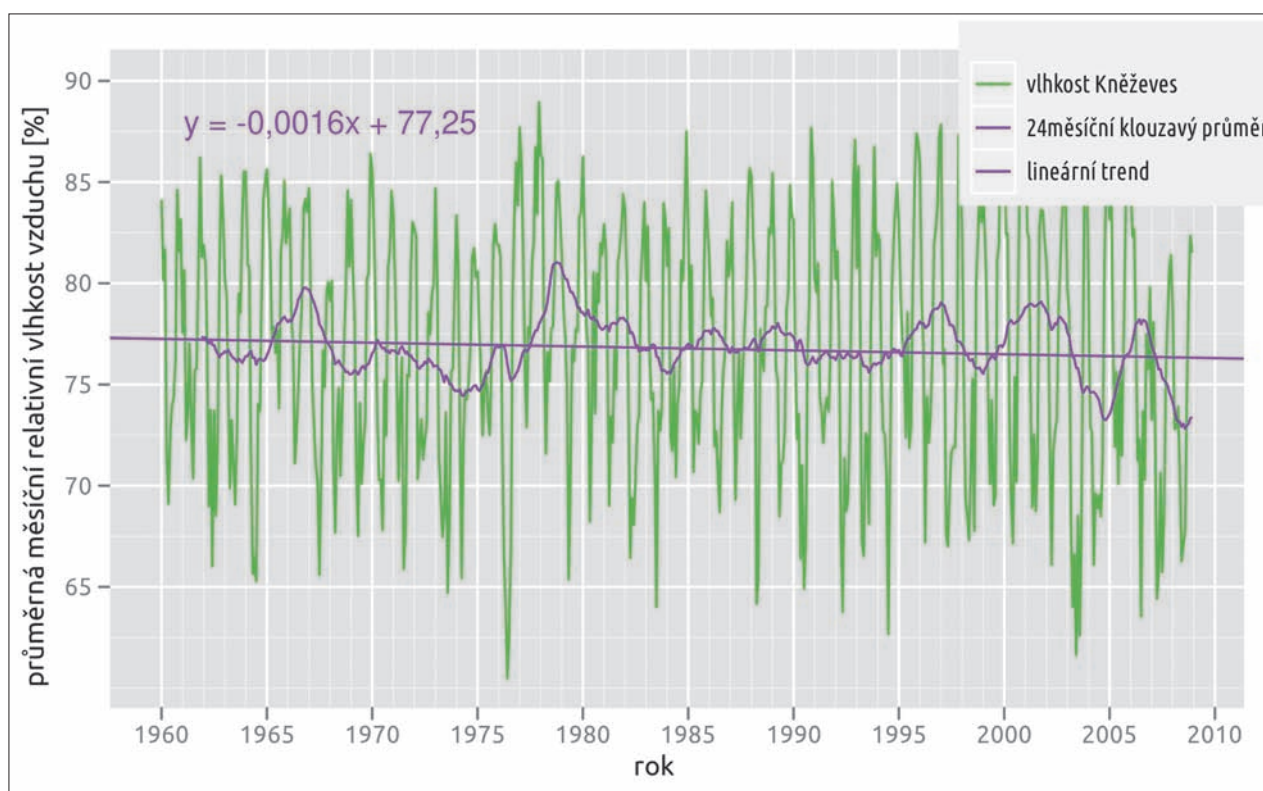


3.2.3 Relativní vlhkost vzduchu

Stejně jako v případě teploty je řada z klimatické stanice Kněžves k dispozici až od roku 1995, proto byla jako nevhodnější analogon pro prodloužení řady vybrána stanice Praha-Ruzyně. Z řad denních průměrných relativních vlhkostí vzduchu byly vypočteny řady průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu. Korelace je volnější než v případě teplot vzduchu (koeficient determinace 0,858), řada v Kněževsi v období 1960–1994 byla dopočtena podle tohoto regresního vztahu.

Trend v chronologické řadě relativních vlhkostí vzduchu

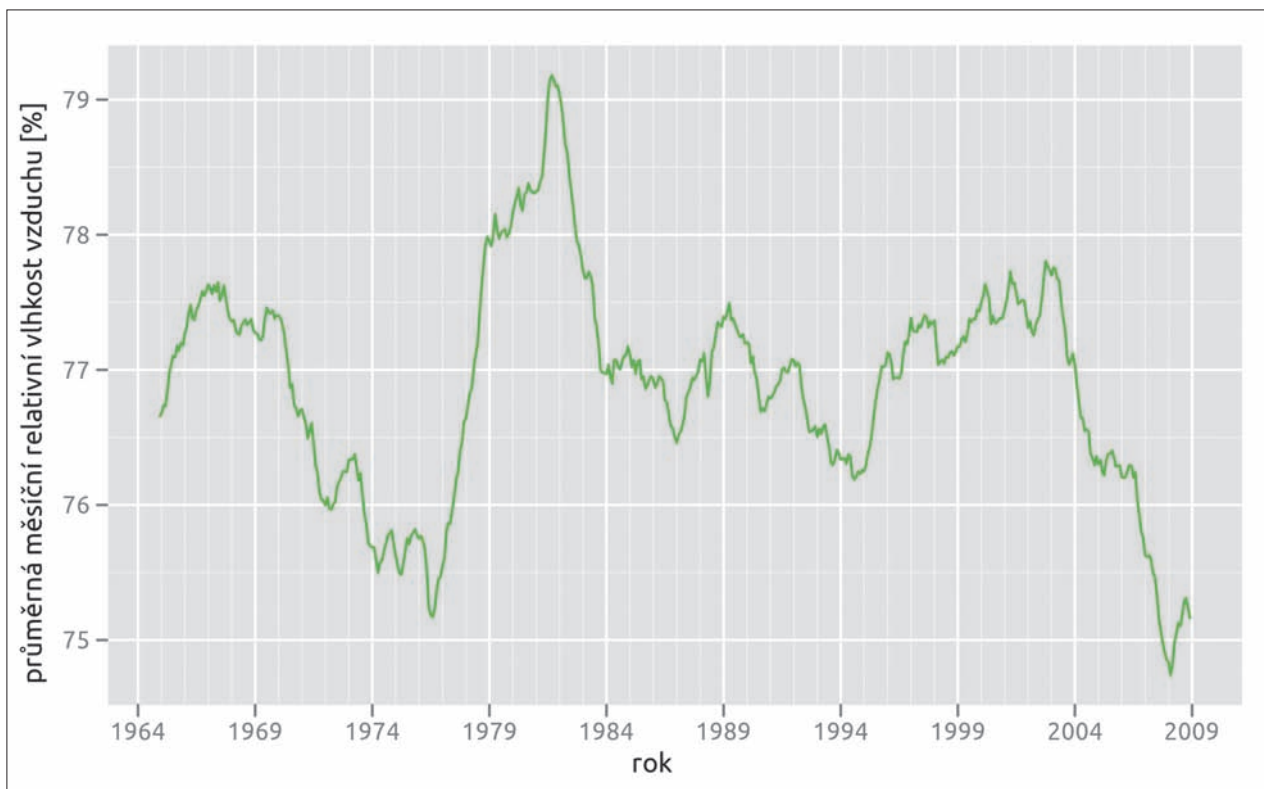
Průběh doplněné řady v Kněževsi je na obr. 32, lineární trend znázorněný na tomto obrázku odpovídá poklesu měsíčních relativních vlhkostí vzduchu za 49 let o 0,94 %. Převážná část poklesu nastala až v období po roce 1998, což dokládá průběh klouzavých průměrů průměrných měsíčních teplot vzduchu s délkou průměrování 60 měsíců (5 let) na obr. 33.



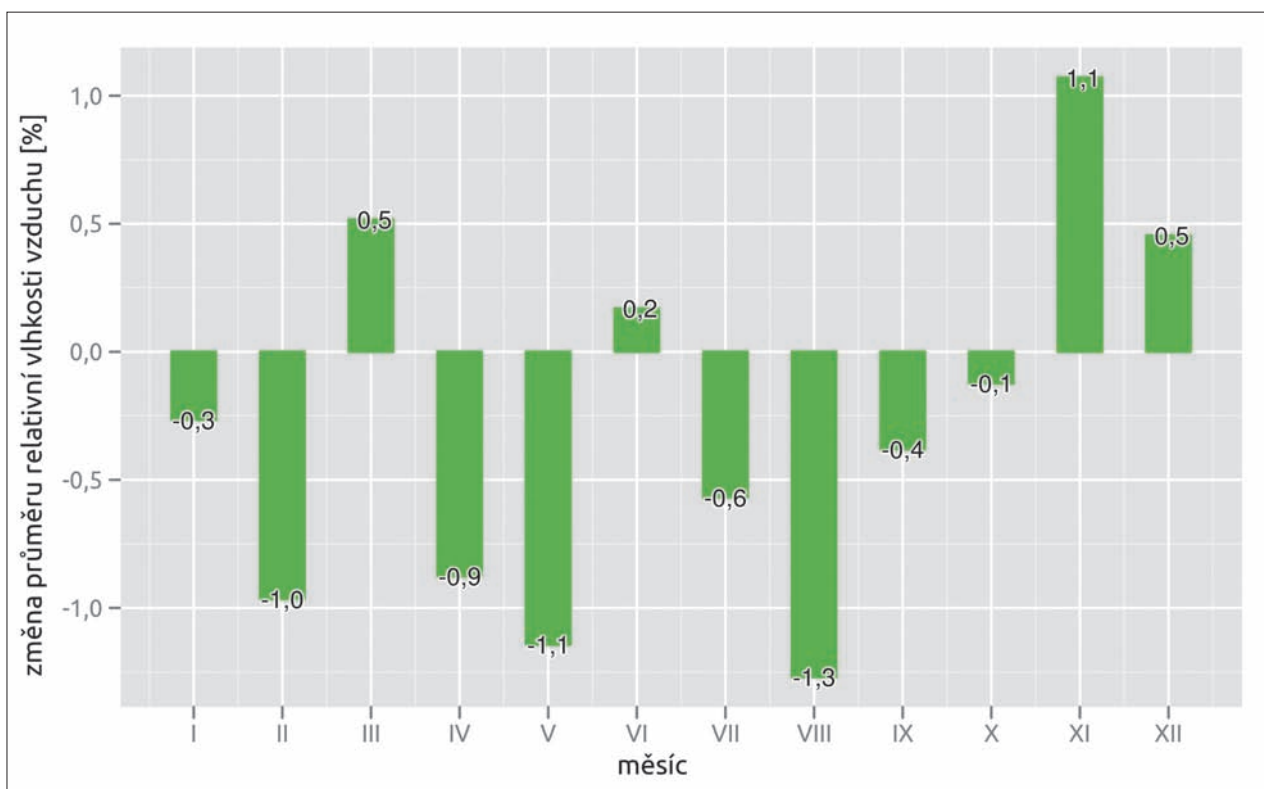
Obr. 32. Časový průběh a lineární trend doplněné řady průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu ve stanici Kněžves

Změny ročního chodu relativní vlhkosti vzduchu

Na obr. 34 jsou znázorněny rozdíly mezi ročním chodem průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu ve stanici Ruzyně v obdobích 1960–1984 a 1985–2008. Celkový charakter ročního chodu s maximy od listopadu po leden a minimy od dubna po srpen se nemění. Pouze v listopadu se v pozdějším období měsíční relativní vlhkost vzduchu znatelně zvětšila, poklesy jsou patrné zejména v únoru, dubnu, květnu a srpnu.



Obr. 33. Časový průběh klouzavých průměrů (60 měsíců) doplněné řady průměrných měsíčních relativních vlhkostí vzduchu ve stanici Kněževés



Obr. 34. Roční chod rozdílů relativních vlhkostí vzduchu v období 1960–1984 a 1985–2008



3.2.4 Průtoky

Použitá data

Pro rozbor dlouhodobého kolísání a trendů je k dispozici řada z vodoměrné stanice Rakovník, u celé této řady bylo na základě podkladů poskytnutých ČHMÚ ověřeno a rekonstruováno vyčíslení průměrných denních průtoků (Kašpárek, 2009).

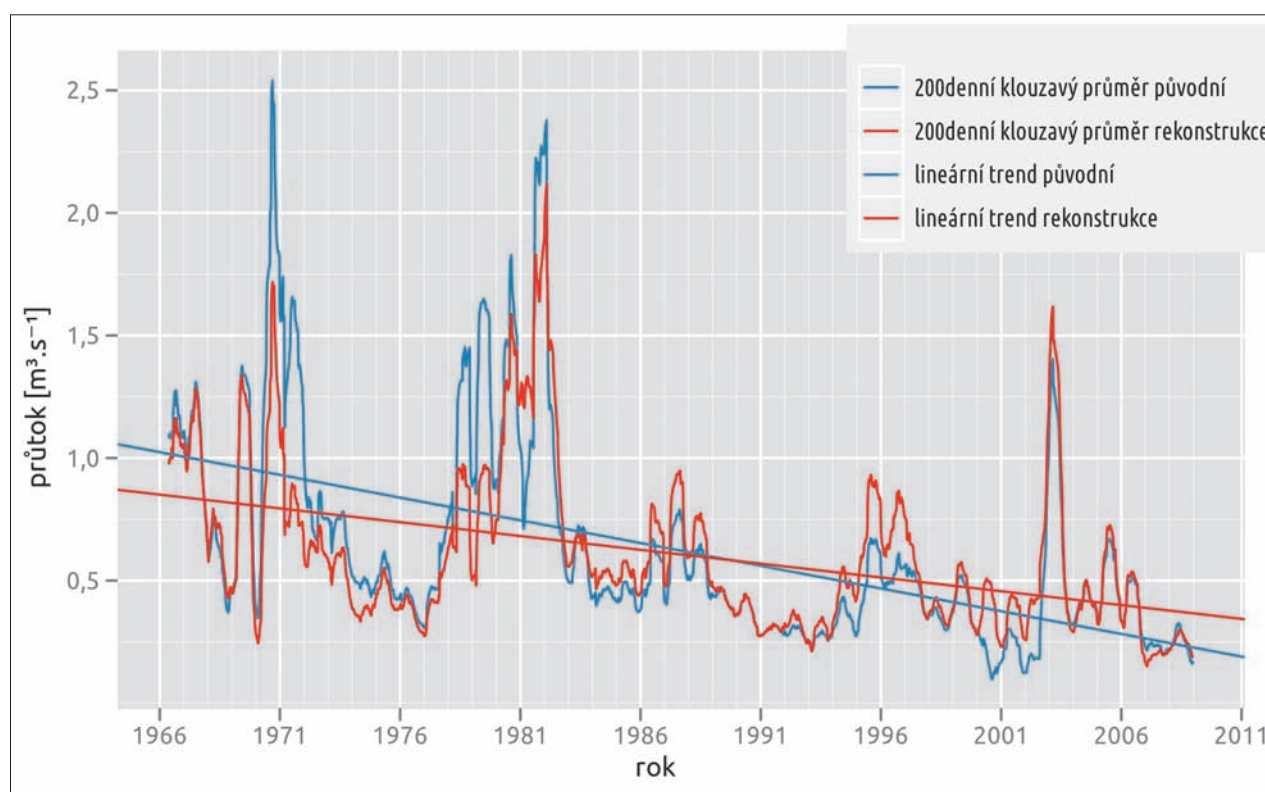
Na obr. 35, kde jsou průměrné denní průtoky z hydrologických let 1966–2008 vyhlazeny 200denním klouzavým průměrem, je vidět, že nově vyčíslené průtoky se v některých částech řady téměř neliší od průtoků z původního vyčíslení. Přesto lze sledovat významné odlišnosti.

Průměrný průtok celé řady 1966–2008 byl podle původního vyčíslení $0,627 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, podle rekonstrukce vyčíslení je $0,609 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je téměř o 2,6 % méně (vztaženo k průměru rekonstruované řady).

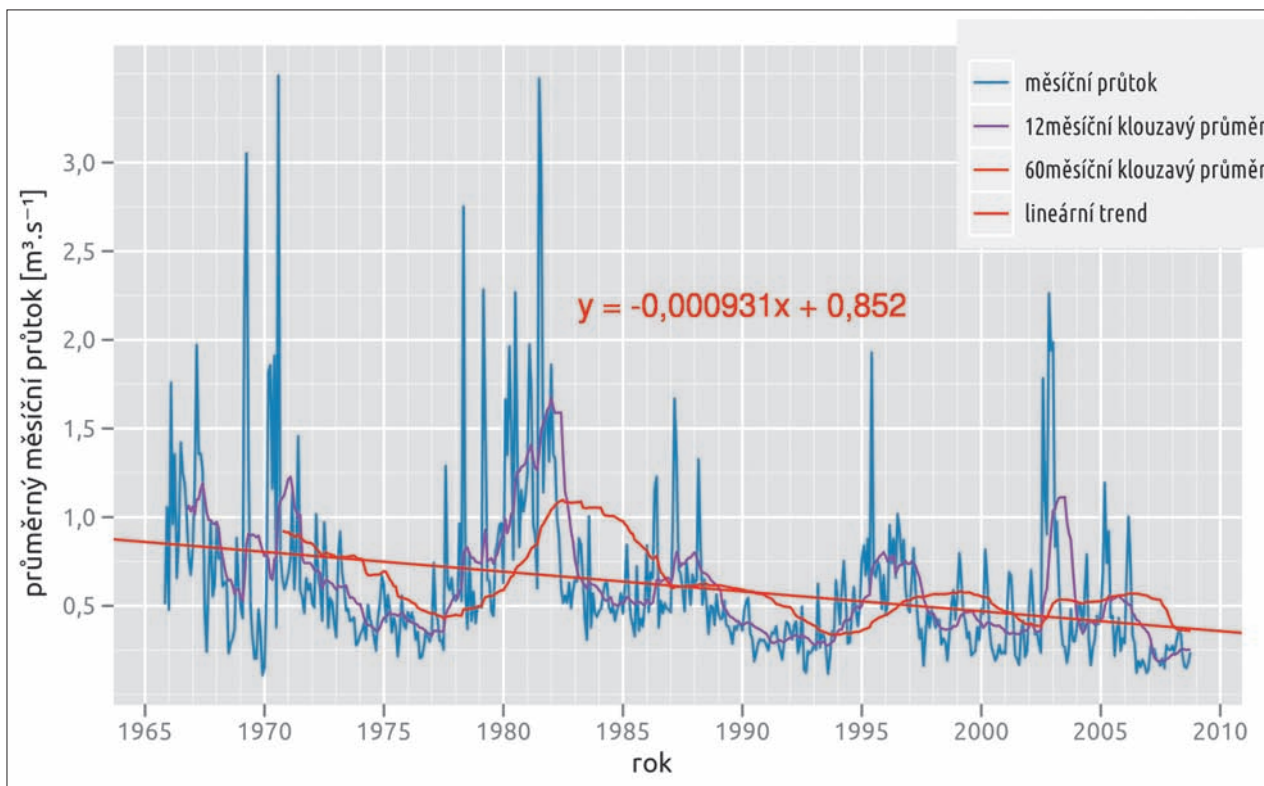
Dlouhodobé kolísání a trend chronologické řady průtoků

Klesající trend existuje v původní i rekonstruované řadě, podle rekonstrukce je však gradient poklesu menší. Tato změna odpovídá tomu, že u původních měrných křivek ČHMÚ z let 1970–1972 a 1978–1980 se jeví většina velkých průtoků jako nadhodnocená.

Gradient poklesu průtoků rekonstruované řady je značný. Přepočítaný na pokles za 1 rok je $0,0113 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, což je 1,85 % z průměru $0,611 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Odpovídající pokles za období délky celé řady 43 let je $0,487 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Po přepočtu průměrných denních průtoků na průměrné měsíční průtoky a následující analýze trendu (obr. 36) získáme celkový pokles za 43 let $0,480 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, od výsledku získaného z řady denních průtoků se tedy prakticky neliší.



Obr. 35. Původní a rekonstruovaná řada průměrných denních průtoků v Rakovnickém potoce, klouzavé průměry a lineární trendy



Obr. 36. Časový průběh průměrných měsíčních průtoků Rakovnického potoka, klouzavých průměrů a lineární trend

Sezonní rozdělení trendu průtoků

Analýza trendu byla následně provedena pro řadu rozdělenou na údaje z jednotlivých kalendářních měsíců. Obrázek 37 znázorňuje pokles průměrných měsíčních průtoků za deset let v procentech průměrů, odpovídající gradientům trendu podle rovnic lineárních trendů. Poklesy na jaře a v létě jsou větší než na podzim, nejméně klesají průtoky v zimě.

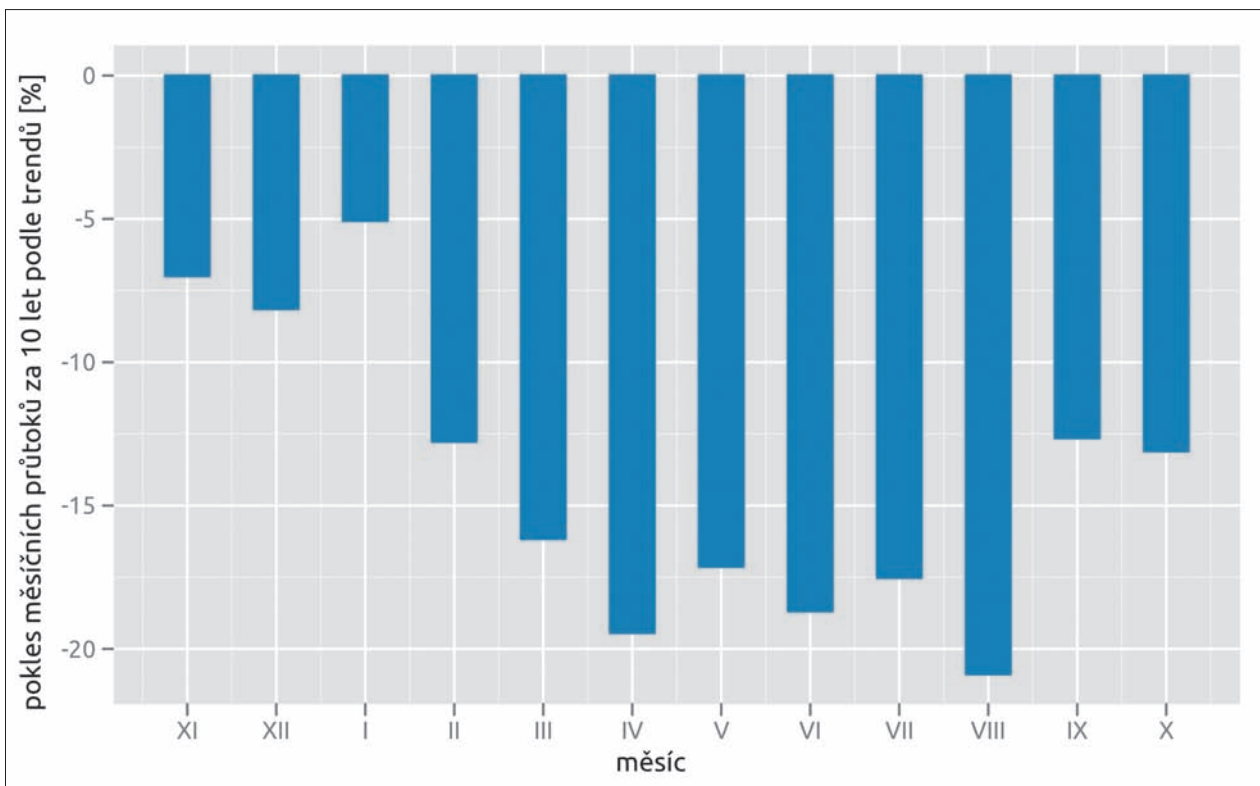
Podle obr. 36 se charakter průtokové řady změnil v období po roce 1983. V jemu předcházejícím úseku řady 1976 až 1981 byly průtoky zvětšené, na konci tohoto úseku řady se v roce 1981 vyskytla velká povodeň. Od té doby je výskyt velkých průměrných měsíčních průtoků podstatně méně častý a ani při povodni v roce 2002 nedosáhly extrému z roku 1981.

Pro posouzení změn byla průtoková řada rozdělena na období 1966–1988 a 1989–2008. Průběh průměrných měsíčních průtoků a pokles průměrných měsíčních průtoků v ročním chodu v druhém období ukazují obr. 38.

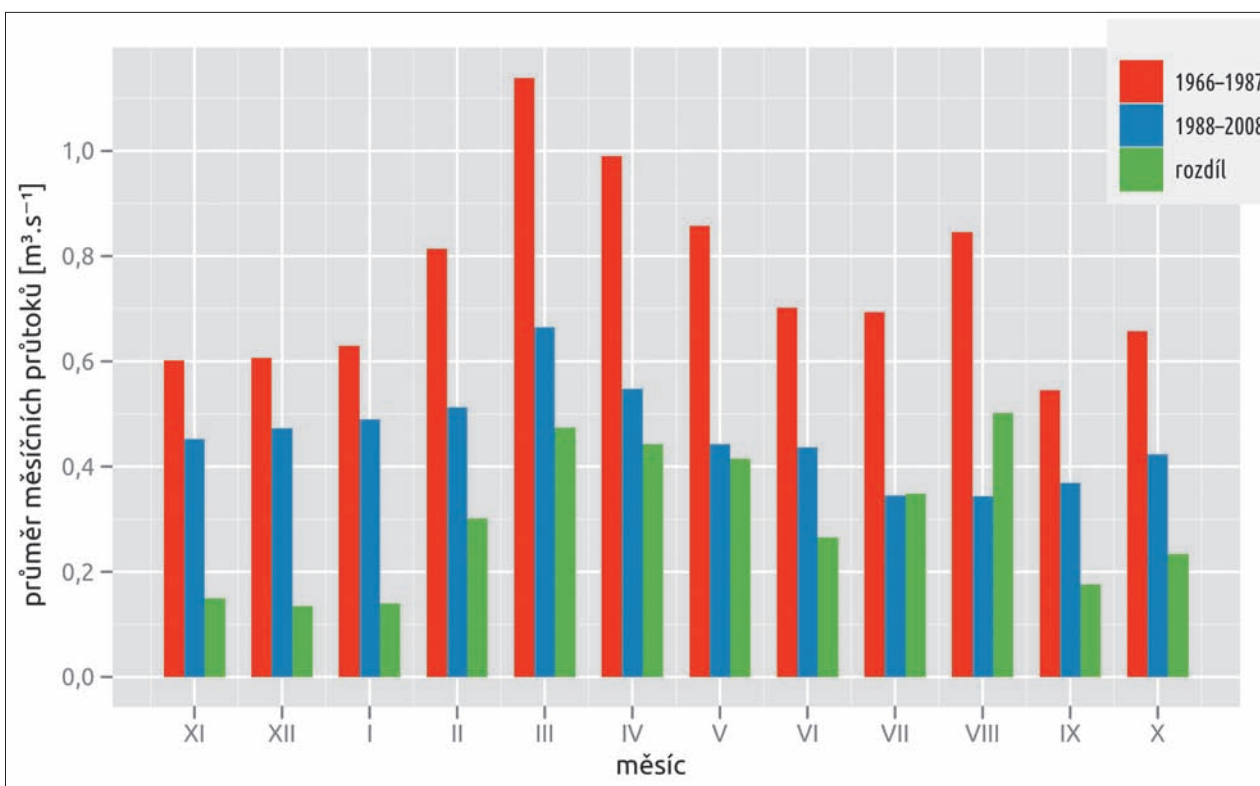
V období listopad až leden poklesly průtoky jen o 22 %, od února až po srpen se poklesy zvyšují až na téměř 60 % s mírným zakolísáním v červnu, v září a říjnu jsou blízké hodnotě 30 %. Je tedy patrné, že poklesy ve vegetačním období jsou podstatně větší než na podzim a v zimě. Poznatky získané z porovnání uvedených částí řady tedy v podstatě potvrzují výsledky trendové analýzy.

Ve většině měsíců je pokles průtoků v oblasti středních a malých průtoků poměrně málo proměnlivý. Na obr. 39 jsou vyneseny změny mezi průtoky z porovnávaných období vypočtené pro maxima, mediány a minima řad průměrných měsíčních průtoků.

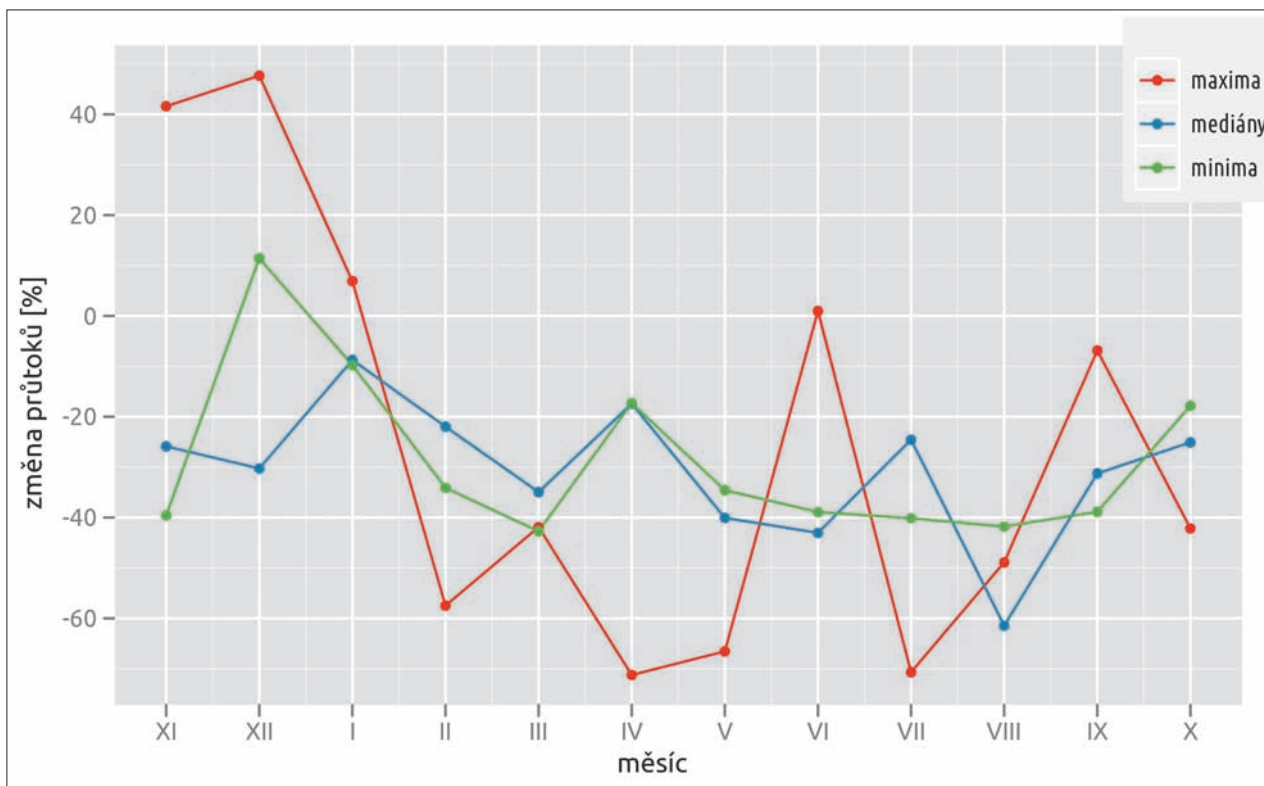
Pouze v měsících listopad až leden jsou maxima z pozdějšího období větší, téměř se nezměnilo maximum v červnu a v září. Všechna ostatní maxima poklesla o 40–70 %, nejvíce v dubnu, květnu a červenci. U mediánů je nejmenší pokles 6 % v lednu, největší 60 % v srpnu. Ostatní hodnoty jsou v rozmezí 20–40 %. V pozdějším období je jen prosincové minimum poněkud větší, ani pokles lednové hodnoty není výrazný. Minima ve všech ostatních měsících poklesla obdobně jako mediány o 20–50 %.



Obr. 37. Pokles průměrných měsíčních průtoků za 10 let vypočtený podle trendové analýzy, vyjádřený v procentech průměrů z období 1966–1987



Obr. 38. Roční chod průměrných měsíčních průtoků v obdobích 1966–1987 a 1988–2008 a rozdíl odpovídajících si hodnot



Obr. 39. Rozdíly maxim, mediánů a minim řad průměrných měsíčních průtoků mezi údaji pro období 1966–1987 a 1988–2008, vyjádřené v procentech hodnot z období 1966–1987

3.2.5 Podzemní vody

Z rozborů průtokové řady Rakovnického potoka v Rakovníku vyplynulo, že v období pozorování, tj. od roku 1966, mají průtoky významně klesající trend. Z výsledků modelování hydrologické bilance modelem BILAN (viz kap. 3.4.1) vyplývá, že klesající trend se projevuje i u základního odtoku (obr. 40).

V několika úsecích řady, zejména v období let 1982 a 2000 až 2003 je modelovaný základní odtok větší než pozorovaný celkový odtok. To přispívá k poměrně velkému podílu základního odtoku na odtoku celkovém. Charakteristika BFI (base flow index, poměr základního a celkového odtoku) vychází 0,675.

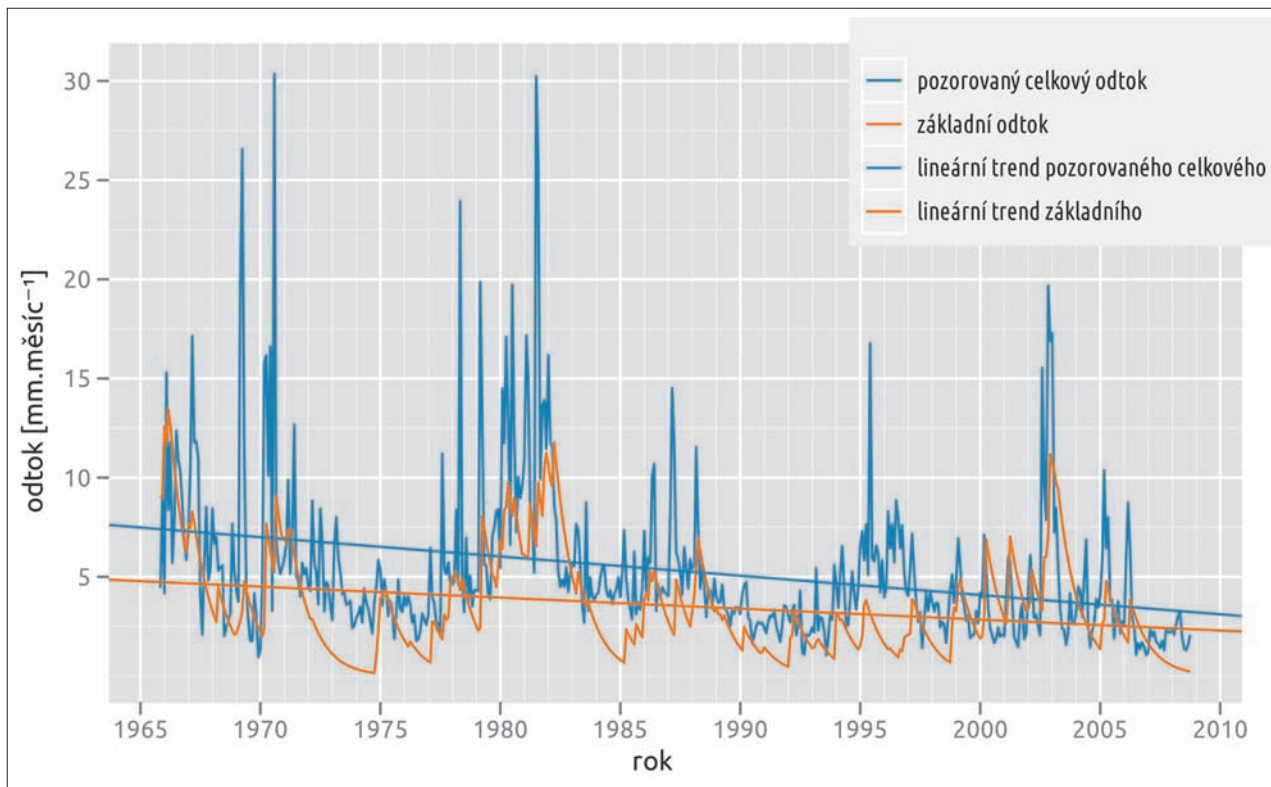
Pro odhad velikosti základního odtoku byly použity další metody, standardní postup podle Killeho (Kille, 1970) a metoda Eckhardta (Eckhardt, 2005), navržená pro aplikaci v ČR Vlnasem (Vlnas, 2010). Vzhledem k uvedenému klesajícímu trendu základního odtoku byla odděleně zpracována data pro období 1966–1987 a 1988–2008, toto rozdělení podle změn celkového odtoku bylo použito již při zpracování celkového odtoku.

Čáry překročení měsíčních minim, v oblasti větších průtoků vyrovnané exponenciální funkcí, jsou pro uvedená období na obr. 41. Pokles průměru z hodnoty $0,372 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v období 1966–1987 na $0,253 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v období 1987–2008, tj. o 32 % původní velikosti, je významný.

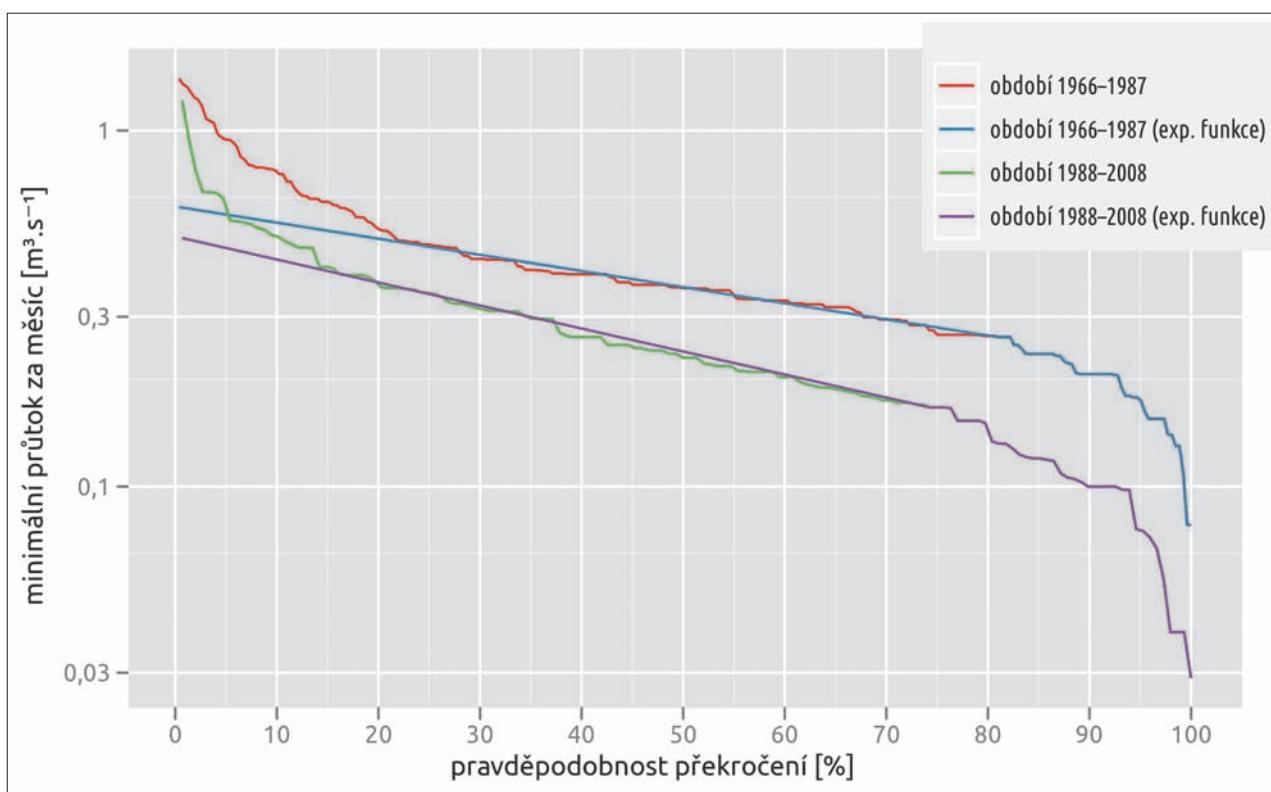
Postup doporučený a ověřený Vlnasem, tj. Eckhardtův vztah, má tvar

$$b_i = \frac{(1 - BFI) a b_{i-1} + (1 - a) BFI y_i}{1 - a BFI} \quad (1)$$

kde b je základní odtok, y je celkový odtok, a je parametr filtru a BFI je maximální index základního odtoku.



Obr. 40. Celkový pozorovaný odtok, modelovaný základní odtok v období 1966–2008 a jejich trendy



Obr. 41. Čáry překročení měsíčních minim průtoků zpracované metodou Killeho

Parametr a reprezentuje recesní koeficient rovnice, která vyjadřuje předpoklad, že odtok ze zvodně je lineárně úměrný obsažené volné zásobě vody S . Je tedy možné jej stanovit analýzou výtokových čar v obdobích malých průtoků.

$$S = k \cdot b \quad (2)$$

$$b_i = a \cdot b_{i-1} \quad (3)$$

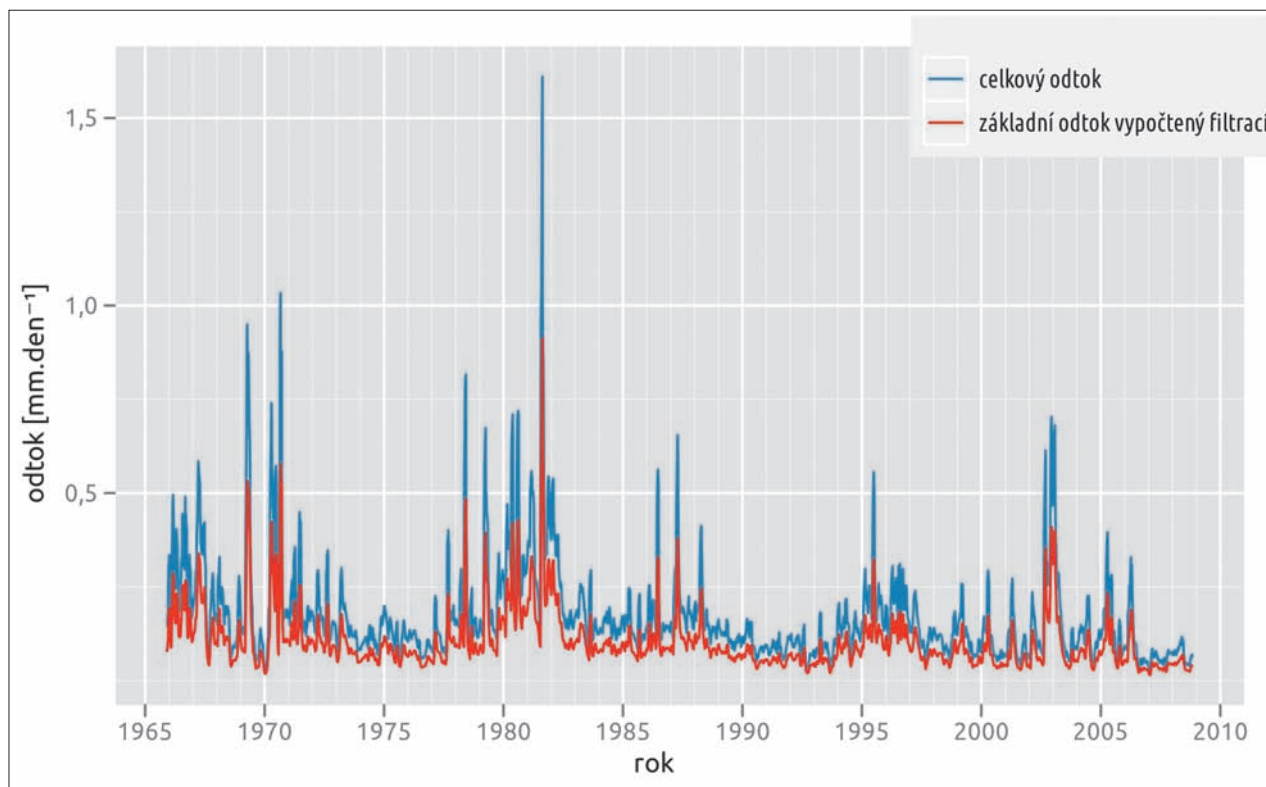
$$a = \exp(-1/k) \quad (4)$$

Předpoklad popsáný rovnicí (2) je použit i v modelu BILAN, takže velikost parametru a lze v prvním přiblížení odhadnout podle velikosti odpovídajícího parametru $Grd = 1/k$ modelu BILAN. Při modelování měsíčních řad uvedeném v kapitole 3.4.1 byl parametr Grd optimalizován na hodnotu 0,09, pro filtraci denních řad byla použita zvětšená hodnota $Grd = 0,1$, pak $a = 0,9$.

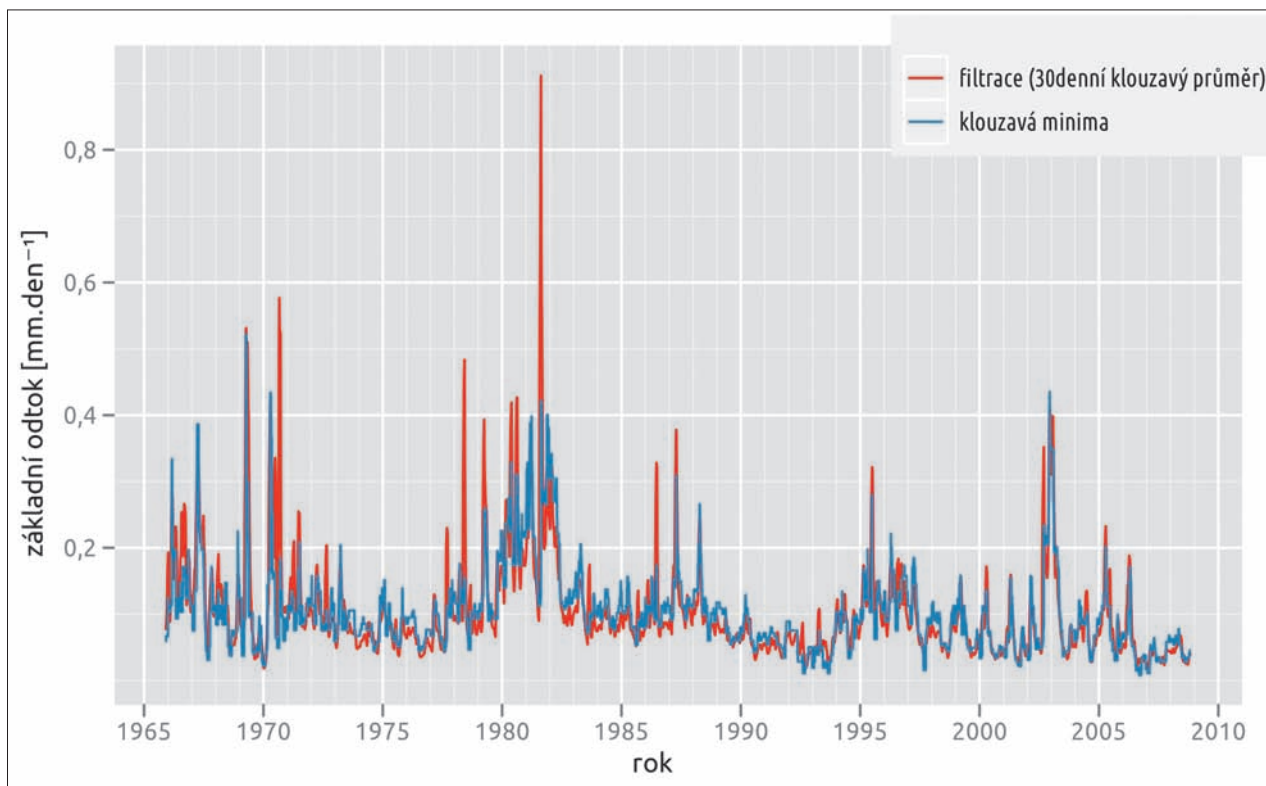
Parametr BFI lze podle Vlnase odhadnout metodou postupného přibližování podle posouzení časového průběhu základního odtoku. Pro posuzované povodí byla takto stanovena hodnota $BFI = 0,6$. Porovnání průběhu celkového odtoku a základního odtoku po transformaci na 30denní klouzavé průměry ukazuje obr. 42. Ukázalo se, že Eckhardtův vztah dává přijatelné výsledky pro nezanedbatelné rozmezí parametru BFI .

Jako alternativa odhadu průběhu základního odtoku, která nevyžaduje subjektivní přístup, byl vyzkoušen postup dále označovaný „klouzavá minima“. Spočívá v tom, že se z řady denních hodnot celkového odtoku vybere pro každý den minimum, které se vyskytlo v předcházejícím zvoleném počtu dní. V návaznosti na metodu Killeho byla zvolena minima za 30 dní. Řada klouzavých minim pak byla odhadem průběhu základního odtoku.

Průběh klouzavých minim je poměrně blízký průběhu 30denních klouzavých průměrů základního odtoku vypočteného filtrací podle Eckhardta (obr. 43).



Obr. 42. Třicetidenní klouzavé průměry celkového odtoku a základního odtoku vypočteného metodou filtrace



Obr. 43. Průběh základního odtoku odhadnutý metodou filtrace podle Eckhardta a podle klouzavých minim

Parametr *BFI* lze určit z hydrogramu hodnoceného období také Killeho metodou, což obdobně jako metoda klouzavých minim významně zmenšuje subjektivitu hodnocení.

V tabulce 13 jsou soustředěny průměrné hodnoty srážek, celkového odtoku a základního odtoku v období 1966 až 1987 a 1988–2008. Základní odtok byl odhadnut třemi výše uvedenými postupy. V posledním řádku tabulky je poměr mezi průměry 1966–1987 a 1988–2008. V posuzovaném případě jsou odhady základního odtoku provedené třemi užitými postupy značně blízké. Ukazují to také hodnoty *BFI* v tabulce 14.

Podstatný je pokles základního odtoku na 60 až 65 % v pozdějším období. V absolutním měřítku poklesly srážky o 32,6 mm ročního úhrnu, celkový odtok o 31,2 mm a základní odtok o 15,2 mm (podle metody Killeho). V podmínkách, kdy roční úhrny srážek a potenciální evapotranspirace jsou si blízké, je režim základního odtoku relativně malou změnou srážek značně ovlivněn.

Tabulka 13. Porovnání průměrných hodnot srážek, celkového odtoku a základního odtoku v období 1966–1987 a 1988–2008

Použité jednotky	Období	Srážky	Celkový odtok	Základní odtok		
				Kille	filtrace (Vlnas)	klouzavá minima
denní výška [mm.den ⁻¹]	1966–1987	1,446	0,217	0,107	0,130	0,120
	1988–2008	1,356	0,131	0,072	0,079	0,079
roční výška [mm.rok ⁻¹]	1966–1987	528,2	79,1	38,9	47,5	44,0
	1988–2008	495,4	47,9	26,5	28,8	28,8
průtoky [m ³ .s ⁻¹]	1966–1987	5,055	0,757	0,372	0,454	0,421
	1988–2008	4,741	0,458	0,253	0,276	0,276
poměr období [%]		93,8	60,5	68,0	60,7	65,5

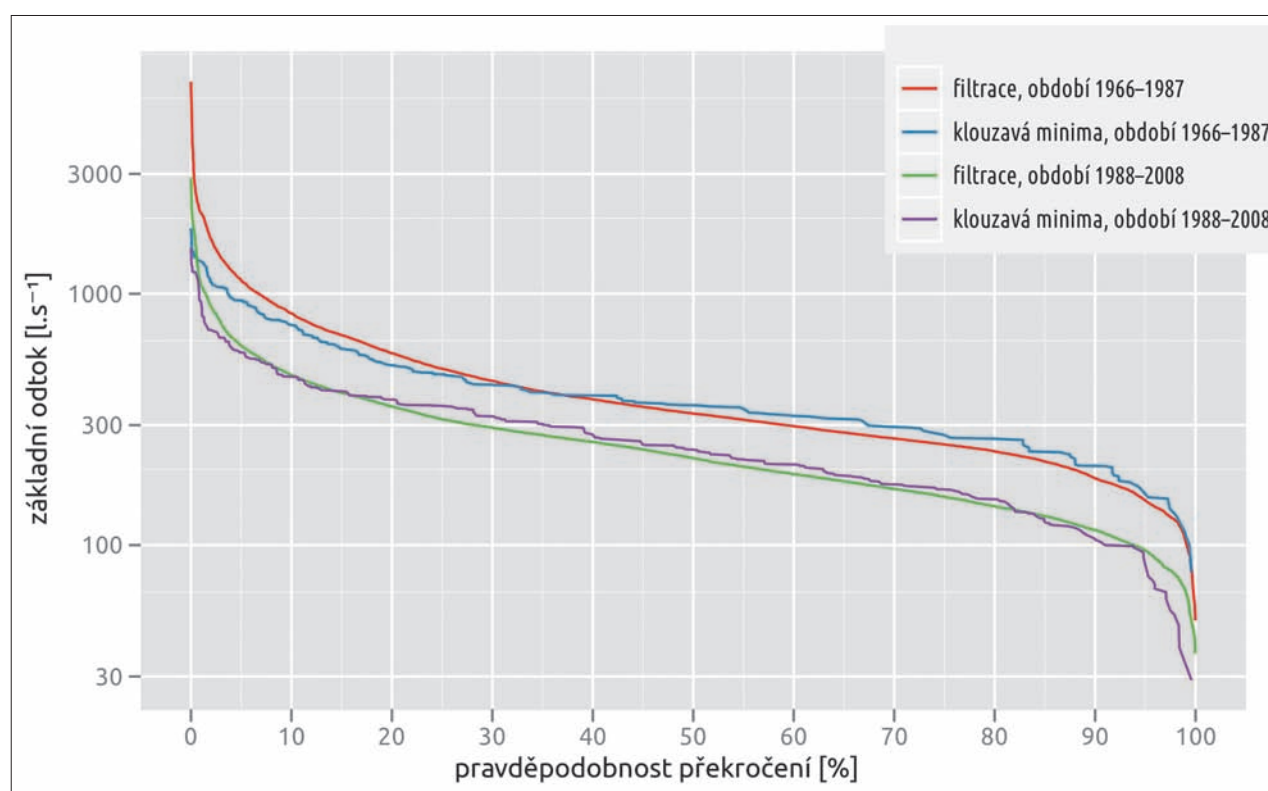
Tabulka 14. Poměr průměru základního k průměru celkového odtoku (*BFI*)

Období	<i>BFI</i>		
	Kille	filtrace (Vlnas)	klouzavá minima
1966–1987	0,492	0,600	0,557
1988–2008	0,533	0,602	0,602

Na obr. 44 jsou vyneseny čáry překročení základního odtoku odhadnuté metodou filtrace a pomocí klouzavých minim pro posuzovaná období. V tabulce 15 jsou pro zvolené hodnoty pravděpodobnosti překročení uvedeny velikosti základního odtoku (v měřítku $l.s^{-1}$) pro posuzovaná období a použité postupy odvození základního odtoku.

Tabulka 15. Základní odtok [$l.s^{-1}$] odpovídající dané pravděpodobnosti překročení

Pravděpodobnost překročení [%]	1966–1987		1988–2008	
	filtrace	klouzavá minima	filtrace	klouzavá minima
50	334	360	222	241
60	297	329	192	210
70	265	294	167	175
80	236	266	143	154
90	185	206	115	105
95	151	161	95	84
99	104	112	66	39



Obr. 44. Čáry překročení základního odtoku z období 1966–1987 a 1988–2008

Výsledky podle filtrace zasahují v oblasti maxim do podstatně větších hodnot. V oblasti malých průtoků jsou výsledky podle filtrace menší, s výjimkou hodnot v období 1988–2008 pro pravděpodobnosti 90 % a více. Pro současný stav jsou směrodatné výsledky z období 1988–2008.

Pro hydrogeologický rajon č. 5131 rakovnická pánev byly odvozeny ve zprávě Kněžka (1993) odhady přírodních zdrojů $Q_{250\%} = 805 l.s^{-1}$, $Q_{295\%} = 461 l.s^{-1}$. Plocha povodí Rakovnického potoka po profil vodoměrné stanice Rakovník je 31 % plochy povodí tohoto rajonu (941 km^2). V této studii jsou uvedeny charakteristiky základního odtoku odvozené metodou Kliner-Kněžek z pozorování průtoků ve vodoměrné stanici Rakovník a vydatnosti pramene č. PP0395ČHMÚ (Přílepy) z období 1971–1990. V tabulce 16 jsou porovnány s hodnotami odvozenými filtrací pro období 1988–2008.

Tabulka 16. Porovnání $Q_{z50\%}$ a $Q_{z95\%}$ pro období 1971–1990 a 1988–2008

Období	Q_z průměr [$l \cdot s^{-1}$]	$Q_{z50\%}$ [$l \cdot s^{-1}$]	$Q_{z95\%}$ [$l \cdot s^{-1}$]
1971–1990	331	298	174
1988–2008	276	222	95
rozdíl [$l \cdot s^{-1}$]	55	76	79
pokles o [%]	16,6	25,5	45,4

Uvedené porovnání potvrzuje klesající tendenci základního odtoku, resp. přírodních zásob podzemní vody v povodí Rakovnického potoka. Je velmi pravděpodobné, že úměrně by se změnil i odhad pro celý hydrogeologický rajon č. 5131 rakovnická pánev.

Podle výsledků hodnocení důlní činnosti v severní části pánve (viz oddíl v kapitole 3.3.2) je z prostoru Kounov odváděna podzemní voda z plochy zhruba 10 km^2 (3 % povodí k profilu v Rakovníku) do povodí Ohře. Tento stav existoval již před počátkem poklesového trendu průtoků. Na mnoha místech naopak stařiny, popř. i výchozy štol jen mělce zasypaných mohou přispívat k zvýšené infiltraci do podzemních vod.

Vlivy ukončené důlní činnosti se zřejmě projevují v plošné nepravidelnosti odtoků v pramenných zónách jednotlivých vodotečí, na poklesu celkového odtoku z povodí Rakovnického potoka se podílejí nevýznamně.

3.3 Zpřesnění znalostí o plošné a časové proměnlivosti hydrologických poměrů

3.3.1 Povrchové vody

Účelová měření v povodí

Vodoměrná pozorování

Základem pro odvození hydrologických charakteristik, které jsou nezbytným základem pro posouzení možností zvětšit akumulační schopnosti povodí Rakovnického potoka, jsou soustavná pozorování srážek ve stanicích ČHMÚ a vodoměrné stanici ČHMÚ Rakovník. Pro dosažení co největší spolehlivosti vyčíslení průtoků v této stanici bylo v rámci úkolu provedeno několik měření průtoků v profilu limnigrafu, výsledky byly předány na pobočku ČHMÚ v Plzni. Podle ověření, které jsme provedli, byly denní průtoky vyčíslené pro hydrologické roky 2009 až 2011 věrohodné a byly použity bez jakýchkoliv úprav.

Při použití dat z tohoto profilu je třeba mít na paměti, že jde o průtoky ovlivněné vypouštěním vody z ČOV Rakovník. Z hlediska dlouhodobé bilance je příznivé, že vodoměrná stanice Rakovník uzavírá povodí, ze kterého se voda nikam neodvádí a do kterého se také nepřivádí. Množství vody odebrané z povrchových toků i z vrtů (zmenšené o určité ztráty) s určitým zpožděním proteče profilem stanice. Průtoky v obdobích malé vodnosti však nemohou odpovídat přirozenému režimu, odběry z podzemní vody a jim příslušející díl vypouštěné vody může být větší, než by byl přirozený výtok ze zásob podzemní vody.

Další, již méně závažnou komplikací využití průtoků z vodoměrné stanice Rakovník je ovlivnění průtoků následkem rychlého odtoku dešťových vod z urbanizovaných ploch města Rakovník. Tyto rychlé vzestupy a následující rychlé poklesy průtoků často proběhnou ještě před vzestupem průtoků, který odpovídá reakci celého povodí. Při extrapolaci průtoků ze stanice Rakovník do výše položených profilů, v jejichž povodí srovnatelné urbanizované plochy nejsou, budeme mírně nadhodnocovat.

Pro posouzení, zda poznatky o odtokovém režimu vyhodnocené z pozorování vodoměrné stanice Rakovník na Rakovnickém potoce reprezentují i povodí největšího přítoku Rakovnického potoka, což je Lišanský potok (vlévá se do Rakovnického potoka na okraji Rakovníka nedaleko nad vodoměrnou stanicí Rakovník a nad vyústěním vypouštění odpadních vod z ČOV Rakovník, jeho povodí má plochu 129 km²), jsme zřídili na tomto toku v místě zvaném Na Cikánce účelovou limnigrafickou stanicí. Zvolený profil má svislé betonové zdi a byl doplněn o přeliv pro stabilizaci dna a možnost přesnějšího vyhodnocení malých průtoků (obr. 45). Profil uzavírá povodí o ploše 97,7 km².

V profilu byl instalován vodočet a tlaková sonda Noel, prováděla se v něm poměrně často hydrometrická měření, byla sestrojena měrná křivka průtoků a vyhodnocena řada průměrných denních průtoků pro období od 16. dubna 2009 do 30. října 2011.

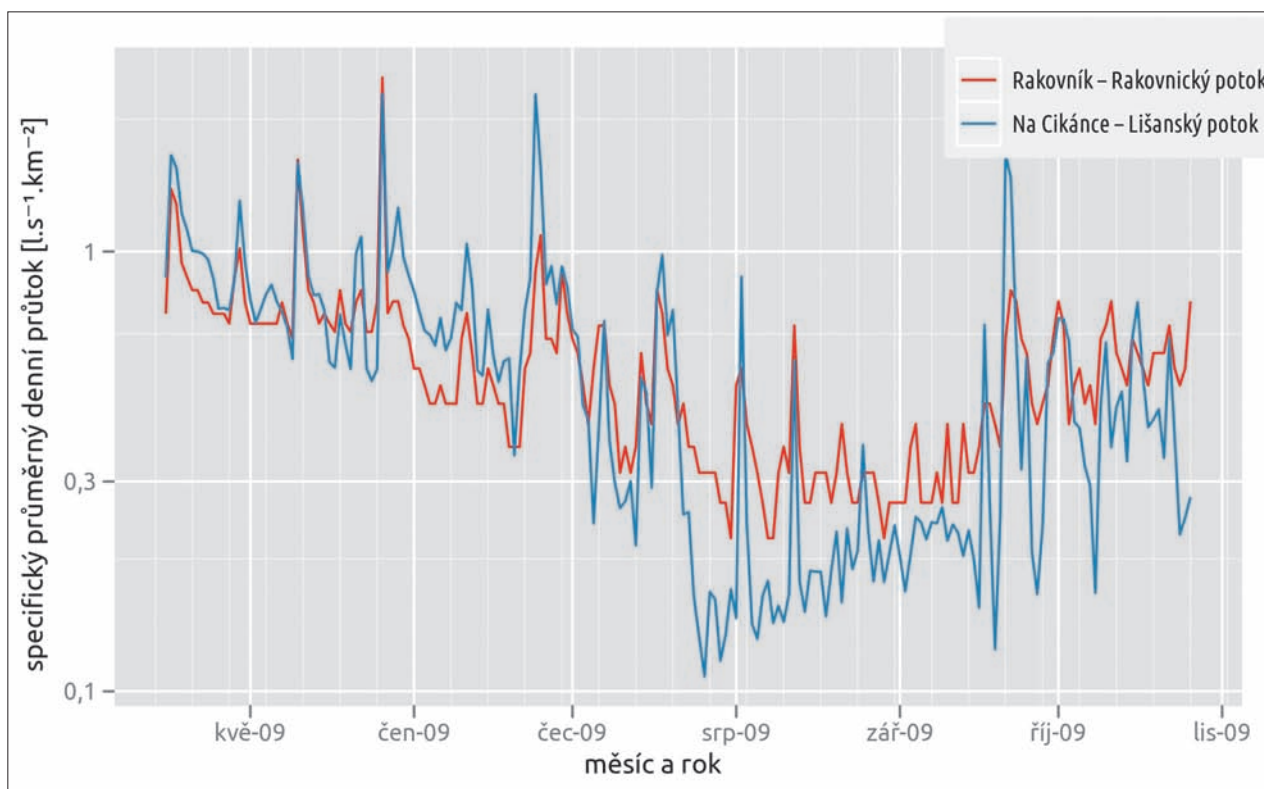
Z porovnání průběhů specifických průtoků stanovených z měření na Lišanském potoce a z vodoměrné stanice Rakovník na Rakovnickém potoce na obr. 46–48 je patrné, že z hlediska sezonního i krátkodobého kolísání průtoků jsou si průběhy velmi podobné. Jiná je však situace v období minimálních průtoků, kdy hodnoty pro Rakovnický potok jsou znatelně větší. Potvrzuje se předpoklad, že vypouštěním odpadních vod z ČOV Rakovník, které pocházejí převážně z odběrů podzemní vody, jsou průtoky ve vodoměrné stanici Rakovník oproti současnému přirozenému odtoku z povodí zvětšovány.

To ale neplatí pro průtoky nad vyústěním odpadních vod z ČOV Rakovník. Obrázek 49 znázorňuje rozdíl průměrných denních průtoků ve vodoměrné stanici Rakovník a vodoměrné stanici Na Cikánce na Lišanském potoce, který lze považovat za přibližný odhad průtoků v Rakovnickém potoce nad soutokem s Lišanským potokem (zvětšený o příspěvek z dolní části povodí Lišanského potoka). Když od tohoto rozdílu odečteme příspěvek z vypouštění ČOV, blíží se odhad průtoků Rakovnického potoka nad soutokem s Lišanským potokem v období hydrologického sucha v roce 2009 k nulovým hodnotám, resp. vychází v krátkém časovém úseku záporný. Z povodí Rakovnického potoka

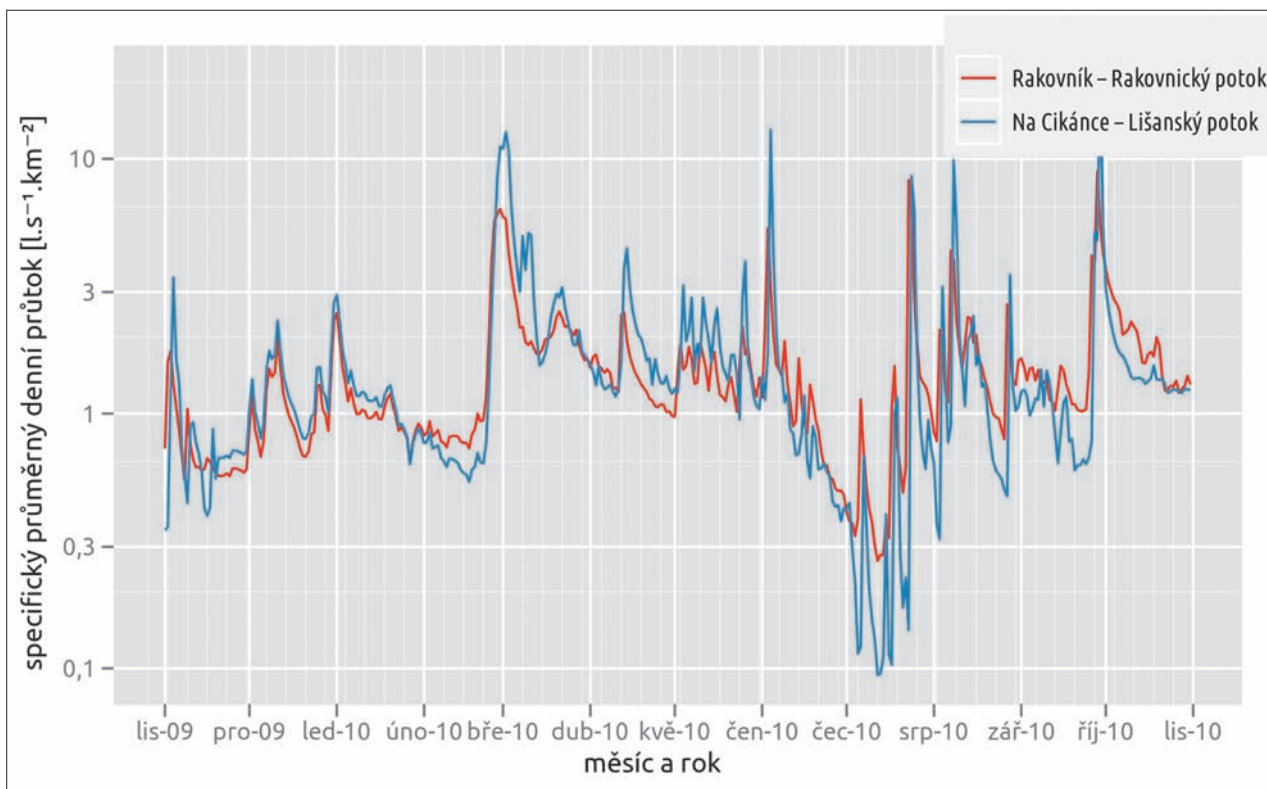
nad soutokem s Lišanským potokem tedy během hydrologického sucha v roce 2009 protékal jen velmi malý průtok (obr. 50). Tato situace se zopakovala i v roce 2010.



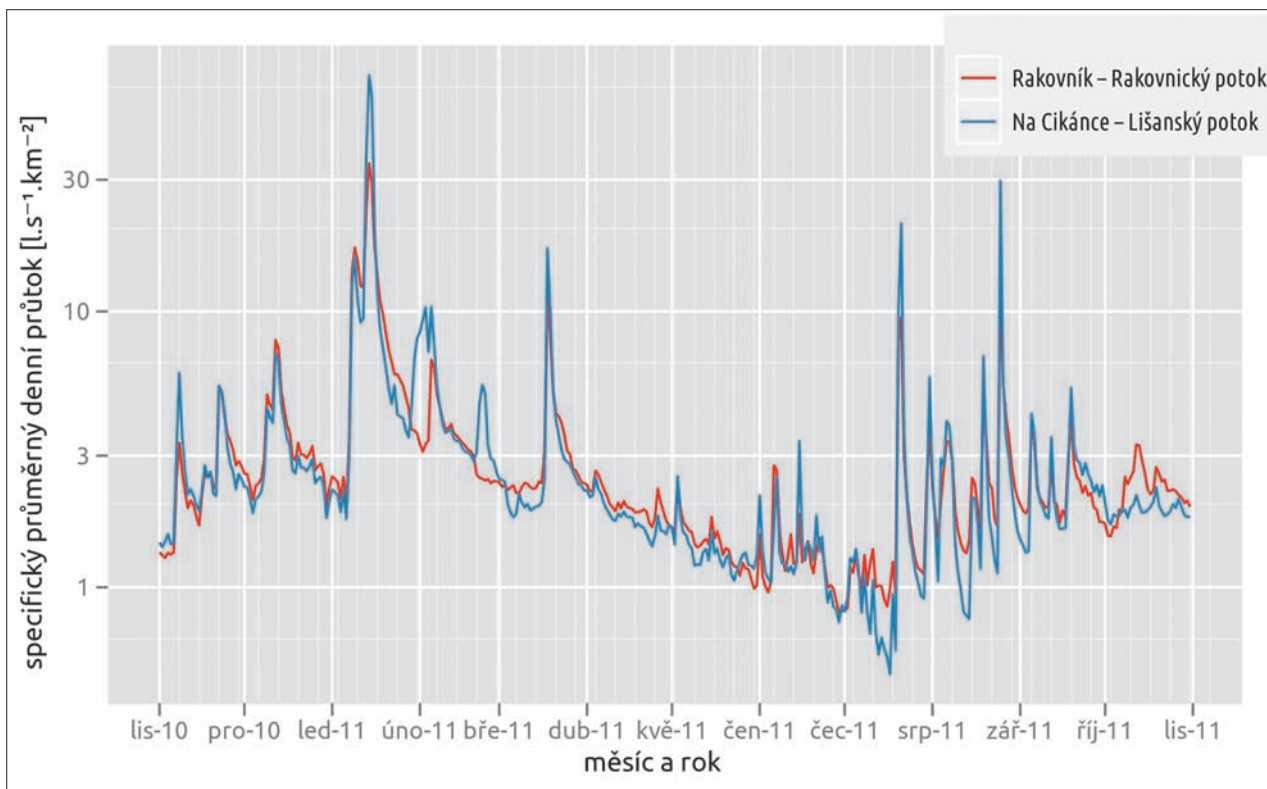
Obr. 45. Vodoměrná stanice Na Cikánce – Lišanský potok



Obr. 46. Specifické průměrné denní průtoky Rakovnického potoka ve stanici Rakovník a Lišanského potoka ve stanici Na Cikánce v roce 2009

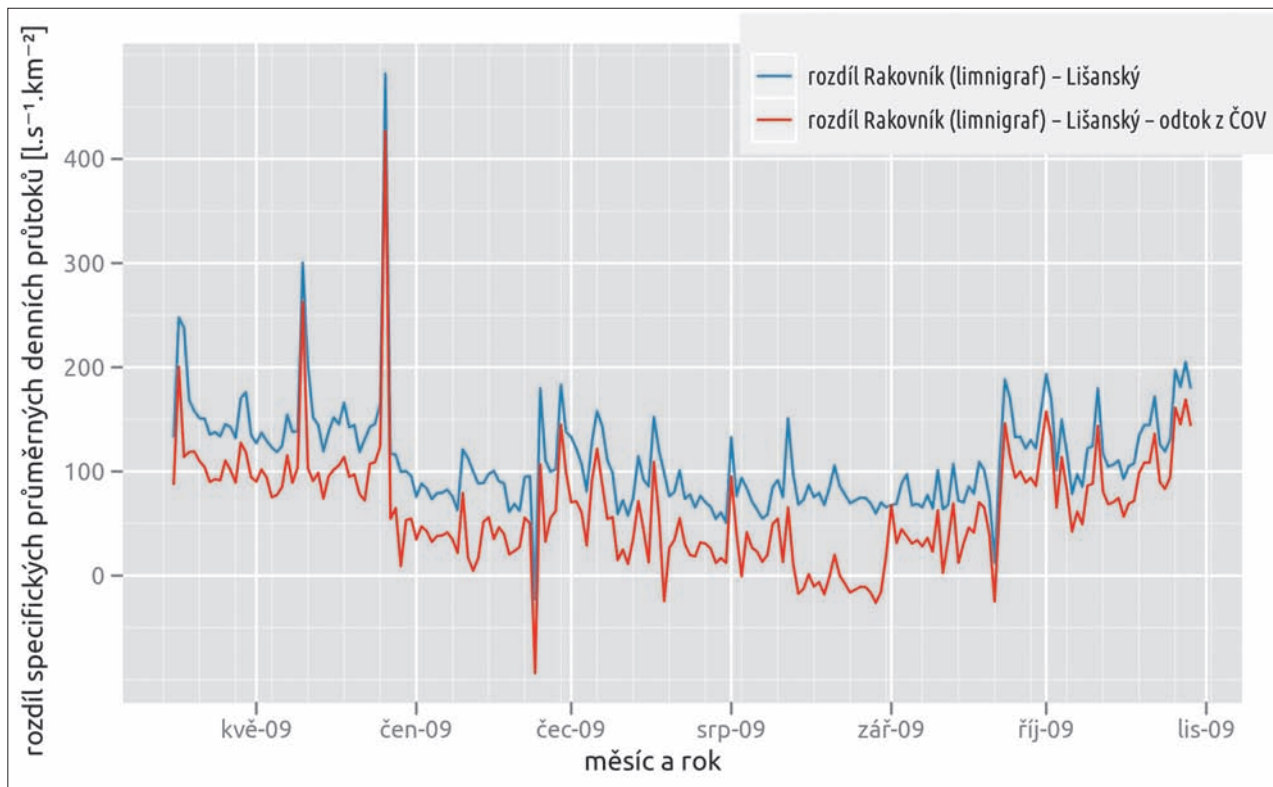


Obr. 47. Specifické průměrné denní průtoky Rakovnického potoka ve stanici Rakovník a Lišanského potoka ve stanici Na Cikánce v roce 2010



Obr. 48. Specifické průměrné denní průtoky Rakovnického potoka ve stanici Rakovník a Lišanského potoka ve stanici Na Cikánce v roce 2011





Obr. 49. Rozdíl průměrných denních průtoků mezi stanicemi Rakovník a Na Cikánci

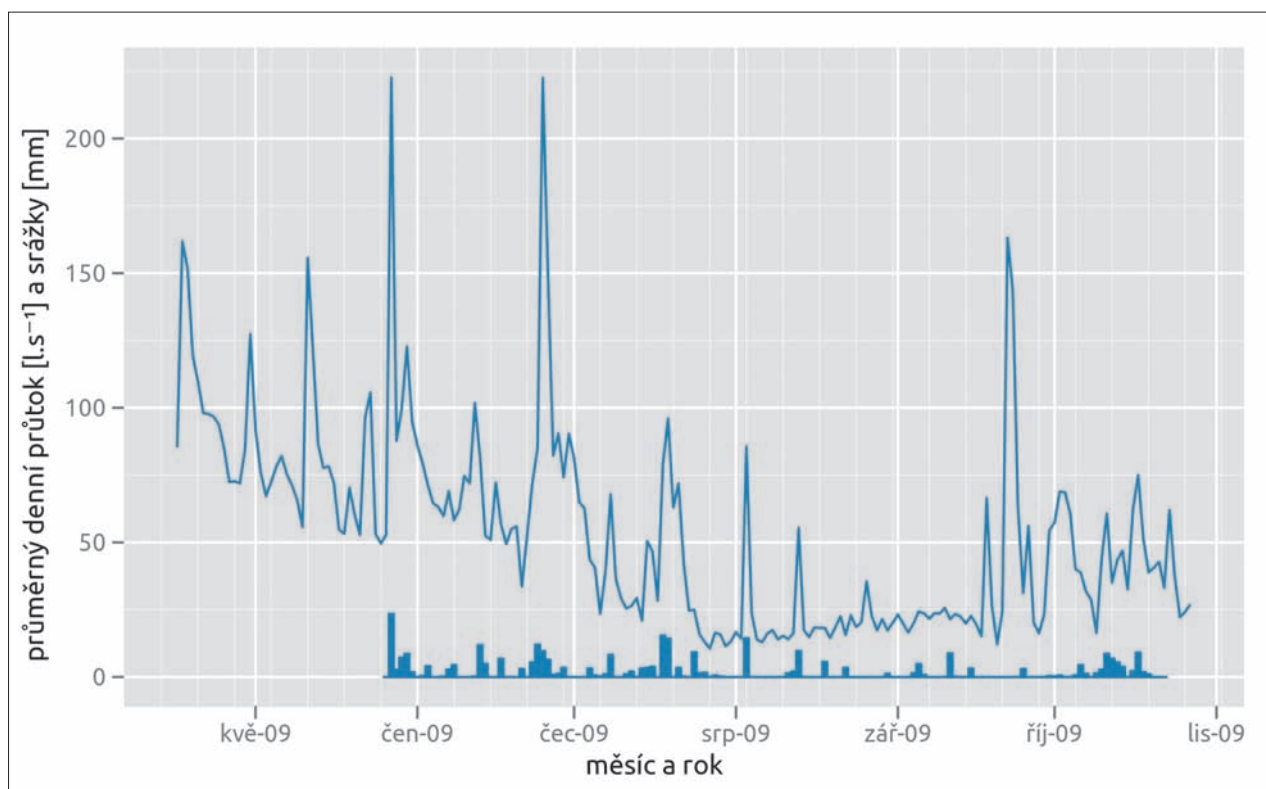


Obr. 50. Rakovnícký potok nad soutokem s Lišanským potokem, 12. 9. 2009, průtok $12 l \cdot s^{-1}$

Srážkoměrná a klimatická pozorování

Pro průběžné sledování meteorologické situace jako doplněk k standardním pozorováním ČHMÚ jsme instalovali automatickou meteorologickou stanici, která měří teplotu vzduchu, vlhkost vzduchu, srážky, rychlost a směr větru. Stanice je umístěna 4,5 km východně od rozvodnice povodí Rakovnického potoka, poblíž Nového Strašecí v lokalitě pod Mackovou horou, v nadmořské výšce cca 435 m n. m. Pro toto umístění jsme se rozhodli proto, že zde máme k dispozici zdroj elektrické energie, stanice je na oploceném pozemku a od dubna do listopadu je trvale pod dohledem pověřeného spolupracovníka.

Automatická stanice měří data v intervalu 30 minut, takže pro popis srážkových událostí získáváme i údaje o jejich intenzitě. I při přepočtu na denní úhrny lze na základě porovnání průběhu srážek a odtoků posoudit, zda vzestupy průtoku v podzimních měsících byly způsobeny srážkami, nebo zda jsou důsledkem vypouštění rybníků. Takový případ nastal koncem září, což ukazuje obr. 51.



Obr. 51. Průběh průměrných denních průtoků Lišanského potoka ve vodoměrné stanici Na Cikánci a denních úhrnů srážek ve stanici Pod Mackovou horou (pozorování od 26. 5. 2009)

Hydrometrická měření

V rámci řešení úkolu byla věnována značná pracovní kapacita hydrometrickým měřením, neboť pouze na jejich základě lze získat věrohodné informace o plošném rozložení odtoku z povodí.

V tabulce 17 uvádíme i výsledky hydrometrických měření, která jsme provedli v roce 2008 v osmi profilech v předstihu, před zahájením řešení úkolu. Měření byla soustředěna zejména na vodoměrnou stanici Rakovník a přispěla k rekonstrukci vyčíslení průměrných denních průtoků Rakovnického potoka, které jsme provedli na počátku prací na úkolu.

V rámci řešeného úkolu byla měření prováděna ve vodoměrných stanicích jako podklad pro ověření, resp. konstrukci měrných křivek průtoku a zpřesnění vyčíslení průtoků. Další měření byla prováděna v sestavě profilů, které byly umístěny tak, aby reprezentovaly poměry v hlavní říční síti posuzovaného povodí, od roku 2010 se zaměřením na předpokládané profily možných nádrží. Řada měření byla součástí měření podélných profilů průtoků v úsecích toků, kde z hydrologické bilance byla indikována možnost průsaku vody z řečiště do podzemní vody. Až na výjimky byla

měření provedena pomocí hydrometrických vrtulí, v případě povodně z ledna 2011 i zařízením StreamPro (měření pomocí ultrazvuku využívající Dopplerova principu).

Výsledky měření z hydrologických let 2009 až 2011 jsou uvedeny v *tabulkách 17 až 20*. V tabulkách jsou uvedeny pod označením h. č. poslední části čísla hydrologického pořadí základního povodí podle členění ČHMÚ, v kterém se měrný profil nachází. Jemu předchází u všech dílčích povodí stejná část čísla: 1-11-03. Rozmístění základní sestavy měrných profilů je na mapce na *obr. 1*, plochy dílčích povodí jsou v *tabulce 4*. Rozmístění profilů, ve kterých bylo provedeno hydrometrické měření v rámci zaměřování podélného profilu průtoků, je znázorněno v mapkách na *obr. 77 a 83* v části 3.3.3.

Tabulka 17. Výsledky hydrometrických měření v hydrologickém roce 2008 [l.s⁻¹]

Tok	Místo	h. č.	Plocha	Datum			
			[km ²]	14. 4.	27. 5.	28. 6.	6. 8.
Rakovnický	Pšovky pod Klečetnou	2	44,6	41			
Rakovnický	pod Senomaty	8	90,2	87			
Kolešovický	nad ústím	12	51,9	17	29		
Rakovnický	nad soutokem s Lišanským	15	163,3	114	117		
Lišanský	Lišany	26	74,6	76,5			
Lišanský	Na Cikánce	30	97,7				
Lišanský	ústí	34	129,4	112	106		
Rakovnický	limnigraf	35	302	302	292	145	123

Tabulka 19. Výsledky hydrometrických měření v hydrologickém roce 2010 [l.s⁻¹]

Tok	Místo	h. č.	Datum												
			19. 11.	20. 11.	13. 1.	15.-16. 2.	25. 2.	17. 3.	3. 4.	23. 4.	8. 5.	15. 6.	15. 7.	31. 8.	
Rakovnický	Pšovky pod Klečetnou	2	16,8			23,9	124			69,6	76,3	48,6			87,3
Řeřišský	nad Šanovem	4	4,4			9	128			31,2	11,6	15,6			21,2
Petrovický	nad rybníkem Hostokryje	6	3,7			4,7	244			24,4	23				33,9
Brandský	nad rybníkem Hostokryje	7	1,5												
Rakovnický	pod Senomaty	8	37				659			282	116,2			18,3	191,5
Kolešovický	nad soutokem s Hájevkým	10	2,4			3,8	17,4			3,7	4,4	7		0,8	9,6
Hájevký	nad soutokem s Kolešovickým	11	5,4			6,8	36			18,8	14,3	15,1		0,6	26,9
Kolešovický	nad ústím do Rakovnického	12	13,7			11,8	96,3			25	25,2	23,4		5	61,2
Lišanský	most u Nesuchyně	20				6,8	15								
Nesuchyňský	Nesuchyně	21				7				2					
Novodvorský	nad rybníkem Chobot	22				2	3								
Lišanský	bývalý rybník Chobot	18				30,9	69,8			57,7	53,9	45,1			88,5
Červený	křížení se silnicí Praha–Karlovy Vary	23		3											
Červený	křížení se silnicí Lišany–Krupá	25					30			8					
Lišanský	stanice Na Cikánce	30	41,9		94,2		250	190	110	103,8	91,1	808	11,6		
Rakovnický	limnigraf Rakovník	37				200					376				

Tabulka 20. Výsledky hydrometrických měření v hydrologickém roce 2011 [l.s⁻¹]

Tok	Místo	h. č.	Datum														
			2. 11.	11. 1.	14. 1.	18. 1.	9.-10. 2.	9. 3.	15. 3.	14. 4.	12. 5.	17. 5.	23. 6.	2. 8.	4. 10.		
Rakovnický	Pšovilky pod Klečetnou	2					242						33		32,3	0	114,9
Řeřišský	nad Šanovem	4					46,7					25	12,7		11,5	8,8	3,2
Petrovický	nad rybníkem Hostokryje	6					66					24	17,7		16,2	13,4	11,9
Brandský	nad ústím	7					15,3										
Rakovnický	pod Senomaty	8	123				464,5					207,5	98,5	111	89,4	110	190
Kolešovický	nad soutokem s Hájevským	10					55,7					9,6	6,9		5,9		12,7
Hájevský	nad soutokem s Kolešovickým	11					83,7					38	13,2		26,8		21,1
Kolešovický	zbořený mlýn pod soutokem	12												30,7			
Kolešovický	pod Přílepy	12					128,8				188	60		40			
Kolešovický	pod Přílepy – Bělídlo	12					139,6							41,6			36,1
Kolešovický	brod u stělnice – pod Bělídlem	12											42,2	36,7			
Kolešovický	nad ústím do Rakovnického	12	35				151,5			202		63,4	43,4	44,1	48,4	51,2	43,2
Rakovnický	nad ústím Černého potoka	13										269	135	147		176	228,2
Rakovnický	nad Lišanským potokem – lávka	13		2800													
Lišanský	most u Nesuchyně	18					87,6						32,8				
Nesuchyňský	Nesuchyně	20					8,8						6,1				
Novodvorský	nad rybníkem Chobot	21											3				33,8
Lišanský	bývalý rybník Chobot	22					192,8					120	81,7		80,3		71,4
Červený	křížení se silnicí Lišany-Krupá	25					60						28,4				
Lišanský	Stanice Na Cikánce	30		813	6200	763	332	251				230	139		132,2	217	127,8
Lišanský	u vrtu VS 1	30					335										
Lišanský	pod továrnou RAKO	30										217	134				
Rakovnický	limnigraf Rakovnick	37		4110	11400	3780				731			435		315		

Orientační posouzení kvality vody

Předmětem řešení nebyly problémy kvality vody, nicméně při návrhu nádrží pro zvětšení akumulační schopnosti povodí je nelze pominout. Proto byl v síti 15 profilů, navazujících na profily, ve kterých byla prováděna hydrometrická měření, uskutečněn jednorázový odběr vody a zajištěn její rozbor.

Odběr byl proveden na konci období minimálních průtoků 23. 9. 2009, v profilech na Rakovnickém potoce však již byly průtoky zvětšeny počínajícím vypouštěním rybníků. Komplexní rozbor (analyzovány byly fyzikální a chemické ukazatele, kovy a specifické organické látky) byl proveden v laboratořích VÚV TGM, v.v.i.

Pro rámcové hodnocení výsledků analýz byly použity ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod – pět tříd jakosti; I. neznečištěná voda až V. velmi silně znečištěná voda, nařízení vlády č. 229/2007 Sb., příloha č. 3 a směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES.

Hlavním důvodem zhoršené jakosti toků ve sledovaném období byly obecné ukazatele. Nejhorší stav vykazovaly profily Rakovnický potok pod ČOV Rakovník (ukazatele $P_{\text{celk}'}$, NL_{105}' , $CHSK_{Cr}$, BSK_5' , TOC), Krušovický potok (pH, el. konduktivita, $P_{\text{celk}'}$, $CHSK_{Cr}$, BSK_5' , TOC), Červený potok (pH, el. konduktivita, $P_{\text{celk}'}$, $N-NO_3^-$, N , $N_{\text{celk}'}$) a Hájevský potok (pH, $P_{\text{celk}'}$, $N-NH_4^+$). Relativně nejlepší stav vykazovaly v této skupině ukazatelů profily Rakovnický potok-Senomaty, Řeřišský potok, Rakovnický potok-Pšovlky a Nesuchyňský potok.

Koncentrace sledovaných kovů se ve většině profilů pohybovaly na úrovni I.–II. třídy jakosti podle ČSN (s výjimkou koncentrace Fe, Mn a Zn v profilu Rakovnického potoka-pod ČOV Rakovník a Fe v profilu Lišanský potok-pod rybníkem Chobot). Limitní hodnoty podle nařízení vlády překročila pouze koncentrace Fe v profilu Rakovnického potoka-pod ČOV Rakovník.

Také koncentrace sledovaných specifických organických látek se ve většině profilů pohybovaly na úrovni I.–II. třídy jakosti podle ČSN. Výjimku tvořily polychlorované bifenylly: zjištěná koncentrace PCB v profilu Nesuchyňský potok byla na úrovni III. třídy, v profilu Rakovnický potok-pod ČOV Rakovník na úrovni IV. třídy jakosti. V obou případech byly překročeny limitní hodnoty podle nařízení vlády.

Odhad průběhu průtoků v závěrových profilech dílčích povodí v hydrologickém roce 2009

Pro odhad velikosti odtoku z dílčích povodí, ze kterých odtéká voda do závěrového profilu limnigrafické stanice Rakovník na Rakovnickém potoce, byly využity tyto zdroje informací:

- řada průměrných denních průtoků ve vodoměrné stanici ČHMÚ Rakovník za hydrologický rok 2009, poskytnutá pobočkou ČHMÚ Pízeň,
- řada průměrných denních průtoků z účelové stanice VÚV TGM Na Cikánce na Lišanském potoce, která zahájila pozorování 16. 4. 2009,
- výsledky 171 měření průtoků v 19 profilech říční sítě Rakovnického potoka a jeho přítoků, uvedené v *tabulce 18*,
- řada průměrných vypouštění vody z čistírny odpadních vod (ČOV) Rakovník poskytnutá firmou RAVOS, s.r.o.

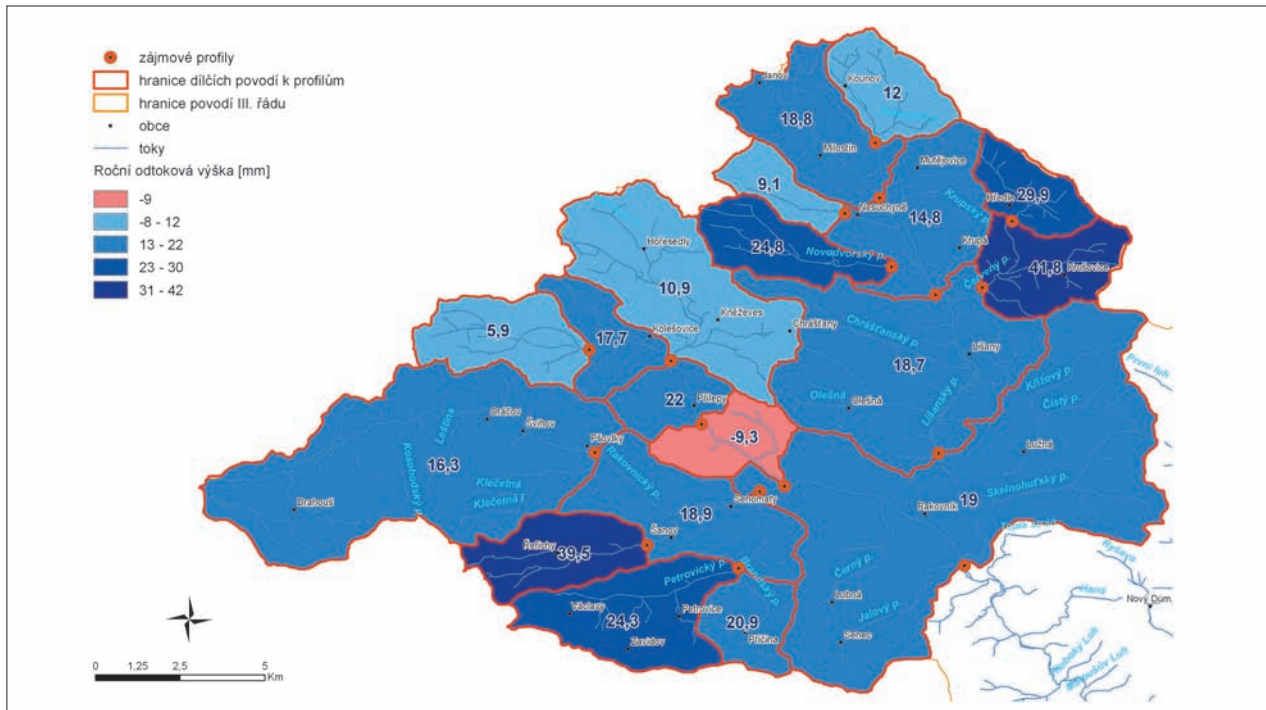
Průběh průtoků v 18 profilech, které uzavírají dílčí povodí, byl vypočten následujícím postupem:

- ve dnech, kdy byly v posuzovaném profilu měřeny průtoky, byl vypočten poměr Q/Q_R mezi změřeným průtokem Q a průměrným denním průtokem Q_R Rakovnického potoka ve stanici Rakovník,
- pro období mezi dnem prvního a posledního měření byly hodnoty poměru Q/Q_R mezi hodnotami pro dny měření lineárně interpolovány,
- pro období před prvním měřením a po posledním měření byly hodnoty poměru Q/Q_R považovány za konstantní a rovné poměru zjištěného z prvního, resp. posledního měření,
- v případě průtoků zvětšených krátkodobým vypouštěním rybníků nebyl poměr Q/Q_R z odpovídajícího měření pro popsání výpočet použit,
- podle hodnot Q/Q_R pak byly vypočteny průměrné denní průtoky Q pro celý hydrologický rok.

Průměrné průtoky a odtokové výšky v závěrových profilech dílčích povodí

Podle řad průtoků ze závěrových profilů dílčích povodí byly vypočteny průměrné průtoky za hydrologický rok 2009. Jsou uvedeny v *tabulce 21*, která obsahuje i odpovídající průměrné specifické průtoky, objemy vody odtékající za rok a roční výšky odtoku.

Údaje pro Červený potok v profilu most u Krupé a jemu příslušejícímu mezipovodí byly upraveny (zmenšeny) o vypouštění $6,17 \text{ l.s}^{-1}$ z pivovaru Krušovice (údaje z roku 2009 nebyly ještě k dispozici, použili jsme data z předcházejících let). Neupravené průměrné průtoky jsou v *tabulce 21* uvedeny v závorce. Pro mezipovodí nad vodoměrnou stanicí Rakovník jsme od průměrného průtoku vyhodnoceného z bilance odečetli průměrný průtok 47 l.s^{-1} vypouštění z ČOV Rakovník.



Obr. 52. Plošné rozložení ročních výšek odtoku v roce 2009

Odtokové výšky v dílčích povodích jsou dosti proměnlivé, jejich plošné rozložení však není nahodilé, viz mapku na obr. 52. Největších hodnot dosáhly jednak v jižní části povodí Rakovnického potoka, tj. u jeho pravostranných přítoků Řeřišský potok a Petrovický potok. Obdobně velkých hodnot cca 40 mm dosáhly také v povodí Červeného potoka. Nejmenší odtokové výšky byly vyčísleny pro dílčí povodí, která vytvářejí pás na severozápadním okraji povodí Rakovnického potoka od horní části Kolečovického potoka (6 mm) až po povodí Kounovského potoka (12 mm). Výjimkou zde je jen povodí Novodvorského potoka. Na celé zbývající ploše povodí Rakovnického potoka jsou odtokové výšky v rozmezí 15–20 mm.

V dolní části mezipovodí Kolečovického potoka v roce 2009 vychází průtoková bilance záporná. Je velmi pravděpodobné, že oblast, ze které podstatná část vody neodtéká vodními toky, nýbrž cestou podzemního odtoku a vodárenského využití, je podstatně větší, než je plocha dolní části mezipovodí Kolečovického potoka ($6,8 \text{ km}^2$). Za předpokladu, že dotace podzemního odtoku by byla polovinou odtoku celkového, tj. v měřítku odtokové výšky v roce 2009 cca 10 mm.rok^{-1} , pro dotaci odběrů podzemní vody 30 l.s^{-1} by musela voda vsakovat téměř z jedné třetiny celého povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem. Podle výsledků vyhodnocení odtoků z dílčích povodí lze usuzovat, že kromě dolní části povodí Rakovnického potoka je podzemní odtok dotován z oblasti jeho levostranných přítoků, zejména Kolečovického, částečně i Lišanského potoka.

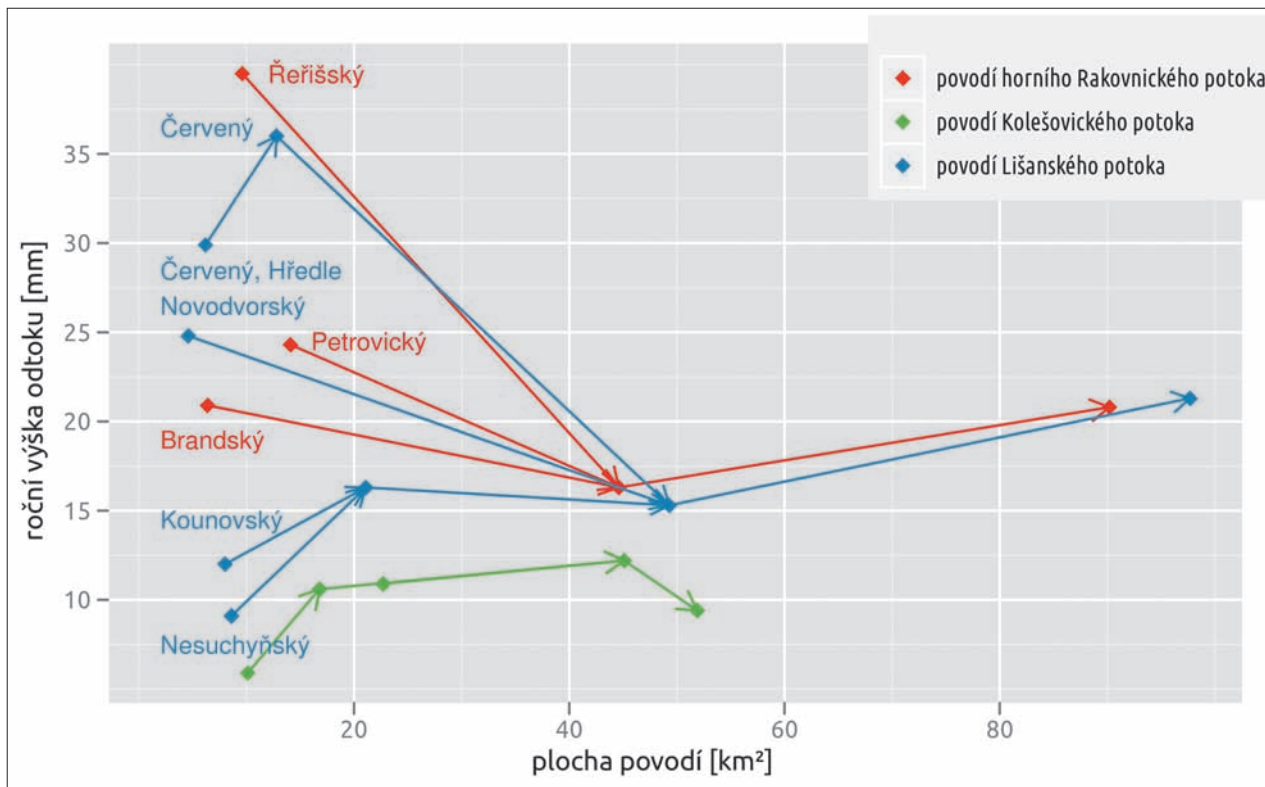
Při použité soustavě měrných profilů není dostatečně zachycena rozdílnost odtokových výšek na poměrně velké ploše $62,2 \text{ km}^2$ mezipovodí nad vodoměrnou stanicí Rakovník. Je velmi pravděpodobné, že v oblastech při rozvod-

nici na jižním okraji a zejména na východním okraji (povodí Čistého potoka) jsou odtokové výšky podstatně větší než průměr 19 mm pro celou plochu mezipovodí.

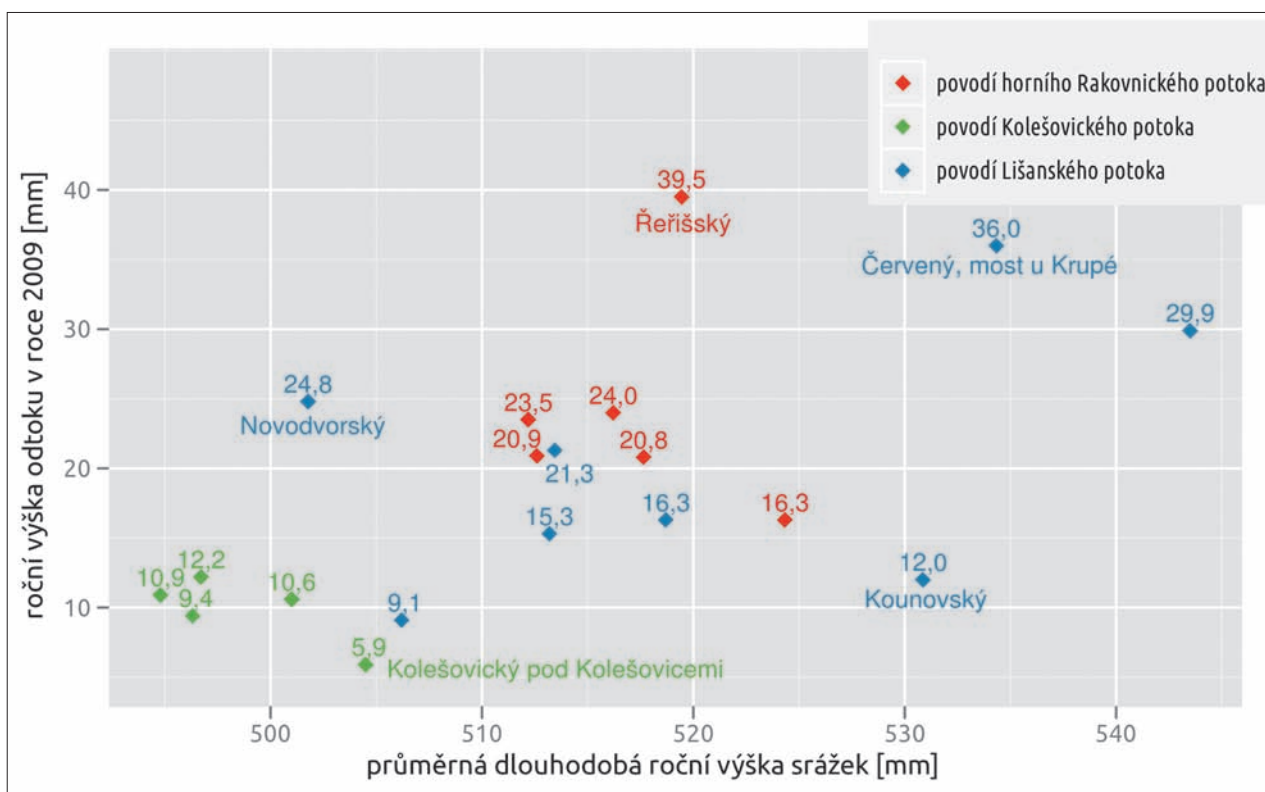
V tabulce 21 jsou tučným písmem odlišeny profily uzavírající povodí Rakovnického potoka nad Kolečovickým potokem (profil Senomaty), Kolečovický potok a převážnou část povodí Lišanského potoka (profil Na Cikánce). Z porovnání specifických průtoků, resp. ročních výšek odtoku na obr. 53 vyplývá, že odtok z povodí Kolečovického potoka v jeho závěrovém profilu je méně než poloviční vzhledem k odtoku z horního povodí Rakovnického i z povodí Lišanského potoka. Je to důsledek dlouhodobě menších srážek – viz obr. 54, na kterém je jako ukazatel srážek použit dlouhodobý roční úhrn srážek na povodí z období 1960–2005 podle ČHMÚ. Přispívá k tomu výše popsany pokles průtoků v dolní části jeho povodí.

Tabulka 21. Průměrné průtoky, průměrné specifické průtoky a odtokové výšky za hydrologický rok 2009

Tok	Profil	Průměr [l.s ⁻¹]	Plocha povodí [km ²]	Specifický průtok [l.s ⁻¹ .km ⁻²]	Objem odtoku za rok [mil. m ³]	Roční výška odtoku [mm]
Rakovnický	Pšovky	23,04	44,6	0,516	0,726	16,3
Řeřišský	nad Šanovem	12,02	9,6	1,252	0,379	39,5
Petrovický	nad rybníkem Hostokryje	10,88	14,1	0,771	0,343	24,3
Brandský	nad rybníkem Hostokryje	4,24	6,4	0,663	0,134	20,9
Rakovnický	mezipovodí R1	9,30	15,5	0,600	0,293	18,9
Rakovnický	Senomaty	59,48	90,2	0,659	1,876	20,8
Kolečovický	nad Kolečovicemi	1,90	10,1	0,188	0,060	5,9
Kolečovický	mezipovodí L1	3,76	6,7	0,561	0,119	17,7
Kolečovický	nad soutokem s Hájevským	5,66	16,8	0,337	0,179	10,6
Hájevský	nad soutokem s Kolečovickým	7,85	22,7	0,346	0,247	10,9
Kolečovický	mezipovodí L2	3,91	5,6	0,698	0,123	22,0
Kolečovický	pod Přílepy	17,42	45,1	0,386	0,549	12,2
Kolečovický	mezipovodí L3	-2,01	6,8	-0,296	-0,063	-9,3
Kolečovický	nad ústím do Rakovnického	15,41	51,9	0,297	0,486	9,4
Kounovský	most na Mutějovici	3,05	8	0,381	0,096	12,0
Lišanský	mezipovodí L1	7,82	13,1	0,597	0,247	18,8
Lišanský	most na Mutějovici	10,87	21,1	0,515	0,343	16,3
Novodvorský	nad ústím	3,61	4,6	0,786	0,114	24,8
Nesuchyňský	Nesuchyně	2,48	8,6	0,288	0,078	9,1
Lišanský	mezipovodí L2	7,03	15	0,469	0,222	14,8
Lišanský	bývalý rybník Chobot	23,99	49,3	0,487	0,757	15,3
Červený	Hředle	5,89	6,2	0,949	0,186	29,9
Červený	mezipovodí L3	(14,91) 8,74	6,6	1,324	0,276	41,8
Červený	most u Krupé	(20,79) 14,62	12,8	1,142	0,461	36,0
Lišanský	mezipovodí L4	21,14	35,6	0,594	0,667	18,7
Lišanský	Na Cikánce	65,93	97,7	0,675	2,079	21,3
Rakovnický	mezipovodí R2 včetně ČOV	84,64	62,2			
	odtok z ČOV	47,09			1,485	
Rakovnický	mezipovodí R2 bez ČOV	37,55	62,2	0,604	1,184	19,0
Rakovnický	Rakovník limnigraf	225,30	302	0,746	7,105	23,5



Obr. 53. Roční výška odtoku z dílčích povodí v roce 2009



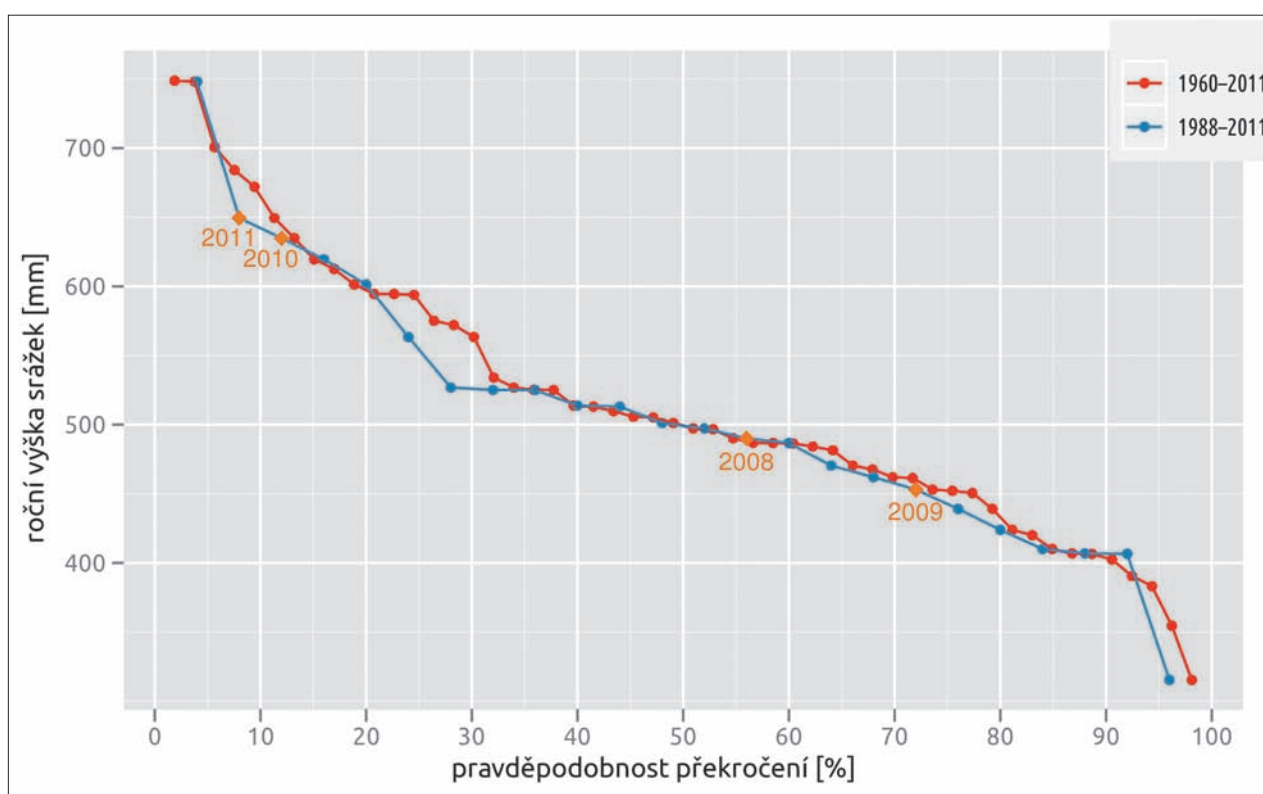
Obr. 54. Výška odtoku z dílčích povodí za rok 2009 porovnaná s dlouhodobou průměrnou roční výškou srážek

Posouzení průtoků v roce 2009 z hlediska dlouhodobého kolísání srážek a průtoků

Z hlediska ročních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka byl rok 2009 podprůměrný, pravděpodobnost překročení 76 % na obr. 55 ukazuje, že v dlouhodobém měřítku lze očekávat, že čtvrtina let bude mít výšku srážek menší. Obrázek také dokládá, že průběh čáry překročení z období 1988–2011 se nijak podstatně neliší od čáry z období 1960–2011. Podstatné také je, že se v tomto dlouhém období vyskytly roční výšky srážek podstatně menší než v období 1988–2011.

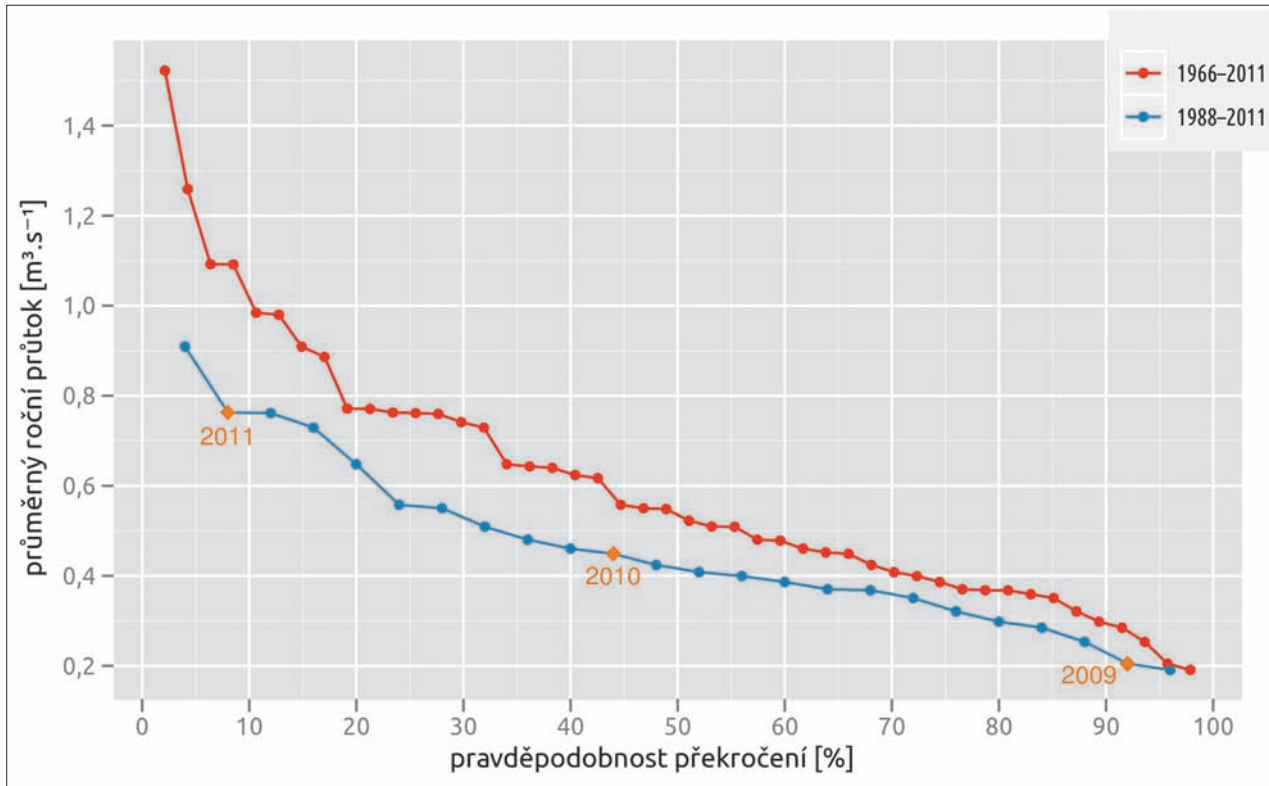
Obdobný způsob posouzení pro průtoky ukazuje graf na obr. 56, na kterém jsou čáry překročení průměrných ročních průtoků Rakovnického potoka ve vodoměrné stanici Rakovník, odděleně zpracované z úseků pozorované řady 1966–2011 a 1988–2011. Podle čáry překročení z období 1988–2008, která je pro posouzení současných poměrů věrohodnější, odpovídá průměrný roční průtok z roku 2009 druhému nejmenšímu průtoku, pravděpodobnosti překročení 92 %. Z hlediska průtoků jde tedy o velmi suchý rok.

V roce 2009 v několika pozorovaných profilech, zejména v Kounovském potoce, Kolečovickém potoce nad Kolečovicemi, ale i v pravostranném přítoku Rakovnického potoka Klečetné, průtok zanikl na dobu cca dvou měsíců. Velmi blízko nulovému průtoku byly v září průtoky v závěrovém profilu Kolečovického potoka, kde z plochy povodí 51,9 km² odtékal průtok cca 2 l.s⁻¹. Rakovníkem protékalo v období malých průtoků jen několik l.s⁻¹, což ukazuje fotografie na obr. 57 ze dne 27. 8. 2009.



Obr. 55. Překročení ročních výšek srážek na povodí Rakovnického potoka s vyznačením let 2008–2011

To, že z hlediska srážek tedy rok 2009 nebyl nijak výjimečně suchý (v minulosti se vyskytly i výšky srážek podstatně menší, přičemž v roce 2009 průtoky poklesly do oblasti absolutních minim), ukazuje na zřetelný vliv oteplení na vývoj odtoků. Z uvedených porovnání je zřejmé, že v případě výskytu roku s extrémně malou roční výškou srážek by při pokračujícím vývoji teplot zcela zanikl na dobu několika měsíců průtok v Kolečovickém potoce i v dolní části Rakovnického potoka.



Obr. 56. Překročení průměrných ročních průtoků Rakovnického potoka v Rakovníku s vyznačením let 2009–2011



Obr. 57. Rakovnický potok nad soutokem s Lišanským potokem, 27. 8. 2009

Posouzení průtoků z hydrologického roku byla věnována značná pozornost, neboť poznatky o odtoku z dílčích částí povodí byly použity při odvozování průtokových řad, které byly základem vodohospodářského řešení navrhovaných akumulčních nádrží. Poměrně příznivou okolností pro hydrologické rozbory je, že rok 2009 měl charakter období s malými průtoky. Z obr. 55 je vidět, že v následujících letech 2010 a 2011 byly výšky srážek v povodí Rakovnického potoka značně nadprůměrné a odhad poměrů v období hydrologického sucha by podle nich byl mnohem méně spolehlivý.





3.3.2 Podzemní vody

Podzemní vody se v povodí Rakovnického potoka významně podílejí na celkovém odtoku a jsou také značně využívány pro vodárenské zásobování. Podle poznatků z výsledků hydrogeologického průzkumu, zejména na základě poznatků získaných z podrobného průzkumu Aquatestu, a.s., se ukázalo, že hydrogeologické podmínky v posuzované oblasti jsou prostorově extrémně variabilní.

Stav a dostupnost podzemních vod byly zjišťovány hydrologickými metodami, tj. modelováním základního odtoku jako složky celkové hydrologické bilance (v části 3.4), analýzou základního odtoku standardními postupy (v části 3.2.5) a zejména rozsáhlým terénním průzkumem včetně hydrometrických měření v podrobné sestavě profilů (v částech 3.3.2 a 3.3.3).

Rámcové posouzení režimu podzemních vod

Povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem lze z geologického a hydrogeologického hlediska rozčlenit na dvě části. Horní část povodí leží v krystaliniku, význam podzemních vod je zde podstatně menší než v druhé, větší části, která patří do hydrogeologického rajonu 5131 rakovnická pánev. Rakovnická pánev je tektonicky predisponovaná struktura se zlomovými systémy ve směrech SSV–JJZ, SZ–JV, ZSZ–VJV, tvořená limnickými sedimenty permokarbonsu, charakteristická cyklickým střídáním slepenců, pískovců, jílovců, prachovců a uhelných slojí.

Svrchnokarbonské horniny vytvářejí komplikovaný pánevní systém většího počtu nepravidelně se střídajících průlino-puklinových kolektorů a izolátorů. Jejich vzájemné rozložení je vzhledem k cyklickému sedimentárnímu vývoji svrchního karbonu chaotické; zvláště aleuropelity a jílovce vytvářejí nepravidelná čočkovitá tělesa. Jednotlivé kolektory jsou v různé míře vzájemně hydraulicky propojeny systémem puklin a četných poruchových pásem. Hladina podzemní vody je jak volná, tak mírně napjatá.

Komplikovanost režimu je dokumentována výsledky karotážních měření na vrtech v jímacím území Rakovnického potoka, kde bylo zjištěno přetékání podzemní vody mezi kolektory.

Hydrodynamické zkoušky u deseti vrtů v této oblasti ukázaly rozptyl hodnot filtračního součinitele až o čtyři řády, přičemž podstatně větší velikosti se vyskytly především v blízkosti tektonické poruchy. Lze oprávněně předpokládat, že obdobný vliv tektoniky na proudění podzemní vody se vyskytuje v celé rozloze pánve.

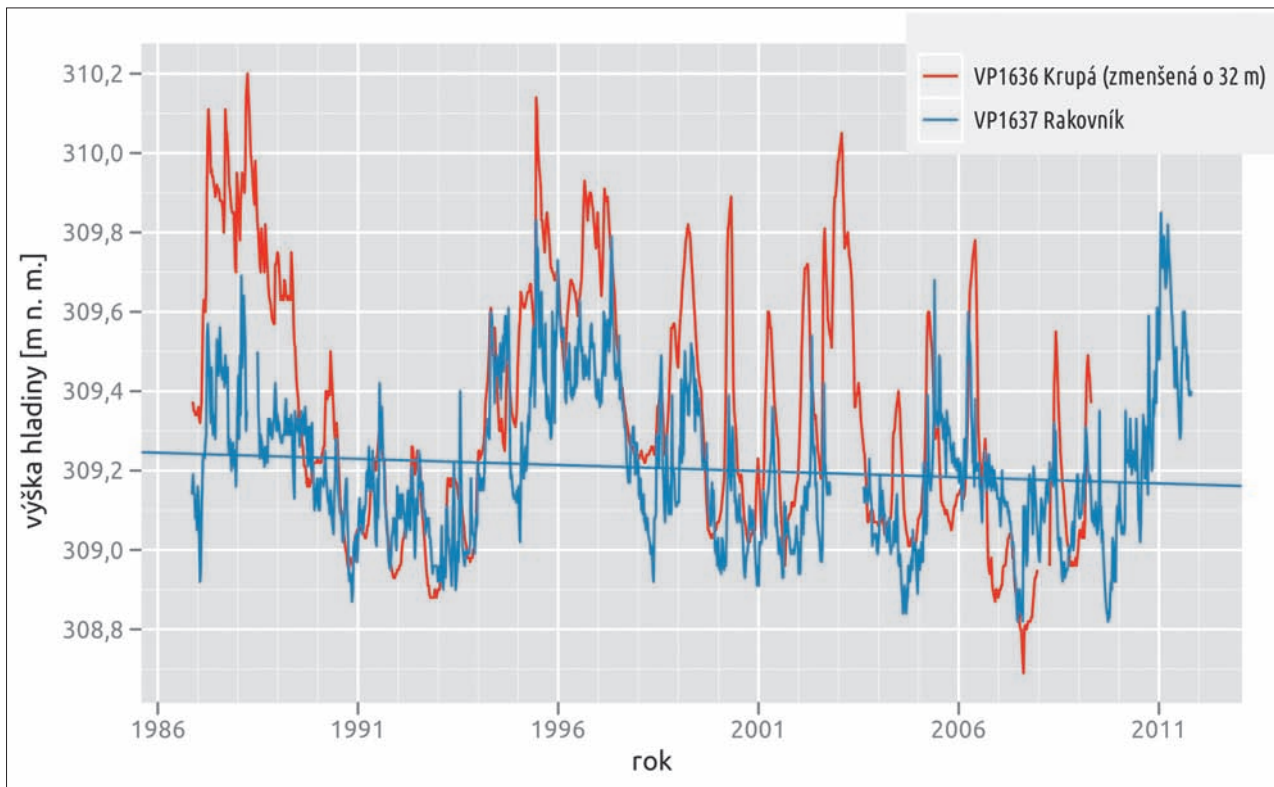
Z karotážních měření dále vyplynulo, že nelze rozlišit dílčí kolektory vázané na jednotlivé propustnější vrstvy, ale že se jedná o komplikovaný relativně jednotný kolektor, kde dochází k přetokům, a to jak z nadloží do podloží, tak opačně, s ohledem na výskyt a funkci tektonických poruch (Kozubek, 2006).

Důležitou okolností je v geologické stavbě jižní ohraničení pánve jižně od Rakovníka hrástí z hornin proteorozoika (z fylitů), probíhající ve směru SV–JZ. Tato hrást' za přirozeného stavu přispívala k vyrovnávání hladiny podzemní vody v přílehlé akumulační části pánve také vyvolanou regulací drenáže podzemní vody do Rakovnického potoka a z části i jejím přetokem relativně otevřenými puklinami v pásmu povrchového narušení horniny.

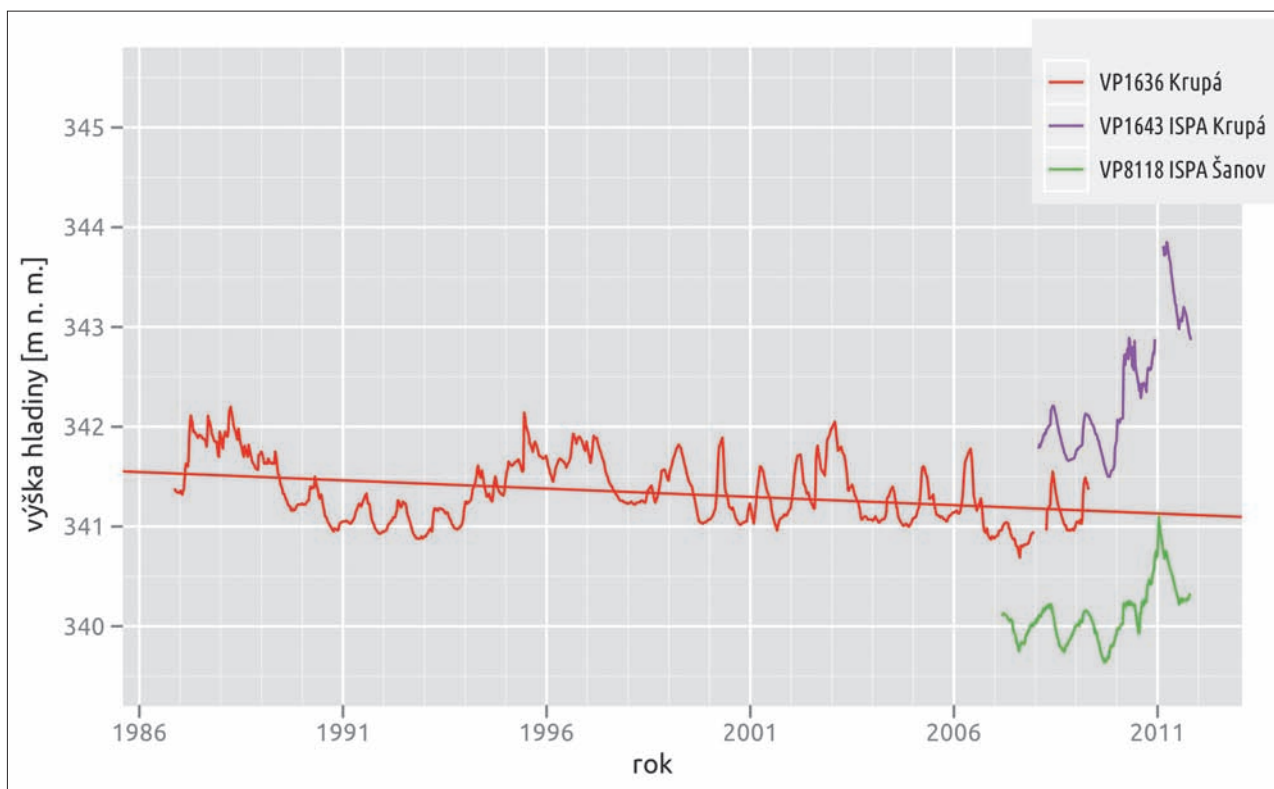
Na *obr. 58* jsou časové průběhy hladin podzemní vody v pozorovacích vrtech ČHMÚ VP1636 v Krupé a VP1637 v Rakovníku. Vrt v Rakovníku je jediný, který v dlouhodobém pozorování pokračuje až do současnosti. Leží mimo rakovnickou pánev, v její těsné blízkosti – v oblasti, ze které je odvodňována. Charakter kolísání hladiny v něm je podobný kolísání dlouhodobě pozorovaného vrtu VP1636 Krupá v centru pánve, takže můžeme průběh kolísání hladiny ve vrtu Rakovník považovat za indikátor změn hladiny v celé této části rakovnické pánve. Průběh kolísání odpovídá tomu, že trend mírného poklesu hladiny podzemních vod je způsoben změnou klimatu, zmenšení vodárenských odběrů od devadesátých let se neprojevovalo.

V posledních letech byly v rámci projektu ISPA v povodí Rakovnického potoka zřízeny nové pozorovací vrty. Jejich relace k pozorování vrtu VP1632 Krupá ukazuje *obr. 59*. Pozorovací vrty ČHMÚ jsou již vybaveny zapisujícími přístroji, takže jsou k dispozici denní řady výšek hladin. Na *obr. 60* jsou pro období od března 2007 do konce října 2011 zachyceny průběhy denních výšek hladin ve vrtech VP1643 Krupá a VP8118 Šanov. Z obrázku je vidět, že kolísání hladiny v obou vrtech je podobné, v Krupé má větší amplitudu.



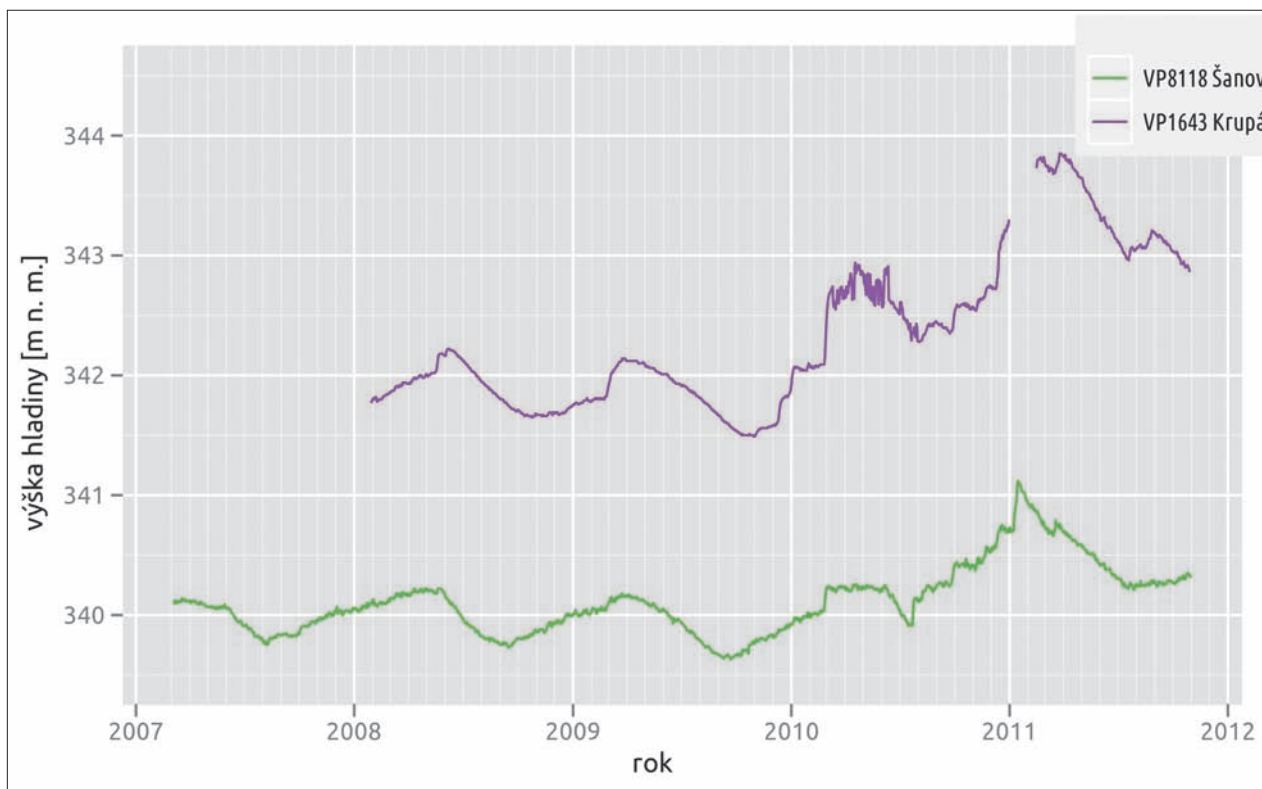


Obr. 58. Časový průběh hladiny podzemní vody ve vrtu VP1637 Rakovník za období 1986–2011 a VP1636 Krupá za období 1986–2008 (týdenní řady)



Obr. 59. Časový průběh hladiny podzemní vody v pozorovacích vrtech ČHMÚ za období 1986–2011 (VP1636 Krupá, VP1643 ISPA Krupá, VP8118 ISPA Šanov)





Obr. 60. Časový průběh hladiny podzemní vody v pozorovacích vrtech ČHMÚ za období 2007–2011 (VP1643 ISPA Krupá, VP8118 ISPA Šanov), data v denním kroku

Dlouhodobé období nevýrazného sezonního kolísání hladin s klesajícím trendem (obr. 59) bylo ukončeno dotací podzemní vody z tání v únoru 2010, po lokálním poklesu v červnu a v červenci 2010 následoval vzestup dotací z vydatných srážek (spadly od 22. července) vrcholící vlivem dotace z tání sněhu v lednu 2011.

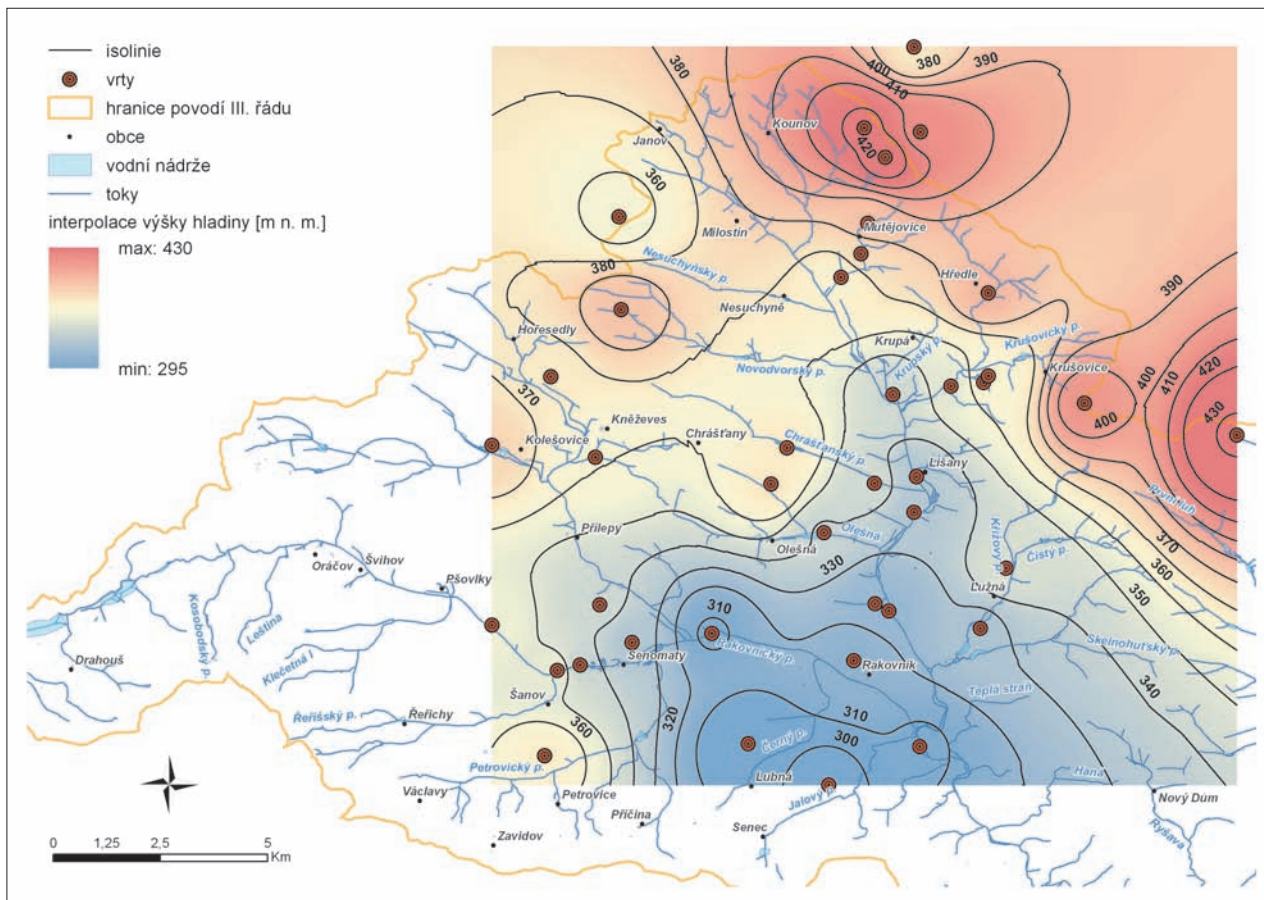
V současné době ČHMÚ pozoruje také vrt VP8119 ISPA Hředle, průběh hladiny sice jeví kolísání podobné ostatním vrtům, je v něm však soustavný vzestup hladiny i v obdobích, kdy podzemní voda nemohla být ze srážek dotována. Pro tento jev neznáme vysvětlení.

Na podrobnější poznání základních ukazatelů režimu byl zaměřen terénní průzkum výšky hladin podzemní vody. Byl rozčleněn do několika aktivit.

První aktivita byla zaměřena na současné plošné rozložení výšek hladin podzemní vody na povodí Rakovnického potoka. V červenci 2010 byla zaměřena hloubka vody v 73 studních, vesměs využívaných pro individuální zásobení vodou. Z výsledků průzkumu vyplývá, že jen ve třech případech byla hladina vody hlouběji než 15 m pod terénem, takže hladina víceméně sleduje jeho průběh. To ukazuje, že na povodí existuje i relativně mělká zvodně, z níž může být dotován odtok vody v tocích. V roce 2010 – od ledna až do 22. července – se nevyskytly srážky, které by mohly podstatně přispět ke zvětšení zásob podzemní vody.

Vzhledem k tomu, že pozorovací síť ČHMÚ pro popis plošného rozložení výšky hladiny neposkytuje dostatek informací, byly v podkladech ČGS – Geofondu vyhledány informace o dalších 32 vrtech. Tyto vrty zasahují do hloubek, resp. nadmořských výšek zvodní, ze kterých se provádějí odběry pro vodárenské zásobování Rakovníka, odběry pro pivovar Krušovice a je také čerpána voda z činných dolů. Seznam zaměřených vrtů je v tabulce 22. Zaměření výšky hladin ve 32 hlubších vrtech proběhlo s výjimkou několika vrtů v období listopad až prosinec 2010, kdy byly hladiny o cca 20 cm výše než v červenci (posuzováno podle pozorování vrtů ČHMÚ Šanov a Rakovník, viz obr. 60 a 58).

Izohydrohypsy odvozené ze zaměřených výšek hladin jsou na obr. 61. Mapa ukazuje závislost hloubky hladiny pod terénem na nadmořské výšce situace vrtu. Větší odlehlosti od terénu jsou v infiltračních oblastech, v oblastech transportu jsou relativně vyrovnané.



Obr. 61. Izolinie výšky hladiny podzemní vody podle měření v hlubokých vrtech

Na mapce izohydrohyps je jasné patrná deprese vyvolaná jímáním v jímácím území Rakovník a její dosah. O místní propojenosti zvodní svědčí i zaměřené ztráty průtoků na Lišanském a Kolečovickém potoce na okraji dosahu deprese (viz část 3.3.3).

Specifická je jímací oblast u Rakovníka. V ní je zřejmě oddělen nepropustnými polohami jílovců svrchní mělký kolektor podzemní vody od hlubokých, ve kterých probíhá vlastní jímání. V areálu společnosti ATESO byly dokonce zjištěny dvě jílovcové vrstvy, mající charakter poloizolátoru vůči infiltraci srážek. Vytváří se tak zavěšená zvedeň, která však nemá z bilančního hlediska podzemních vod ani povrchového odtoku prakticky význam. Nelze však vyloučit existenci podobných jílovcových čoček ani v jiných lokalitách.

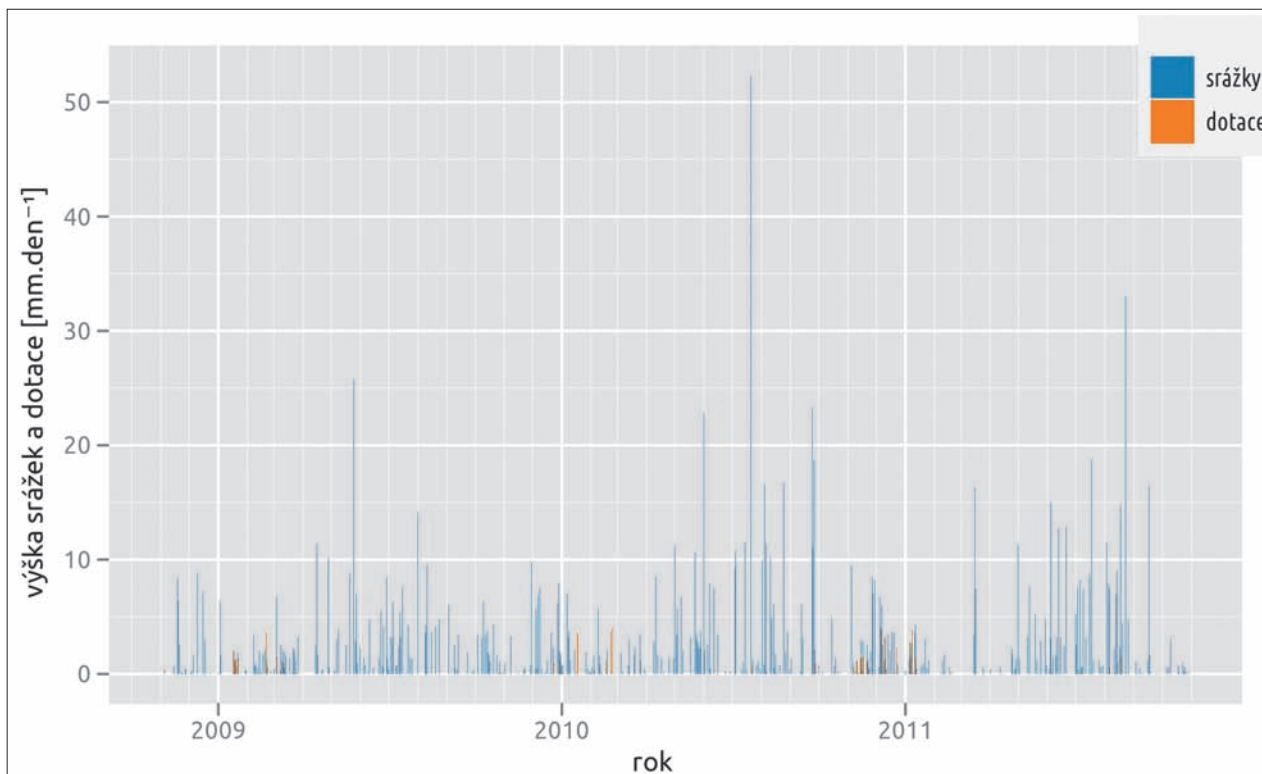
Zajímavý je údaj v práci (Štembera, 1839) o tom, že v severní části města Rakovníka byla v těchto letech v domovních studních voda velmi špatné jakosti, zřejmě ovlivňovaná povrchovými stoky, zatímco v jižní části byla velmi kvalitní – „hlubinného“ původu. Ukazuje to na oprávněnost předpokladu o souvislé vrstvě jílovců v severní části (z hlediska Rakovníka) poříční nivy Rakovnického potoka a naopak o propojení hlubokých zvodní s povrchovou v jižní části, patrně za neidentifikovanou tektonickou linií, kdy za přirozených podmínek měly hluboké zvodně prakticky stejnou úroveň hladiny jako svrchní zvedeň. Archivní sdělení je i podpůrnou okolností k závěru, že vrt VP1637 je ukazatelem regionálních charakteristik pánve.

Oddělení hlubších zvodní způsobuje, že vodárenský odběr neovlivňuje průtoky Rakovnického potoka přímo ve vlastní jímací oblasti, vytváří však poměrně rozsáhlou oblast deprese. Odběry z dolů firmy RAKO-LUPKY, s.r.o., deprese ještě prohlubují, neboť jsou ve stínu vodárenských odběrů.

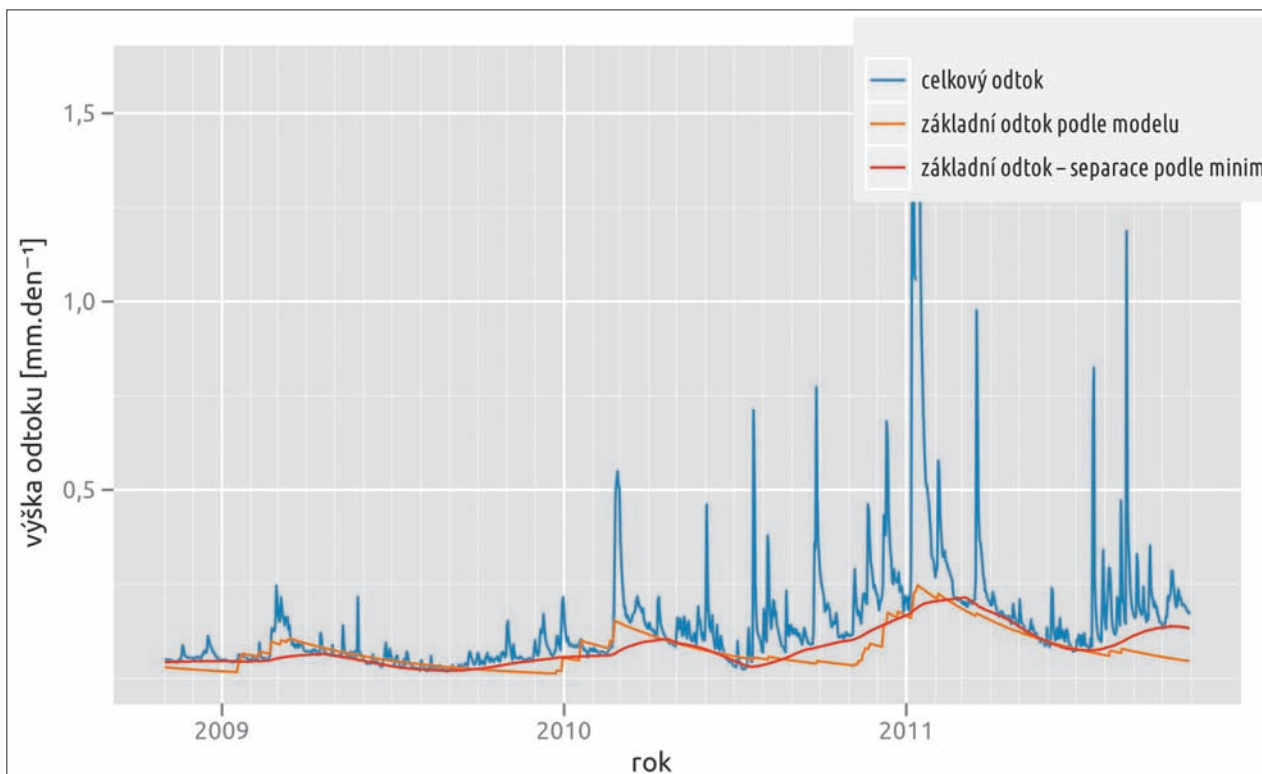
Druhá aktivita byla věnována modelování podzemního odtoku a dotace podzemní vody modelem BILAN pomocí jeho verze, která pracuje v denním kroku výpočtu. Uvedeme výsledky pro období hydrologických let 2009–2011. Rok 2009 byl celý v období, kdy mírně podprůměrné srážky spolu s nadprůměrnou teplotou vzduchu neumožňovaly

významnou dotaci podzemních vod (obr. 62). V období od konce července 2010 se vyskytly nadprůměrné srážky, půda se nasýtila vodou, takže při tání sněhové zásoby v lednu 2011 došlo k dotaci podzemní vody v podstatné míře.

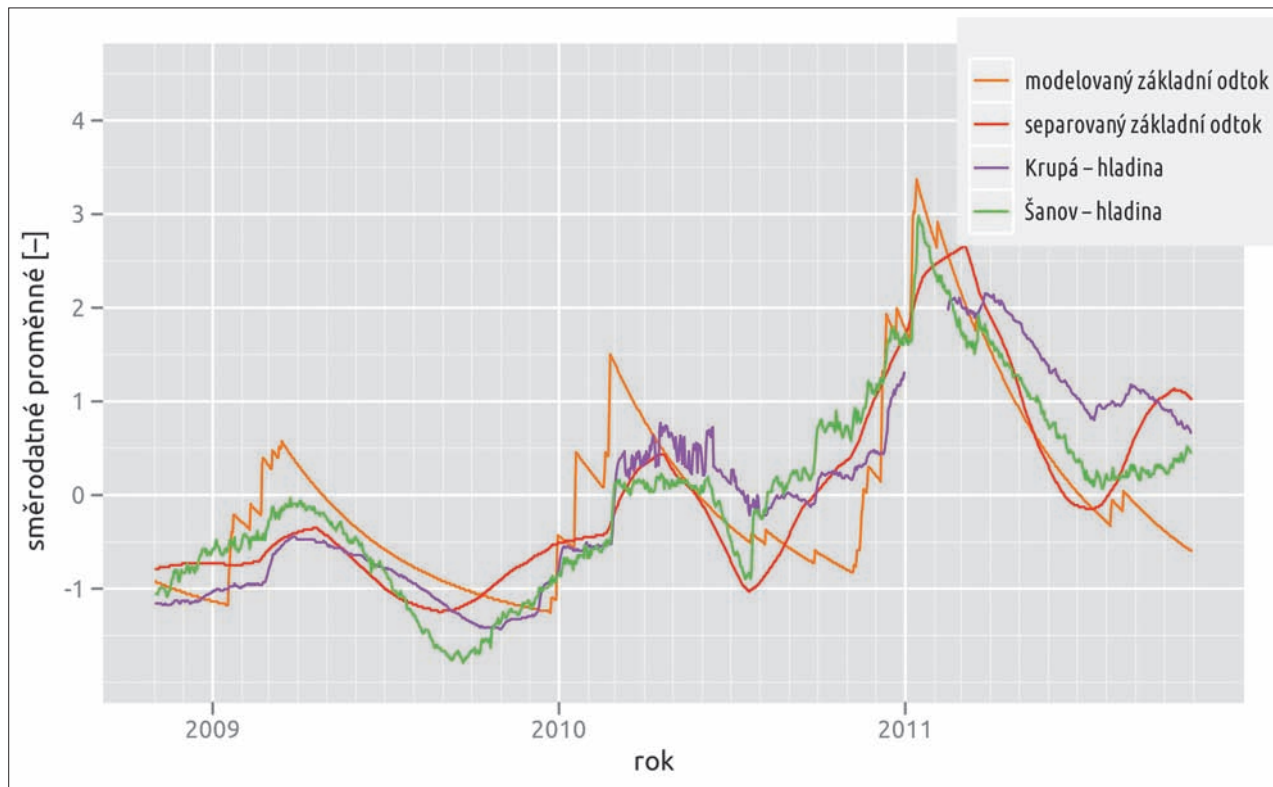
Obrázek 63 ukazuje, že od poloviny hydrologického roku podstatně vzrůstal základní odtok, modelovaný podle srážek a teplot vzduchu pomocí modelu BILAN. Jeho průběh je podobný průběhu základního odtoku odhadnutého metodou separace podle klouzavých minim.



Obr. 62. Časový průběh denních výšek srážek a denních výšek dotace podzemní vody na povodí Rakovnického potoka v období hydrologických let 2009–2011



Obr. 63. Časový průběh celkového a základního odtoku z povodí Rakovnického potoka v období hydrologických let 2009–2011



Obr. 64. Časový průběh denních výšek základního odtoku z povodí Rakovnického potoka a hladin podzemní vody ve dvou vrtech v období hydrologických let 2009–2011, veličiny jsou transformovány na směrodatné proměnné

Pro posouzení, do jaké míry průběh základního odtoku odpovídá průběhu výšky hladiny podzemní vody, jsme použili transformaci porovnávaných veličin na směrodatné proměnné podle vzorce: směrodatná proměnná = (hodnota proměnné – průměr) / směrodatná odchylka.

Pro porovnání jsme využili hladiny z vrtů VP1643 Krupá a VP8118 Šanov, ve formě denních řad. Obrázek 64 svědčí o tom, že časové průběhy obou alternativ odhadu základního odtoku velmi dobře odpovídají změnám hladin podzemní vody. Modelovaný základní odtok je úměrný zásobě podzemní vody. Z toho vyplývá, že model je schopen s přijatelnou přesností vystihnout změny zásob podzemní vody v povodí.



Tabulka 22. Seznam zaměřených vrtů

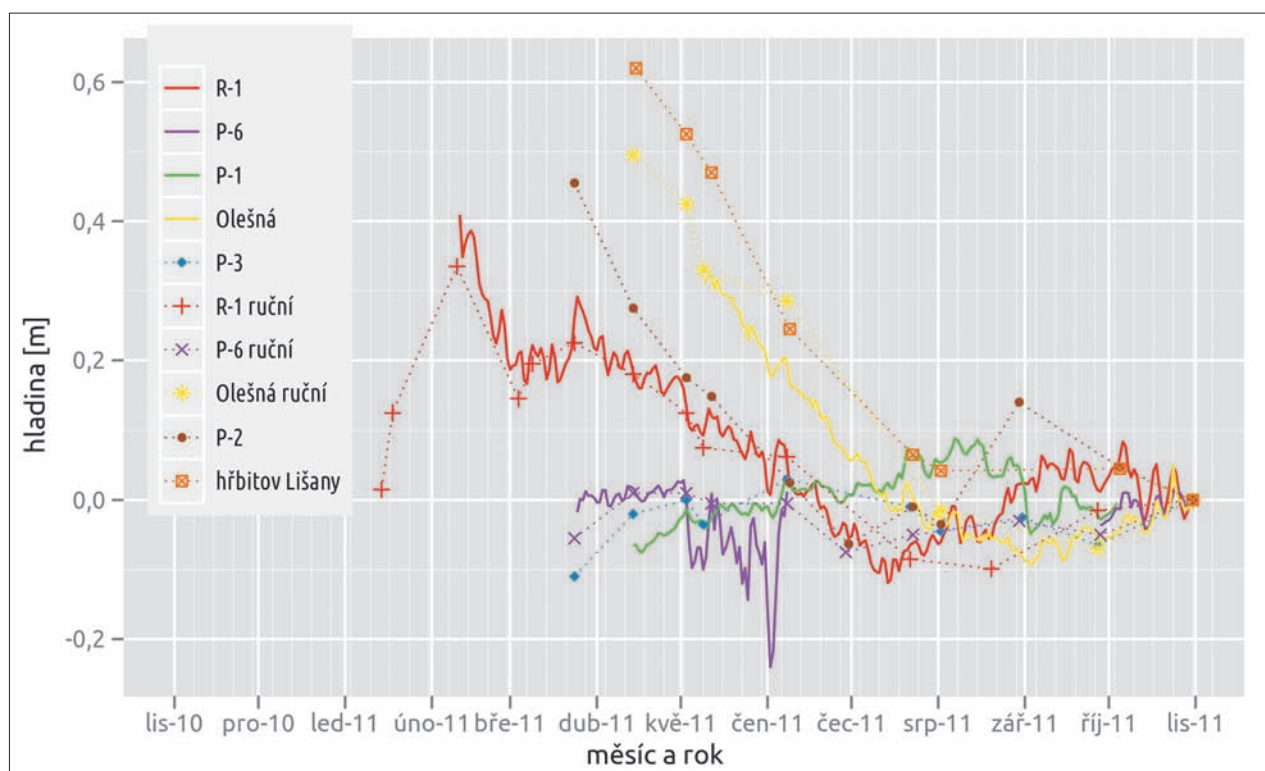
Lokalita	Označení	Popis objektu	Hladina [m] od pažnice	Pažnice [m] nad terénem	Hloubka vrtu [m]	Souřadnice X	Souřadnice Y	Terén m n. m.	Hladina m n. m.	Datum 2010	Poznámka
Svojetín	Sv-1	vrt	55,6	0,6	212	1023626	797117	413,00	358	10.11.	
Rozkoš	HV-1	vrt vodní zdroj	19,85	0,55	50	1025790	797069	404,00	384,7	4.11.	čerpání
Kolesovice	K-1 (27)	vrt vodní zdroj	4,61	0,65	66,5	1028958	800084	371,00	376	10.11.	
Kněžves	HV-3	vrt	10,19	0,48	79	1027358	798707	378,00	368,3	10.11.	
Kněžves	K-1	vrt	1,42	0,4	100	1029242	797668	361,00	360	10.11.	
Mutějovice u stanice		nádraží	30,3	0,4	32,5	1021550	791391	451,36	421,46		
Mutějovice	HV-4		15,54	0,35	52	1023781	791306	400,40	385,21	12.11.	
Mutějovice	M-2	vrt	-0,4		100	1025042	791938	363,00	363	12.11.	přetok 0,2 l.s ⁻¹
Mutějovice	HV-3	vrt	4,9	0,3	80	1024490	791472	378,00	373,5	12.11.	
Senomaty	HV-1	vrt zemědělský podnik	19,62	0,85	70	1033552	796815	349,00	330,23	2.11.	
Senomaty – Rakovník	vrt	starý vodárenský vrt	18,23	1,7		1033338	794952	326,00	309,47	2.11.	
Rakovník pivovar	pivovar	2 vrtů	6	0	80	1033972	791637	322,00	316	4.11.	
Lužná	důl	jáma	29,3	1	90	1033217	788688	357,00	328,7	4.11.	
Lužná	H-2	vrt vodní zdroj	5,35	0,6	108	1031813	788087	351,70	346,95	14.12.	
Řevničov	H-1-ŘV	vrt	22,5	0,5	212	1028724	782700	452,47	430,47	14.12.	
Petrovice	H-4-PR	vrt	10,07	0,1	189,2	1036191	798854	375,80	365,83	14.12.	
Nouzov	H-3-NV	vrt	24,94	0,7	79,08	1032665	797567	366,52	342,28	14.12.	
Šanov	V-12	vrt	4,42	0,33	80	1033143	800078	360,00	355,91	14.12.	
Šanov	P-1	vrt pozorovací	1,72	0,55	60	1034202	798556	355,00	353,83	14.12.	
Na Borech hájovna	P-1	vrt	3,41	0,53	80	1029017	793197	371,00	368,12	14.12.	
Chrástany	CH-2	vrt vodní zdroj	9,32	-1,75	80	1029851	793570	380,00	368,93	14.12.	
Olešná	P-3	vrt pozorovací	3,13	0,98	80	1030984	792332	342,00	339,85	14.12.	
Lišany	P-6	vrt pozorovací	5,28	0,72	80	1029835	791159	348,00	343,44	14.12.	
Lišany	P-2	vrt pozorovací	1,86	0,94	80	1029675	790175	333,00	332,08	14.12.	
Na Sušici	R-7	vrt	-0,6	0	150 (151)	1030509	790237	330,00	330,60	14.12.	přetok 0,35 l.s ⁻¹
Na Kokrdech	R-2	vrt	9,39	0,94	100,8	1032643	791144	329,00	320,55	14.12.	
Na Kokrdech	R-1	vrt	4,19	0,75	62,3	1032812	790822	324,00	320,56	14.12.	
Louštín	LO-1	vrt	88,2	0,5	131	1027976	786250	493,00	405,30	14.12.	
Krušovice	L-1A	vrt	2,79	0,85	37	1027580	789371	352,00	350,06	21.12.	
Krušovice	HK-3	vrt	3,77	1	62,6	1027494	788609	365,00	362,23	21.12.	
Krušovice	K-1	vrt	1,72	0,8	20	1027344	788497	364,00	363,08	21.12.	
Šanov	1H080b	vrt pozorovací			60	1034077	798027	342,82	340	15.6.	sít ČHMÚ
Hředle	1H082c	vrt pozorovací			57,3	1025404	788494	390,18	388,7	15.6.	sít ČHMÚ
Rakovník	VP1637	vrt pozorovací			11,9	1035983	790101	311,14	309,27	15.6.	sít ČHMÚ
Krupá	VP1636N	vrt pozorovací			30,4	1027771	790726	343,18	342,62	15.6.	sít ČHMÚ
Domoušice	DO1	vrt vodní zdroj			85	1019663	790237	370,00	370		v době vrtání
Lhota	František	důl			90	1021641	790079	451,00	408		cca 2003
Mutějovice	Hv-1	vrt vodní zdroj			80	1022234	790899		425		v době vrtání
Rakovník	RAK01	důl				1036878	792228		295		čerpaná šachta
Rakovník	RAK02	důl				1035914	794107		301		čerpaná šachta

Vrty v okolí objektů R-1 a K-1 jsou v obrázcích rozděleny na skupiny „sever“ a „jih“, popisné údaje vrtů R-1 a K-1 jsou uvedeny v obou tabulkách.

V tabulce 31 je uvedeno devět objektů, ze kterých pozorování neuvádíme. Důvody pro jejich vyřazení jsou v tabulce uvedeny ve sloupci „poznámka“.

Výsledky pozorování pramenů včetně přetoku z vrtů jsou uvedeny na obr. 73, popisné údaje a výsledky pozorování obsahuje tabulka 30, která je uspořádána obdobně jako u objektů pozorujících výšky hladiny. Vydutnosti jsou uváděny v [l.s⁻¹], vodivost vody v [μS.cm⁻²].

Rozmístění pozorovacích objektů je na mapě na obr. 65.

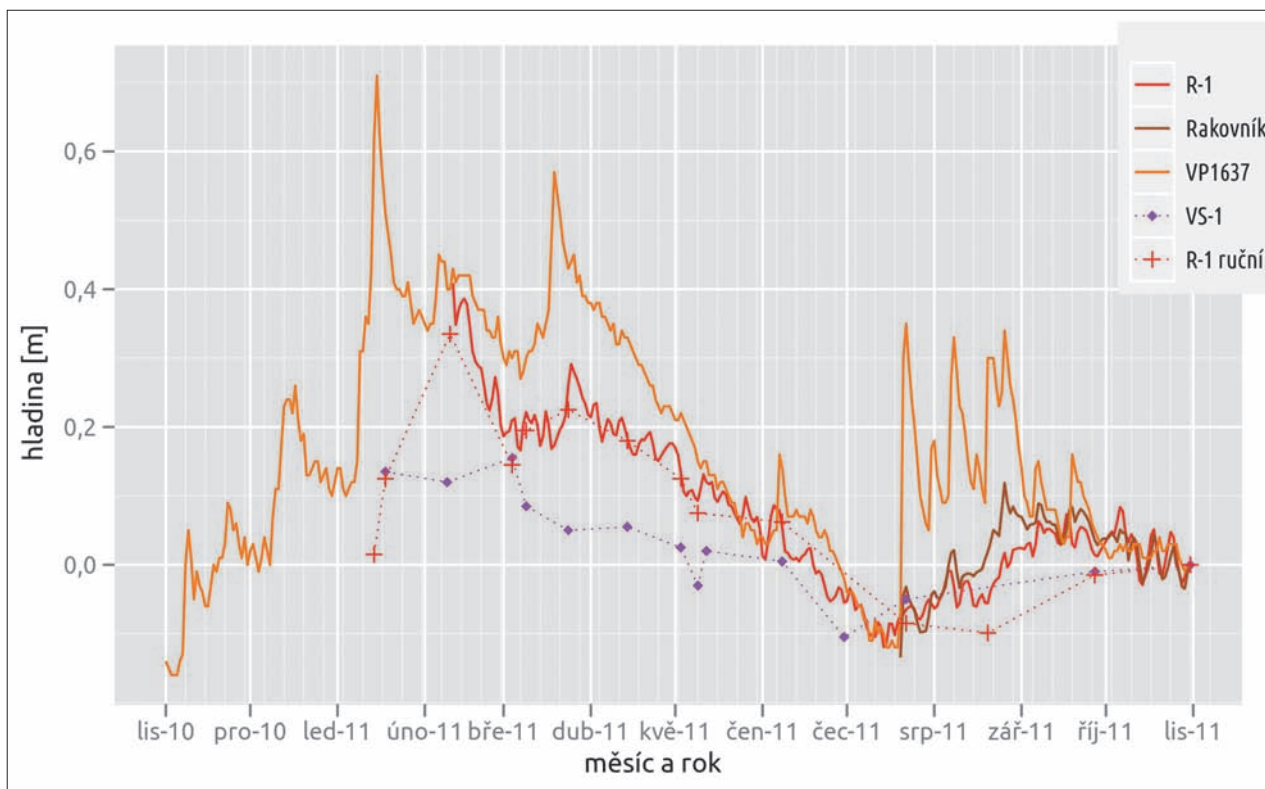


Obr. 66. Skupina objektů v okolí vrtu R-1, severní část

Tabulka 23. Skupina objektů v okolí vrtu R-1, severní část

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
R-1 vrt Lišanský p., žel. most	212164 0	323,47 62,3	320,77 0,52	30–59 14–62	P+R 1	
P-6 vrt Ovčín, Lišany	213534 3 020	348,5 80	344,3 0,26	28,5–76,4	P+R 2	souč. hloubka 32,5 m
P-1 vrt hájovna Bory	213531 4 480	372 80	368,94 0,16	27–76,5	P+R 1	souč. hloubka 70,5 m
Olešná vrt bývalý vodní zdroj nad rybníkem, u statku	není 2 830	353 29,6	349,71 0,56		P+R 1	ve zděném objektu
P-3 vrt Olešná, pod rybníkem	213533 2 350	342 80	340,34 0,14	43,95–77,65	P 2	souč. hloubka 48,3 m 46,95–58,85 bez perforace
P-2 vrt Lišany, u potoka, u hřiště	213532 3 160	334,4 80	332,21 0,52	30,65–53,16	P 1	
hřbitov L studna Lišany hřbitov	není 3 080	345 8,7	339,79 0,62		P 1	

Průběh podobný jako hladina ve vrtu R-1 mají objekty Olešná (u statku), vrt P-2 v Lišanech a studna hřbitov Lišany. Ve zbývajících objektech P-6 (Ovčín, Lišany), P-1 (hájovna Bory) a P-3 (Olešná, pod rybníkem) bylo zaznamenáno velmi malé kolísání hladiny. Vliv hloubky vrtu ani polohy na rozčlenění není patrný.

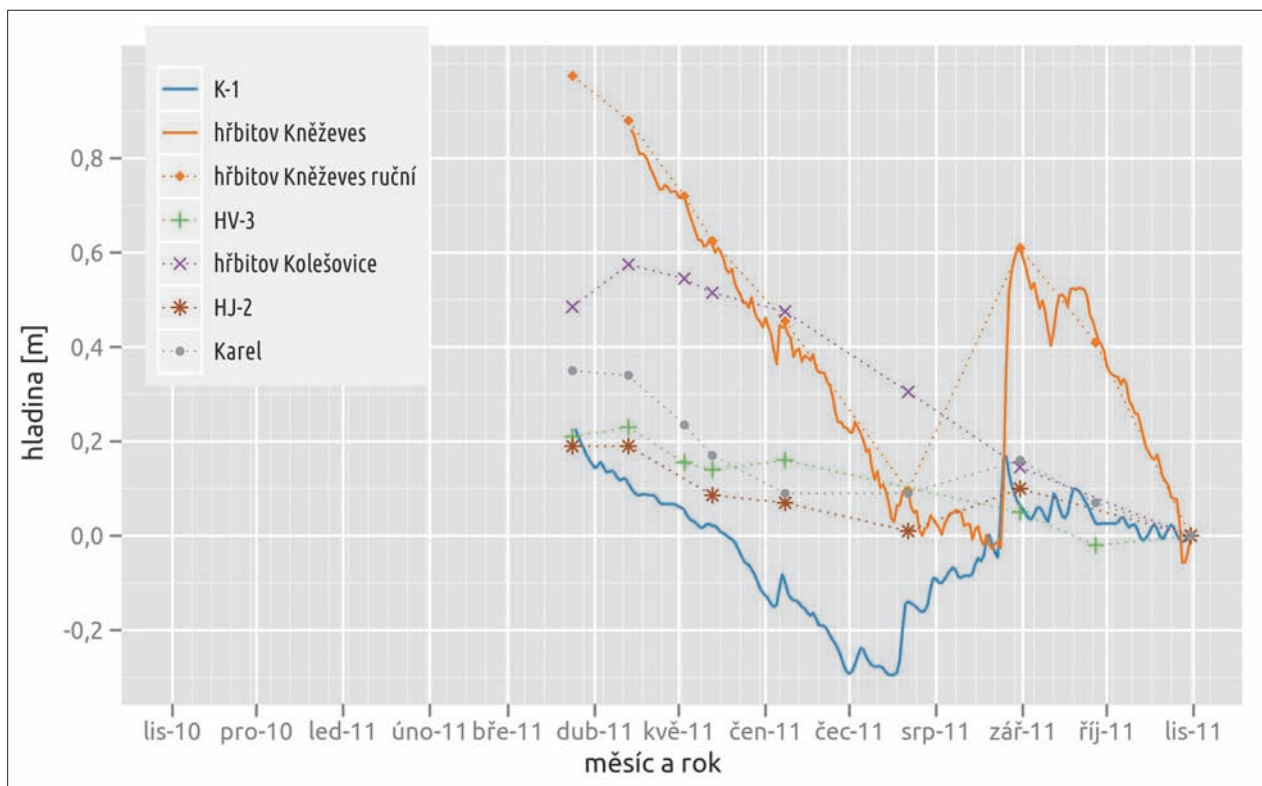


Obr. 67. Skupina objektů v okolí vrtu R-1, jižní část

Tabulka 24. Skupina objektů v okolí vrtu R-1, jižní část

Označení a typ	Geofond	Nadm. výška	Průměr	Perforace	Pozorování	Poznámka
Lokalita	Vzdálenost	Hloubka	Amplituda	Obsyp	Tech. stav	
R-1 vrt	212164	323,47	320,77	30–59	P+R	
Lišanský p., žel. most	0	62,3	0,52	14–62	1	
Rakovník vrt	není	319	315,64		P+R	
Soutok Černého a Rakov. potoka	2 060	12,2	0,39		2	
VP1637 vrt	211953	311,14	308,69			vrt ČHMÚ
Rakovník u vodoměrné stanice		11	0,87			
VS-1 vrt	212393	320,625	320,66	14,24–72,5	P	souč. hloubka 19 m
Lišanský p. u šamotky	1 190	72,5	0,26	4–72,5	3	

V jižní části oblasti kolem vrtu R-1 je průběh hladin podobný, pouze amplituda ve vrtu VS-1 je menší. Na průběhu hladiny ve vrtu VP1637, který je v nivě Rakovnického potoka mimo Rakovnickou pánev, je vidět, že kromě základní složky kolísání reaguje citlivě i na krátkodobé podněty (zvětšení průtoků Rakovnického potoka vlivem intenzivních srážek).

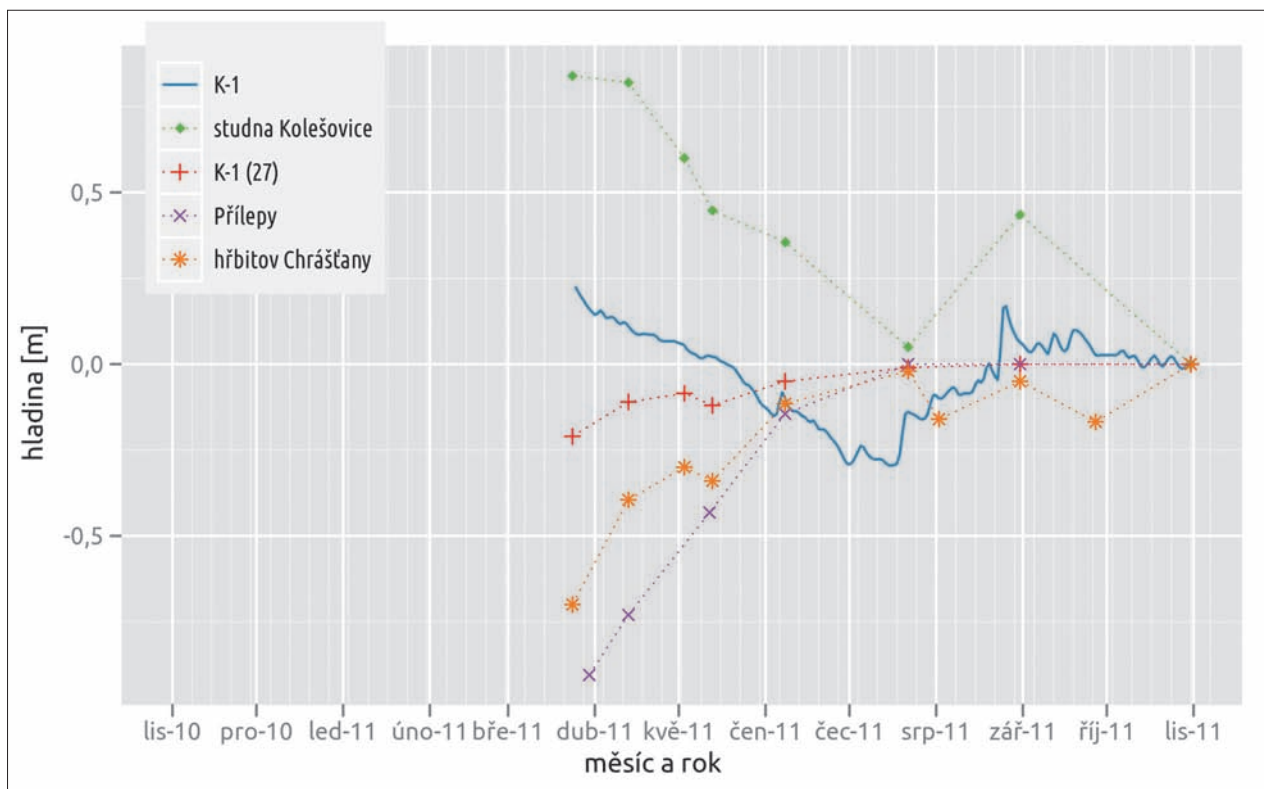


Obr. 68. Skupina objektů v okolí vrtu K-1, severní část

Tabulka 25. Skupina objektů v okolí vrtu K-1, severní část

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
K-1 vrt	214589	361,2	360,17	36,2–96,5	P+R	
Kněževs, u zast. Přílepy	0	100	0,36	11–100	1	
hřbitov Kn studna	není	372,93	367,09		P+R	do studny pravděpodobně proniká voda při inten. srážkách
Kněževs hřbitov	1 430	14,67	0,97		2	
HV-3 vrt	214783	380,04	370,71	8,77–79	P	souč. hloubka 11 m
Kněževs za hřbitovem	2 130	79,9	0,25	3,0–79,9	3	otevřený, ve vrtu předmět
hřbitov Ko studna	není	387	379,31		P	
Kolečovice hřbitov	2 240	22,1	0,57		1	
HJ-2 vrt	214697	363,95	364,4		P	souč. hloubka 6,2 m
Kněževs za humny	840	34	0,19	15–34	3	při hl. 364,5 přetok
Karel jáma	214654	366,77	364,66		P	
Kněževs prům. areál	1 010	25	0,35		1	

V severní části oblasti kolem vrtu K-1 má podobný průběh hladiny jako v tomto vrtu zejména hladina ve studni na hřbitově v Kněževsi, v srpnu se zde však projevil rychlý vzestup vybočující z ostatních průběhů. Ve zbývajících objektech hladina měla klesající tendenci, v absolutní hodnotě více ve studni na hřbitově v Kolečovicích než v jámě Karel a ve vrtech HJ-2 a HJ-3 (všechny objekty jsou v katastru Kněževsi).

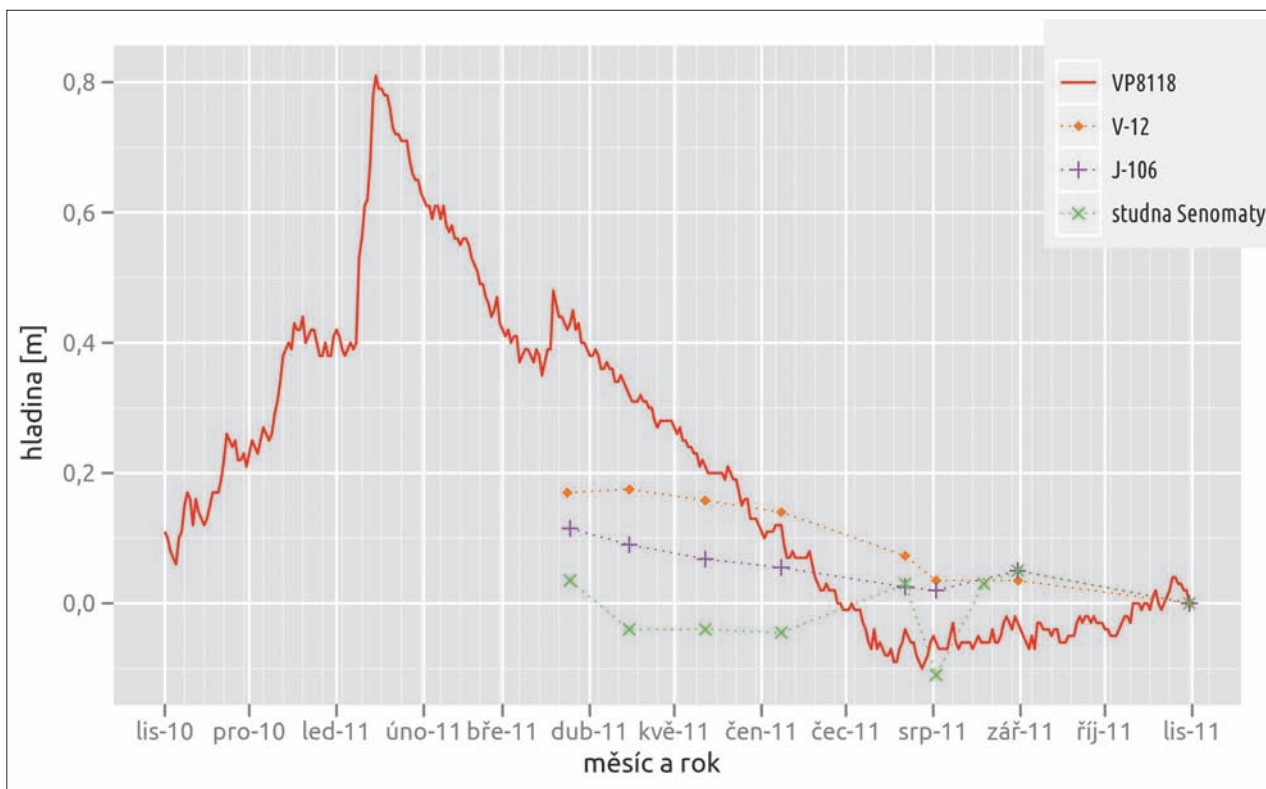


Obr. 69. Skupina objektů v okolí vrtu K-1, jižní část

Tabulka 26. Skupina objektů v okolí vrtu K-1, jižní část

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
K-1 vrt Kněžves, u zast. Přílepy	214589 0	361,2 100	360,17 0,36	36,2–96,5 11–100	P+R 1	
studna Ko Kolečovice studna obecní	není 1 780	380,162 20,8	369,42 0,84		P 1	
K-1 (27) vrt Kolečovice, nad rybníkem	214809 2 490	367,479 66,5	363,83 0,21	52,55–65,5 50–66	P 3	souč. hloubka 51,5 m otevřený, ve vrtu čerpadlo
Přílepy vrt Přílepy, k Olešné, v lomu	není 1 870	396 16,3	387,76 0,9		P 3	otevřený
hřbitov Chr studna Chrášťany hřbitov	není 2 700	398 15	390,91 0,7		P 1	

V jižní části oblasti kolem vrtu K-1 má podobný průběh hladiny jako v tomto vrtu pouze hladina v obecní studni v Kolečovicích. V ostatních objektech K-1(27) v Kolečovicích, nejvíce ve vrtu v Přílepech i ve studni na hřbitově v Chrášťanech, hladina až do srpna stoupala, pak již měla setrvalý stav.

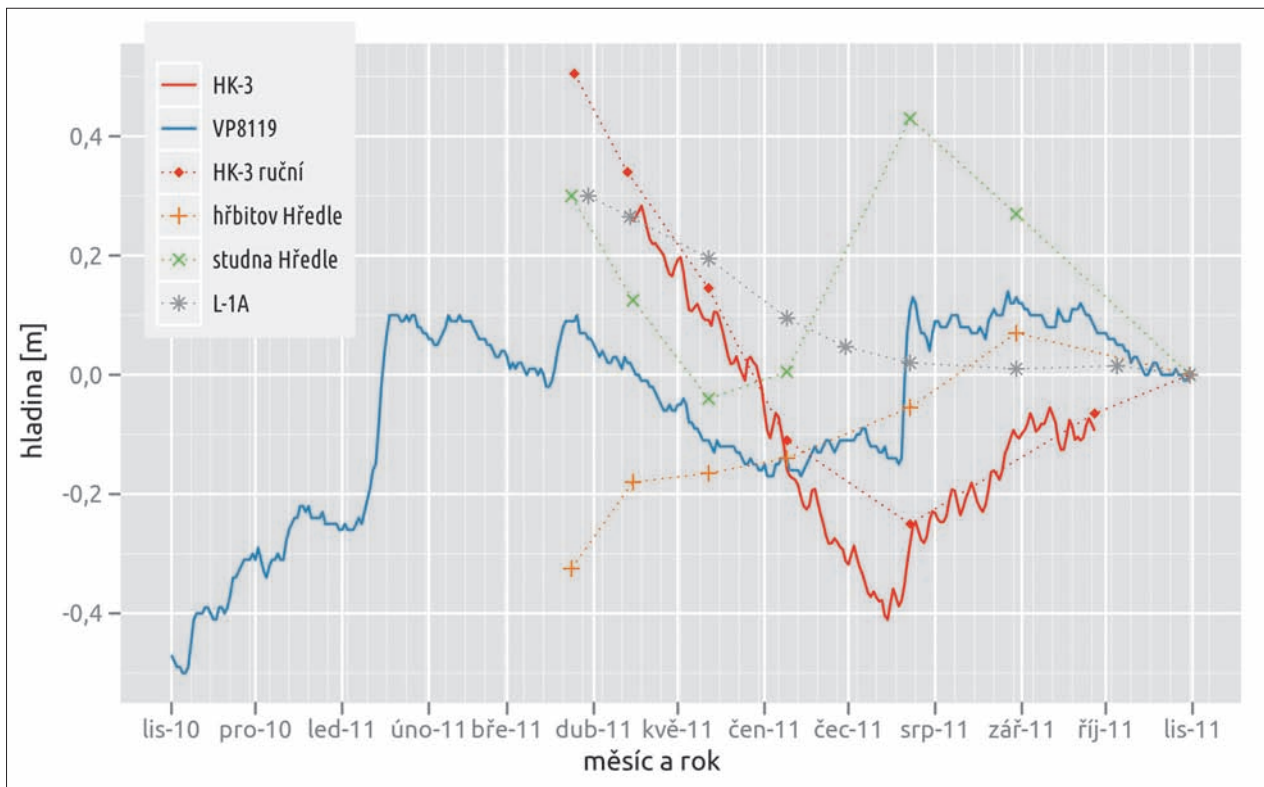


Obr. 70. Skupina objektů v okolí vrtu VP8118 Šanov

Tabulka 27. Skupina objektů v okolí vrtu VP8118 Šanov

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
VP 8118 vrt Šanov	686651 0	342,89 60	340,52 0,91	30–60 27–60	R 1	vrt ČHMÚ
V-12 vrt Pšovlky, Vínice	214069 2 150	352 80	348,01 0,17	25–76,6	1	souč. hloubka 76 m
J-106 vrt Šanov u dráhy	213965 870	349,31 20	347,14 0,11		P 1	
studna Se Senomaty obecní u potoka	není 1 080	335,99 4,7	334,96 0,16		P 1	

Ve skupině objektů v okolí vrtu byly pozorovány tři objekty, jejich hladiny kolísaly jen ve velmi malém rozmezí, vrtu V12 (Pšovlky) a J-106 (Šanov) s mírným poklesem.

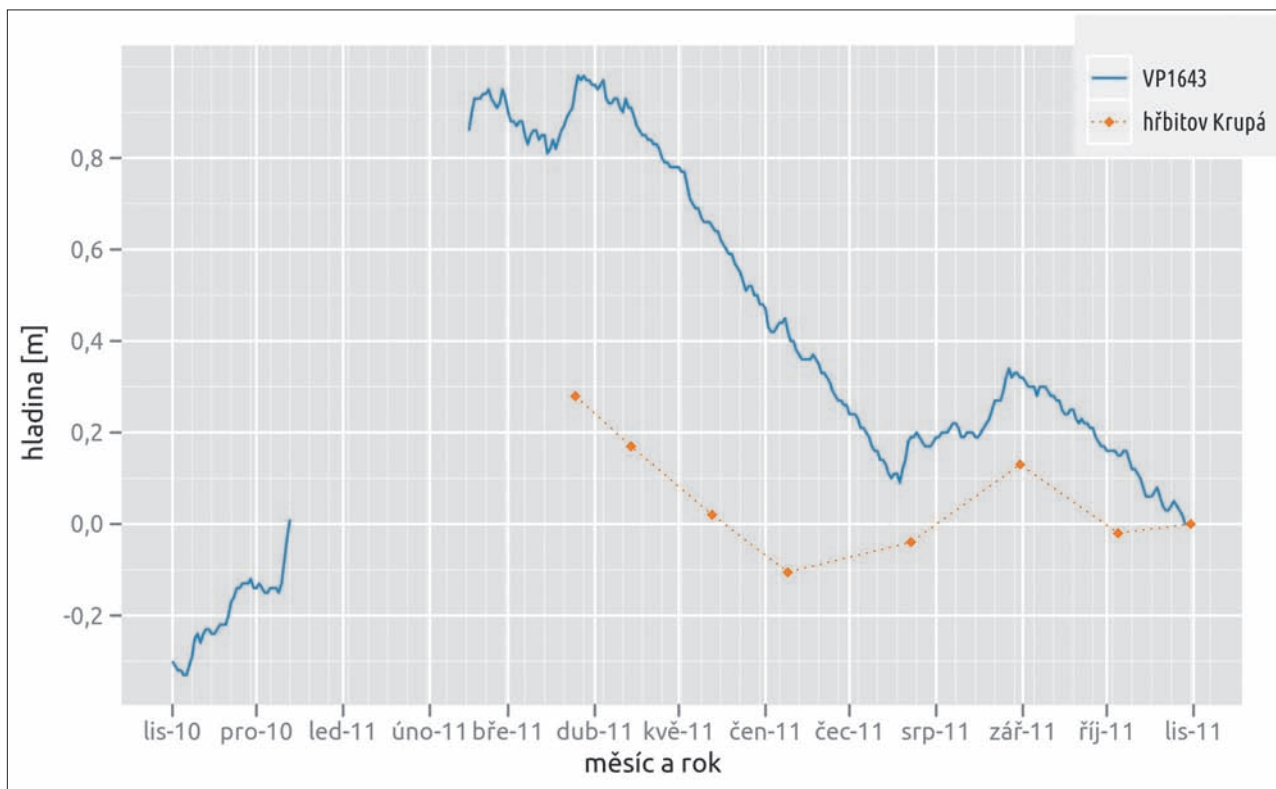


Obr. 71. Skupina objektů v okolí vrtu HK-3 Krušovice

Tabulka 28. Skupina objektů v okolí vrtu HK-3 Krušovice

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
HK-3 vrt Krušovice, bažantnice	0	363 62,6	360,53 0,69	14–60 8,0–62	P+R 1	
VP 8119 vrt Hředle	566194 1 940	390,18 87,3	389,15 0,64	30–55,3 29–57,3	R	vrt ČHMÚ
hřbitov Hř Hředle hřbitov	689395 2 000	412,01 29	385,26 0,39		P 1	
studna Hř Hředle obecní studna	není 2 220	400 8,5	397,31 0,47		P 1	
L-1A vrt Rabasův mlýn	není 860	352,08 37	350,57 0,3		P 1	souč. hloubka 31,8 m

Průběhy hladin v této skupině nevykazují téměř žádnou podobnost. Pouze pokles ve vrtu HK-3 a vrtu L-1A do konce července je obdobný. Hladina ve studni na hřbitově v Hředlích naopak ve shodě s hladinou ve vrtu VP8119 Hředle stoupala. Hladina v obecní studni v Hředlích kolísala nepravidelně.



Obr. 72. Skupina objektů v okolí vrtu VP1643 Krupá

Tabulka 29. Skupina objektů v okolí vrtu VP1643 Krupá

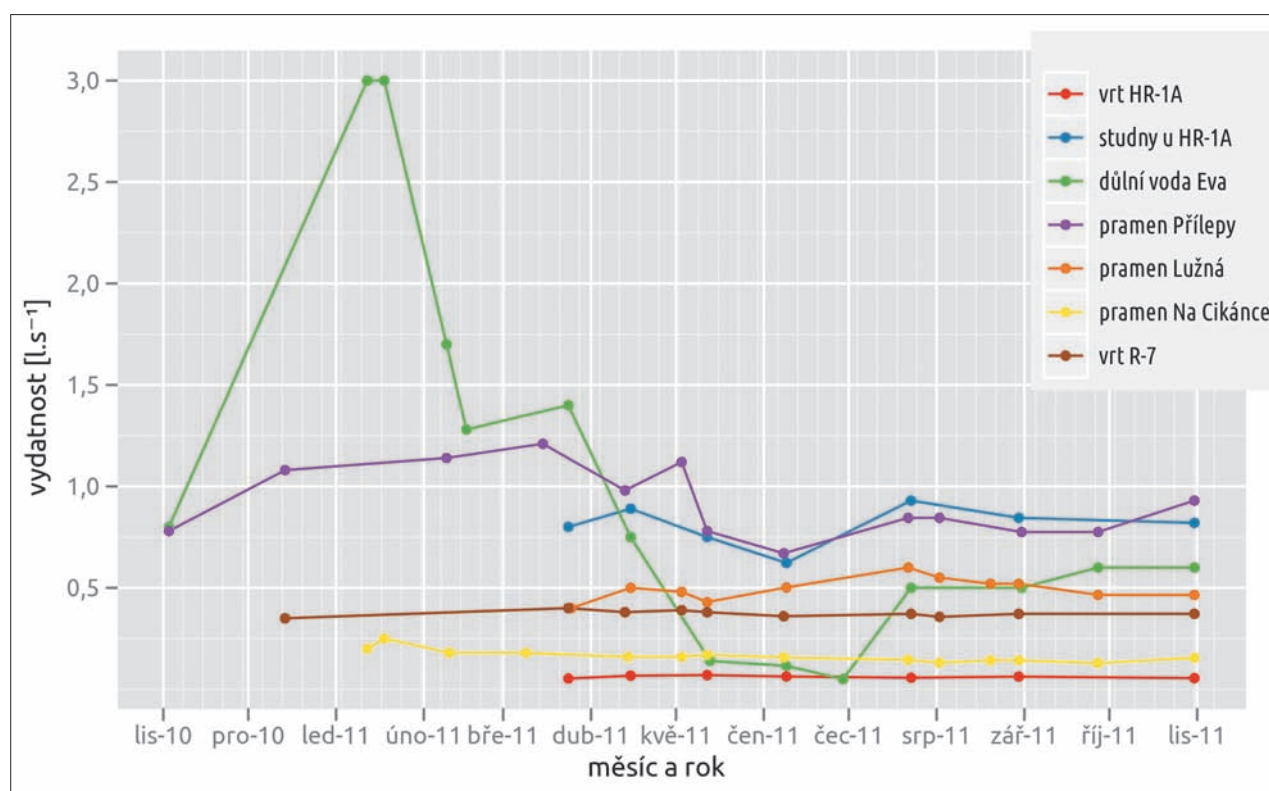
Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
VP 1643 vrt Krupá	695534 0	343,18 30,4	343,24 1,13		R 1	vrt ČHMÚ
hřbitov Kr Krupá hřbitov	686855 420	350,29 8,15	360,77 0,75		P 1	

Průběhy hladin v objektech v Krupě jsou si podobné.

Pozorování pramenů vedlo k závěru, že kromě pramenu v Přílepech a účelově zřízeného měření výtoku ze starých důlních děl (Eva, Kounov) se vydatnosti téměř neměnily – obr. 73.

Tabulka 30. Výsledky pozorování pramenů (vydatnosti $l.s^{-1}$, vodivost $\mu S.cm^{-2}$)

Označení a typ	Geofond	Nadmořská výška	Vydatnost průměr	Vydatnost max	Pozorování	Poznámka
Lokalita	Popis		Vodivost	min	Tech. stav	
HR-1A vrt	213547	377	0,061	0,070	P	
Hředle	přetok vrtu		984	0,05	2	odtok z čerpací stanice
Studny u HR-1A		377	0,82	0,93	P	
Hředle	přetok studní		980	0,62	2	přetok ze dvou velkých studní
Eva důlní voda	není	404	0,60	3,0	P	
Kounov	vývěr důlní vody		844	0,05	3	v srpnu měrný přeliv poškozen povodní
Přílepy pramen	není	351	0,93	1,21	P	
Přílepy, u mlýna	odtok z mokřadu		372	0,67	1	
Lužná pramen	není	345	0,46	0,60	P	
Lužná u rybníčka			700	0,40	1	
Na Cikánce pramen	689412	323	0,15	0,25	P	
Na Cikánce			360	0,129	1	
R-7 vrt	213536	330,35	0,37	0,40	P	
Lišany Na Sušici	přetok vrtu		312	0,35	1	hloubka 150 m, perforace od 43 m



Obr. 73. Výsledky pozorování pramenů

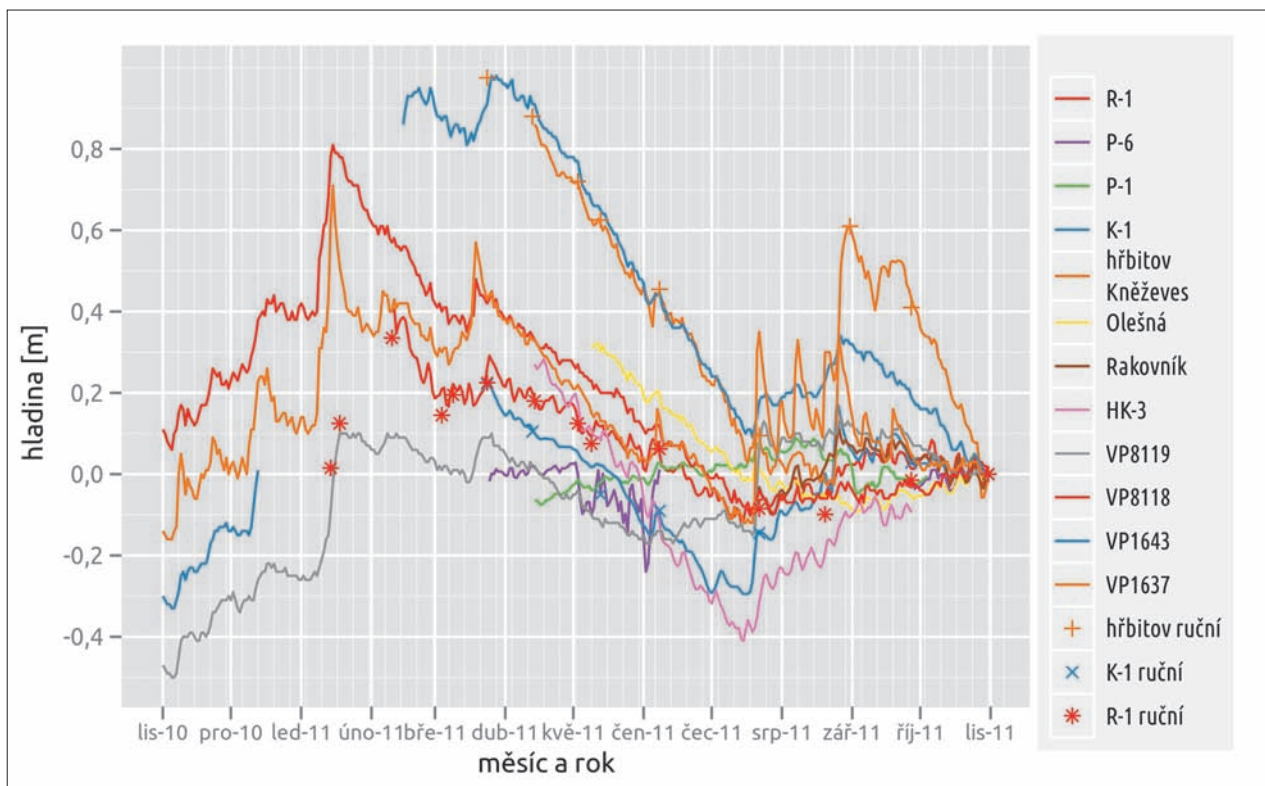
Tabulka 31. Vrtly vyřazené ze zpracování

Označení a typ Lokalita	Geofond Vzdálenost	Nadm. výška Hloubka	Průměr Amplituda	Perforace Obsyp	Pozorování Tech. stav	Poznámka
R-2 vrt Rakovník, Na Kordech	212165	328,68 100,8	320,68 0,68	31-94	P+R 1	průběh hladiny shodný s R-1
jáma Lužná Lužná areál ČGS	2749	357,9 170	329,62 1,62		R	ovlivněno čerpáním
jáma T. J. Rakovník Šamotka	není	366,92	331,82 > 2		P+R 1	ovlivněno čerpáním
HV-4 vrt Mutějovice	213648	398 52	384,33 1,96		P+R 3	do vrtu proniká povrchová voda při zaplavení pozemku
studna Ko Kounov studna u čp. 144	není	416	412,6 0,18		P 3	do studny proniká povrchová voda, možná i odpadní
LO-1 vrt Louštín	213561	497 131	400	106-131	P 1	náročný přístup
nádraží Mu studna Mutějovice nádraží	není	450,93	422,5 2,1		P 2	ovlivněno čerpáním
H-3-NV vrt Nouzov	213848	366,524 76	344,02 0,8		P+R	v červenci 2011 likvidace vrtu
RK-1 vrt Čistý potok, nad Žák. rybníkem	212212	331,93 37,6	329,49 0,35	14,85-35 2,5-37,6	P 1	vrt v algonkiu asi ovlivněn rybníkem
S-1 vrt Svojetín	214808	413 212,7	357,99 0,08	155-212,7 255-212	P 1	v hloubce 62 m neprůchodný

Souhrnné zhodnocení pozorování podzemních vod v roce 2011

Průběh hladin podzemní vody se v řadě případů podstatně odlišuje i u nepříliš vzdálených objektů. Vliv hloubky vrtu, resp. hloubky sledované zvodně na charakter kolísání je zřejmý jen u některých mělkých studní. Většina pozorování má však obdobný charakter, což ukazuje obr. 74 s průběhy přístrojově pozorovaných vrtů. Když porovnáme průměrné kolísání ve vrtech s průběhem základního odtoku vypočteného podle srážek modelem BILAN, shledáme dobrou shodu. Zajímavé také je, že výška hladiny podzemní vody reaguje na dotace ze srážek bez významného zpoždění.

Získané poznatky, shrnuté v tabulce 32, bylo a bude možné využít při návrhu rozšířeného pozorování podzemních vod, který je požadován vodoprávním orgánem při povolení zvětšených odběrů v Rakovníku (projednán odběr pro Tradiční pivovar v Rakovníku, a.s., avizováno zvětšení odběrů pro firmu Procter and Gamble).



Obr. 74. Průběh hladin v přístrojově pozorovaných vrtech

Tabulka 32. Shrnutí pozorování hladiny podzemní vody a pramenů

Průběh	Lokalita	Hloubka [m]	Popis	Pozorování	Doporučení
průběh odpovídající základnímu odtoku	R-1 vrt	62,3	stejně s R-2, velmi podobné VS-1	pozoruje nadále VÚV, hladinoměr	R
	VS-1 vrt	72,5	podobné R-1, menší odezva, ucpaný, ale funkční	ukončuje se, hladinoměr a pozorovatel	N
	Olešná vrt bývalý v. zdroj	29,6	nejsou technické a geologické údaje	pozoruje nadále VÚV, hladinoměr	R
	Rakovník vrt	12,2	nejsou technické a geologické údaje	ukončuje se, hladinoměr	M
	VP 1637 vrt	11		pozoruje ČHMÚ	R
	P-6 vrt	80	vrt ucpaný, při vyšší hladině malá reakce	ukončuje se, hladinoměr	N
	hřbitov L studna	8,7		ukončuje se, pozorovatel	M
	P-2 vrt	80		ukončuje se, pozorovatel	M
	K-1 vrt	100		pozoruje nadále VÚV, hladinoměr	R
	hřbitov Kn studna	14,67	při intenzivní srážce asi vniká povrchová voda	ukončuje se, hladinoměr	N
	studna Ko	20,8		ukončeno, pozorovatel	M
	VP 8118 vrt	60		pozoruje ČHMÚ	R
	VP 8119 vrt	87,3	dlouhodobě mírně stoupá	pozoruje ČHMÚ	R
	studna Hř	8,5		ukončuje se, pozorovatel	M
	HK-3 vrt	62,6	nedaleko jímání pro pivovar Krušovice	ukončeno, hladinoměr	R
	VP 1643 vrt	30,4		pozoruje ČHMÚ	R
	hřbitov Kr	8,15	podobné VP1643	ukončeno, pozorovatel	N
průběh odpovídající základnímu odtoku, méně citlivé	HJ-2 vrt	34	podobné Karel, špatný stav, ucpaný	ukončeno, pozorovatel	N
	Karel – jáma	25		ukončeno, pozorovatel	N
	studna Se	4,7		ukončeno, pozorovatel	N
	P-3 vrt	80		ukončeno, pozorovatel	N
průběh jiný	P-1 vrt	80	malá změna hladiny, malá reakce	ukončeno, hladinoměr	N
	K-1 (27) vrt	66,5	stoupá, podobné jako Přílepy a hřbitov Chr	pozoruje nadále VÚV, pozorovatel	M
	Přílepy vrt	16,3	stoupá, nejsou technické a geologické údaje	ukončeno, pozorovatel	N
	hřbitov Chr studna	15	stoupá	ukončeno, pozorovatel	N
	hřbitov Ko studna	22,1	klesá	ukončeno, pozorovatel	N
	HV-3 vrt	79,9	mírně klesá, vrt ucpaný	ukončeno, pozorovatel	N
	J-106 vrt	20	mírně klesá, nejsou technické údaje, podobné V-12	ukončeno, pozorovatel	N
	V-12 vrt	80	mírně klesá	pozoruje nadále VÚV, pozorovatel	M
	hřbitov Hř	29	stoupá, možná ovlivněno vodovodem	ukončeno, pozorovatel	N
	L-1A vrt	37	klesá	ukončuje se, pozorovatel	M
S-1 vrt	212,7	stabilní, potřeba ověřit průchodnost	ukončuje se, pozorovatel	M	
		Vydatnost [l.s⁻¹]			
prameny	HR-1A vrt	0,055	stabilní, velmi malý, neznámý tech. stav a odběr	ukončeno, pozorovatel	N
	studny u HR-1A	0,82	zjistit, zda není čerpáno	ukončuje se, pozorovatel	M
	Eva důlní voda	0,6	přeliv poškozen povodní	ukončuje se, pozorovatel	M
	Přílepy pramen	0,93		pozoruje nadále VÚV, pozorovatel	M
	Lužná pramen	0,465	zjistit, zda není čerpáno, může to být přetok studny	ukončeno, pozorovatel	M
	Na Cikánce pramen	0,155		pozoruje nadále VÚV, pozorovatel	M
	R-7 vrt	0,372		pozoruje nadále VÚV, pozorovatel	M

Vysvětlivky: zeleně označeny objekty pozorované ČHMÚ, modře VÚV TGM, v.v.i. (v době ukončení úkolu)

Doporučení: R – pozorovat přístrojově, N – nepoužít, M – možno použít

Doly v povodí Rakovnického potoka a jejich vliv na odtokové poměry

RAKO-LUPKY, s.r.o. (činný důl)

Důl RAKO byl otevřen v roce 1919 na místě bývalých starých uhelných a lupkových dolů. Jeho jáma dosáhla hloubky 94 m, přítok vody do jámy byl v té době $1000 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ($16,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

K dolu RAKO byl připojen důl 1. máj, který byl otevřen v roce 1952. V roce 1966 byla vyhloubena nová 160 m hluboká jáma RAKO II, a to v prostoru dnešního keramického podniku RAKO III. V minulosti důl těžil uhlí a lupky, v současné době jsou těženy jen lupky.

V nejbližším okolí dolu RAKO jsou zaniklé uhelné a lupkové doly, z významnějších to byly důl Marta I a Marta II (hloubka šachet 36 m a 68 m, v provozu 1882–1962), důl Filip I a Filip II (hloubka šachet 28 m a 35 m, v provozu 1926–1958) a důl Ervín. Také zde probíhala selská těžba uhlí v malých hloubkách.

Stařiny těchto a dalších zaniklých dolů v oblasti mezi Lubnou a Rakovníkem mohou být odvodňovány do dolu RAKO. V roce 1962 nastal průval vody ze stařin dolu Ervín v Lubné. Na dole Walter (větrná jáma dolu RAKO) se vyskytl průval z otevřené pukliny. V minulosti byla přiváděna voda poruchou pravděpodobně ze stařin dolu Marta (Horčíčka, 2000).

Mapka na obr. 75 ukazuje polohu činných a zaniklých důlních děl. Důl RAKO částečně odvodňuje oblast od areálu dolu RAKO po Lubnou, spadající do povodí Jalového a Černého potoka. Bývalé doly pokračovaly jihozápadním směrem až k Petrovicím.

V obci Příčina, tj. jihozápadně od Lubné, je hladina podzemní vody mělko pod povrchem, a nebyla již tedy ovlivněna (stav v roce 1992, Holeček, 1992).



Obr. 75. Doly RAKO a další jižně od Rakovníka

Severovýchodně od jámy RAKO II byly v roce 1967 zřízeny dva 60metrové pozorovací vrty pro sledování případného vlivu čerpání důlních vod na vodárenské jímací území u Rakovnického potoka, nyní jsou oba nefunkční. Po vyvrtní byla ve vrtech hladina 24 m a 37 m pod terémem (Kamberský, 1967).



V současné době je důlní voda čerpána na třech jámách dolu RAKO: V jámě RAKO je čerpáno průměrně $9,5 \text{ l.s}^{-1}$, čerpaná voda odtéká do Jalového potoka, který ústí do Rakovnického potoka na dolním konci města pod čistírnou odpadních vod, nad vodoměrnou stanicí ČHMÚ. V jámě 1. máj je čerpáno v přepočtu $1,27 \text{ l.s}^{-1}$ (čerpání ale není celoroční), voda odtéká do Černého potoka, který ústí do Rakovnického potoka nad městem. V jámě RAKO II je čerpáno průměrně $3,17 \text{ l.s}^{-1}$. Nadbytečná voda, která není potřeba pro provoz, je vypouštěna do povodí Černého potoka. Část vody je použita v provozu keramické továrny. Odpadní voda je po čištění v biologické čistírně vypouštěna do povodí Černého potoka.

Čerpané množství vody není v porovnání s minimálními průtoky v Rakovníku bezvýznamné. Existuje možnost čerpat vyšší podíl důlní vody jámou 1. máj do Černého potoka a v době sucha tak mírně zvětšit průtok Rakovnického potoka ve městě. Voda údajně ale v povodí Černého potoka při malých průtocích vsakuje, v tom případě by takové opatření bylo neúčinné.

Doly u obcí Kounov, Mutějovice a Hředle

Historie

Historická těžba uhlí probíhala nejpozději od 18. století, a to nejprve jen na výchozech uhelné sloje a v malých hloubkách – byla sice málo nákladná, ale také neefektivní. Bylo hloubeno mnoho mělkých šachet a úpadních štol, ze kterých byla surovina nízkými štolami dobývána do malé vzdálenosti. Po vyrubání nejbližšího okolí díla nebo jeho zatopení bylo dílo opuštěno a založeno další. V devatenáctém století začaly těžit uhlí větší podniky a byly zakládány těžbařské společnosti.

Počátkem dvacátého století je těžba stále intenzivnější, vrcholu dosahuje po první světové válce. Po vyčerpání snadno dobytelných mělce položených ložisek a zhoršení odbytu za hospodářské krize je těžba omezována, doly jsou uzavírány. K oživení dochází za druhé světové války, některé doly jsou znovu otevřeny. V padesátých letech jsou snahy o další těžbu uhlí, v oblasti probíhá průzkum (1953–1959), je otevřen nový důl Eva (1956), ale pro problémy s velkým přítokem vody těžba většího rozsahu nezačne.

V padesátých letech zůstaly otevřeny tři doly: důl Perun II–III na úbočí kopce Džbán, na druhé straně kopce důl František u Lhoty pod Džbánem a Richard ve Hředlích. Uhlí je dobýváno z větších hloubek, těžba je mechanizována, těženo je z širokých dobývacích prostor. Je vyražen úpadní překop a chodba z dolu Perun III. do dolu Richard (Horčíčka, 2000).

V šedesátých letech těžba končí. Nejprve je pro velké přítoky důlních vod ze stařin a nadloží uzavřen důl František (1960), po dorubání ekonomicky dosažitelných zásob je uzavřen důl Perun III (1965) a také z ekonomických důvodů končí provoz dolu Richard (1966).

Kromě uhlí byly na Kounovsku těženy jíly pro keramickou výrobu, těžilo se v oblasti Pískového vrchu (1931–1948) a u kostelíku severně od Kounova (v poválečném období). Těžilo se štolami, tato díla nedosahovala větších hloubek a byla mělko (48 m) uložena pod plošinou Pískového vrchu a prostoru Na rovinách, nad předpokládanou maximální hladinou podzemní vody. Ústí bývalých štol těchto dolů jsou suchá. Důsledky této těžby – poklesy terénu a pukliny nadloží (výrazná je na jižním okraji plošiny Pískového vrchu) napomáhají vsakování srážkové vody.

Je možné, že těžba jílu probíhala i pod vrchem Džbán v nadloží uhelné sloje, poloha některých zaniklých dolů tomu nasvědčuje. Povrchově je na vrchu Džbán dobýván kvalitní spongilit.

Hydrogeologické podmínky

Zájmová oblast, která je s ohledem na povrchové a podzemní vody ovlivněná důlní činností, je tvořena jižní straní a úpatím vrchu Džbán a Na rovinách, v nadmořské výšce 400 až 525 m n. m. Plocha dolování ovlivněné oblasti je přibližně 10 km^2 . Geologický profil ukazuje, že vrstvy jsou ukloněné k severu a jsou značně tektonicky porušené.

Část plošiny Džbánu je tvořena opukami (spodní turon) o mocnosti 8–25 m, infiltrační oblast odpovídá jejich rozloze. Tyto opuky jsou odděleny 2–6 m mocným souvrstvím jílovců od cenomanských lavicovitých pískovců s kaolinickým



tmelem, jejichž mocnost je od 5 do 20 m. Tyto pískovce mají vodu puklinovou a průlinovou, obohacovány jsou na výchozech v úzkém pruhu. Přebytky vody odtékají drobnými prameny na severních svazích.

Z permokarbonských hornin se střídají arkóзовé pískovce s nepropustnými jílovci. Nejvíce zvodnělé jsou středně a hrubozrnné pískovce uložené blíže povrchu. U hlouběji položených vrstev je možné obohacení povrchovou vodou jen na výchozech.

V těsném nadloží sloje jsou jílovce o mocnosti do 10 m, které oddělují sloj od vodonosných pískovců.

Poruchy v okolí sloje jsou utěsněny nadložními i podložními jílovci, snižují propustnost horizontálním směrem a dochází za nimi k vzduť hladiny podzemní vody. Z tohoto důvodu mají jednotlivé kry do jisté míry vlastní režimy podzemní vody. Zajilované poruchy byly nalezeny v přilehlých dolech.

V podloží sloje je 0,25–4 m mocná poloha šedých silně bobtnajících jíílů, která odděluje jejich zvodnění od zvodnělých ledeckých arkóz pod slojí.

Vrstvy jsou skloněné k severu, uhelná sloj je na jižním úpatí kopce Džbán uložena mělko, výchoz se dá předpokládat přibližně s krajem poddolovaného území.

Oblast je postižena četnými tektonickými poruchami, významná porucha ve směru sever–jih byla prokázána v šachtě Melich, v oblasti křížení silnice Kounov–Lhota s železnicí.

Důlní a podzemní vody

Problémy s přítoky podzemní vody a později důlní vody byly po celou dobu těžby. Stará Kantova štola byla zastavena pro velké přítoky vody, voda ze stařin této štoly pak omezovala těžbu na novějším dole Adolf. Přítoky vody ze stařin a nadloží byly hlavním důvodem ukončení těžby na dole František.

Starší doly východně od nádraží, Anna a Josef, byly odvodňovány dědičnou štolou, která ústila v rokli pod nádražím. Kromě odvodňovací štoly byla většina štol ražena po úklonu vrstev a sloje, takže díla neodvodňovaly, naopak po nich mohla téci voda hlouběji do dolu.

Přítok, resp. čerpání na jednotlivých dolech činilo: na dole Eva 8,3 l.s⁻¹, Perun 25 l.s⁻¹, Richard 16,6 l.s⁻¹ a František 20 l.s⁻¹. Celkové rozložení přítoků do dolů bylo přibližně 2/3 z nadloží a 1/3 z podloží (Baloun, 1959).

Po nejstarších dílech, tj. mělké těžbě na výchozech uhelné sloje v malých hloubkách, zůstaly na povrchu jen drobné stopy, ale v podzemí je velmi členitý systém malých vyrubaných prostor a nízkých štol, které mohou být hydraulicky propojené. Proto při výchozech sloje dochází ke vsakování přímo po sloji a odtoku přes vyrubané prostory.

V první polovině devatenáctého století se těžilo převážně chodbicováním, tj. souběžně, popř. šachovnicově vedenými širokými chodbami, mezi kterými byla hornina ponechána. Při této metodě zůstávaly velké vyrubané prostory. Tyto staré chodby mohou být založené hlušinou, zmenšené nabobtnalým podložím, zanesené naplaveným materiálem nebo zřícené, ale jsou nadále velice dobrým prostředím pro protékání vody, a to jak občasného průtoku s volnou hladinou, tak trvale zatopené. Mohou odvádět vodu do velkých vzdáleností a vzhledem k úklonnému průběhu chodeb i do různých výškových úrovní.

Od druhé poloviny devatenáctého století se těžilo v širokých porubech stěnováním se zakládkou. Po nějakém čase může dojít k pomalému poklesu nadloží na zakládku, ale i takový prostor je pro vodu propustný a na bocích porubu zůstanou otvírkové chodby. Pokud byl vyrubaný prostor zatopen dříve než poklesl strop, většinou zůstal strop stabilní a k zavalení nedošlo. Z dolů byly raženy průzkumné chodby a úpadnice často daleko od prostoru samotné těžby.

Z údajů o starších a novodobých důlních dílech lze předpokládat propojený hydraulický systém od starých dolů v okolí nádraží Mutějovice, přes novější a staré doly na severní a jižní straně kopce Džbán, až k dole Richard ve Hředlí (Richard, Perun I, II, III, Žbán, doly Anna I, II, Josef, Karolína, František).

Hydraulika tohoto rozsáhlého systému štol, úpadních štol, svislých šachet a založených či zavalených širokých porubů po těžbě starých a novějších dolů bude složitá. Mělko položená stará díla ražená po úklonu vrstev mohou



být zatopená i suchá a jsou odvodňována do novějších hlouběji položených zatopených slojí. Vzhledem k střídání propustných a nepropustných vrstev, jejich úklonu a četným poruchám nelze očekávat systém s volnou hladinou o jednotné výšce. Díla byla zatopena do různých úrovní, propojena jak úklonnými chodbami a vyrubanými prostory s volně i tlakově proudící vodou, tak přirozenými propustnými vrstvami a poruchami. Svědčí o tom různé úrovně hladin podzemní vody ve studních v blízkosti bývalých dolů.

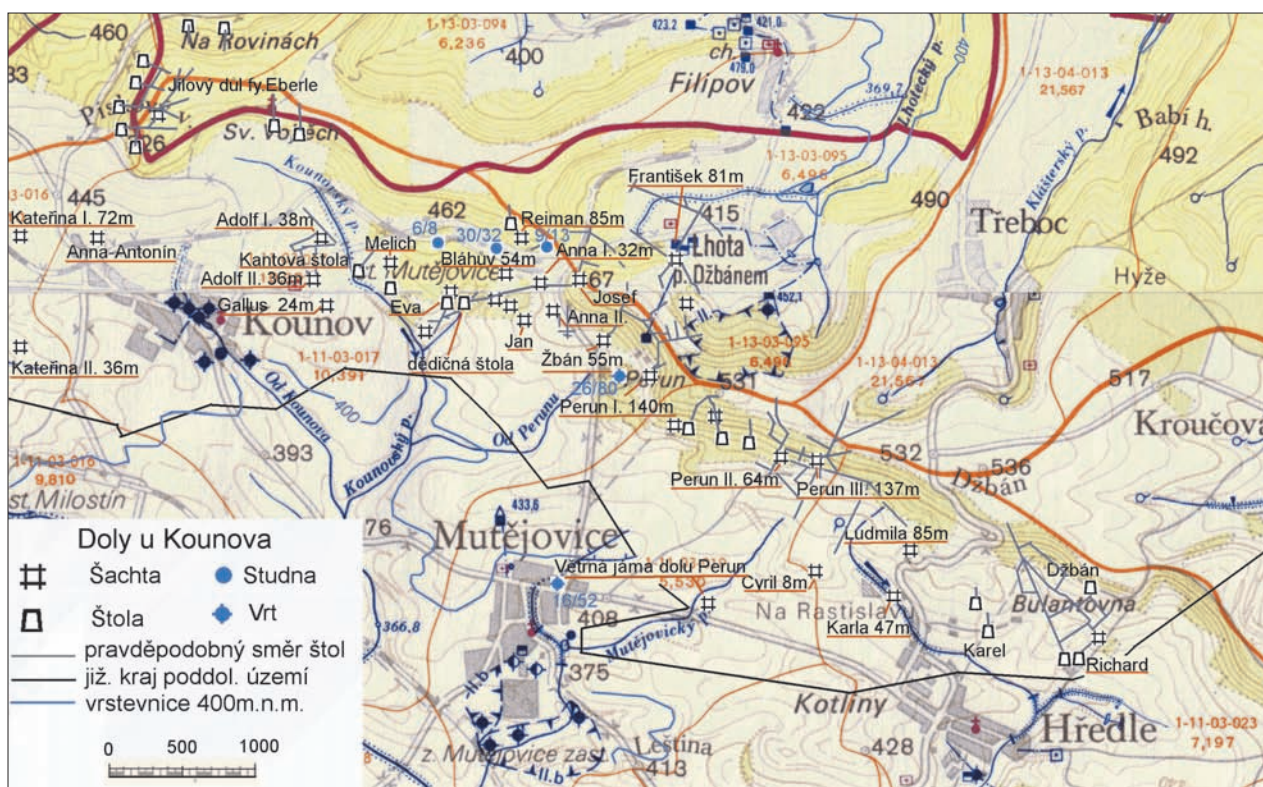
Dnes již není možné přímo zjistit úrovně hladiny v zaniklých dolech. Poslední vertikální otevřený dílo – šachta František (450 m n. m.) v katastru obce Lhota pod Džbánem bylo likvidováno na konci minulého století. Jáma František, s hloubkou 90 m, byla v provozu v letech 1921 až 1960, před uzavřením v roce 1959 bylo čerpáno 20 l.s⁻¹. Po jejím zatopení byly provedeny dvě čerpací zkoušky (Václavek, 1966; Černá, 1977) – v září 1966 byla hladina 56,5 m pod terénem (vydatnost klesala z 6,4 na 5,8 l.s⁻¹), v roce 1977 byla 47,36 m pod terénem (vydatnost 7,5 l.s⁻¹). Při čerpací zkoušce v roce 1966 byly patrné nepravidelnosti v přítoku důsledkem změn v zatopených důlních dílech. V roce 2002 a 2003 byla hladina přibližně 43 m a 40 m pod terénem (Spousta, 2003).

V prostoru štol dolu Richard v Hředlích (408 m n. m.), propojeného překopem s doly Perun, je sucho a v bezejmeném přilehlém levostranném přítoku Červeného potoka není u bývalého dolu patrný nárůst průtoku ani změna vodivosti vody.

Oblast ústí odvodňovací dědičné štoly v rokli pod nádražím (414 m n. m.) je suchá, štola samotná je vysoko zanesena okrovým bahnem. Je patrná stopa občasného toku důlní vody. Jakou část dolů v současné době toto dílo odvodňuje, není možné určit. Štola je dlouhá 630 m a má velmi malý sklon. Pokud není zavalena a zcela utěsněna bahnem, může odvádět vody z části stařin dolu Anna, pokud je pro důlní vody neprůchozí, budou tyto stařiny odvodňovány do hlouběji položeného sousedního dolu Josef.

V těsné blízkosti této staré štoly je novodobý důl Eva. Je možnost protékání důlních vod z dědičné štoly do tohoto novějšího dolu, dědičná štola je v nadloží východní části dolu Eva. Nad jižní, nejnižší položenou částí dolu Eva, u strouhy, která původně odváděla vodu z dědičné štoly, je vývěr důlní vody – přibližně 0,8 l.s⁻¹.

Dále se ve strouze v úseku asi 200 m nad soutokem postupně sbírá podzemní voda. Celkový přítok z této strouhy je asi 1,5 l.s⁻¹ (listopad a prosinec 2010). Kounovský potok je nad ústím této strouhy suchý.



Obr. 76. Přehledná mapa důlních děl u Kounova



Rozsah a velký počet jednotlivých důlních děl je patrný z mapky na *obr. 76*. Pokud je známo jméno díla a hloubka, jsou v mapce uvedeny. Některé doly střídaly časem jména (Slávka-Perun) a některé nelze z dostupných údajů určit. V mapce jsou také vyznačeny studny a vrty, je uvedena úroveň hladiny a celková hloubka.

Předpokládaný charakter odtoku podzemní vody

Srážková voda a voda z mělkých zvodní je částečně odváděna po propustných vrstvách a výše položených dílech směrem po úklonu k severu a pramení v drobných pramínkách potoků náležejících do povodí Ohře.

Podzemní voda, která se dostane po výchozu sloje, přirozených puklinách a poruchách, poruchách způsobených těžbou a důlními díly do propustných vrstev, do sloje a vyrubaných důlních prostor, je opět odváděna směrem k severu, ale ve větší hloubce.

Jáma dolu František, který těžil severní část ložiska, je již mimo povodí Rakovnického potoka (700 m za rozvodnicí), ale podzemní chodby zasahují nejméně 900 m do povodí Rakovnického potoka. Zjištěná hladina v jámě byla přibližně 45 m pod terénem, což odpovídá přibližně 400 m n. m. Je tedy pravděpodobné odvádění vody z mělkých zvodní do hlouběji položených poloh a dále na sever do povodí Ohře.

Předpoklad o odtoku vody mimo povodí Rakovnického potoka je podpořen i výsledky hydrometrických měření z listopadu 2009, kdy byl výrazný nedostatek vody v Kounovském potoce (specifický odtok $0,067 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ z povodí po profilu mostu u Mutějovic). Navýšení odtoku do Smolnického potoka ($1,053 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$ v profilu u pískovny pod Kroučovou) bylo dáno bodovým vývěrem podzemní vody pod Kroučovou a ústím odvodňovací štoly Veselí schwarzenberského dolu Adolf-Josef.

Podle porovnání odtokových výšek za rok 2009 a jejich relace k dlouhodobým průměrným výškám srážek lze odhadnout, že z povodí Kounovského potoka by podle údaje o srážce 531 mm.rok^{-1} mělo odtéci $25,8 \text{ mm.rok}^{-1}$. Podle výsledků periodických měření průtoku odteklo jen 12 mm.rok^{-1} . Rozdílu $13,8 \text{ mm.rok}^{-1}$ odpovídá specifický odtok $0,437 \text{ l.s}^{-1}.\text{km}^{-2}$. Při předpokladu, že zmenšení odtoku se projevuje na ploše 10 km^2 , vychází, že v roce 2009 byl odtok vody mimo povodí Rakovnického potoka $4,4 \text{ l.s}^{-1}$.

Lze shrnout, že minimálně od počátku 20. století do uzavření posledních dolů v této oblasti byly průtoky přílehlých toků (Červeného potoka v povodí Rakovnického a Lhotského potoka v povodí Hasiny) nalepšovány čerpanou důlní vodou. V současné době vlivy zaniklých dolů spolu s přirozenými hydrogeologickými podmínkami převádějí část vody z povodí Červeného potoka, zejména z povodí Kounovského potoka, do povodí Ohře.

Doly u Kněževsi a okolí

Těžba uhlí je doložena v první polovině devatenáctého století. Zpočátku se těžilo z hloubky 12–23 m (doly Jan, Anežka, Bohumil, Michael a Vojtěch). Novější doly těžily hlouběji – 40 m uloženou sloj. Byly to důl Karel ve vsi a důl Marie jižně od obce. Těžba skončila v roce 1945.

Šachty u Kněževsi měly nepevné nadloží a silné přítoky vody (Horčička, 2000). Hydrogeologické poměry jsou zde jiné než na Kounovsku. Sloj zde tvoří plochou pánev a hladina podzemní vody je mělko pod terénem. Při vrtání vrtů a čerpacích zkouškách se ukázalo, že podzemní vody mají jednotný hydraulický režim, terciér a permokarbon nejsou odděleny nepropustnou polohou (Záporožec, 1965).

V této oblasti nemají zaniklá důlní díla na hladinu podzemní vody významný vliv, přispívají však k dílčímu propojení zvodní.

Doly u bývalého Velkého rybníka u Rakovníka

Těžba uhlí na severní straně rybníka začala v roce 1847, většího rozsahu nabyla v roce 1854. Těžbu komplikovalo pronikání vody z rybníků do dolů. Proto byl Velký rybník (dříve Prdatka) na Lišanském potoce v roce 1870 vypuštěn. Těžbu v těchto dolech ukončily velké vody v letech 1882 a 1888, kdy byly doly zatopeny.

Dalšími významnými důlními díly v této oblasti byly jámy Kateřinka, která čerpala vodu z hloubky 91 m, Jánská a Mořic. Těžba probíhala i povrchově a zůstalo po ní jezírko Oprám.





Čistý a Lišanský potok zde protékají v blízkosti zaniklých dolů. Zda dochází k ovlivnění průtoků těchto toků a hladiny podzemní vody, nelze z dostupných údajů určit (na Lišanském potoce byl nad touto oblastí při měření průtoků za nízkých stavů zjištěn ztrátový úsek).

3.3.3 Vztah povrchových a podzemních vod

Základní odtok, běžně ztotožňovaný s odtokem podzemní vody, tvoří podstatnou část celkového odtoku z povodí Rakovnického potoka. Základní odtok je zmenšen o odběry podzemní vody v oblasti Rakovníka, které se do hydrologického oběhu vrací až při vypouštění z čistírny odpadních vod Rakovník.

V úsecích toků, které jsou v dosahu snížení hladiny podzemní vody následkem jejího jímání v oblasti mezi Senomaty a Rakovníkem, může docházet k tomu, že voda z povrchových toků může prosakovat do podzemní vody a zmenšovat průtok v potocích. Pro posouzení této možnosti jsme využili standardní metodu zaměřování podélného profilu průtoků.

Pro získání informací o rozložení úseků, ve kterých voda do toků z povodí přitéká, nebo naopak prosakuje do zóny podzemních vod, bylo provedeno několik řad měření průtoků v husté síti profilů, a to v úseku Rakovnického potoka Senomaty–Rakovník, na Kolečovickém potoce od Kolečovic po jeho ústí do Rakovnického potoka a na Lišanském potoce od Lišan po ústí do Rakovnického potoka.

První měření byla provedena během období velmi malých průtoků ve dnech 15. a 16. července, další 2. listopadu 2010 při střední velikosti průtoků. V roce 2011 byla provedena měření 14. dubna za mírně nadprůměrných průtoků a 12. a 17. května za průměrných průtoků. Výsledky uvádíme v členění podle toků. Číselné údaje jsou zobrazeny ve schématech říční sítě, hodnoty průtoků jsou uvedeny v l.s^{-1} .

Rakovnický potok

Rozmístění měrných profilů je na *obr. 77*.

Poznátky ze zaměření dne 16. 7. 2010 (*obr. 78*)

Mezi profily č. 1 a 2 ústí do Rakovnického potoka Petrovický potok – průtok v Rakovnickém potoce se zvětšuje o $2,9 \text{ l.s}^{-1}$. Mezi profily č. 3 a 4 se do Rakovnického potoka vlévá Kolečovický potok. Při měření dne 16. 7. 2010 měl průtok 5 l.s^{-1} , přírůstek v Rakovnickém potoce se v profilu č. 4 neprojevil, přítok z mezipovodí vychází záporný. V situaci velmi malých průtoků zřejmě část vody protéká údolní nivou v blízkosti toků, takže v podrobné sestavě měrných profilů byly změřeny v úseku od ústí Kolečovického potoka po začátek intravilánu Rakovníka kolísající průtoky (po profil č. 7 narůstající, pak klesající). Na počátku upraveného řečiště se průtok zvětšil, je možné, že část vody z nivy je soustředěna do potoka. Celková bilance úseku od Kolečovického potoka je záporná.

Poznátky ze zaměření dne 2. 11. 2010 (*obr. 78*)

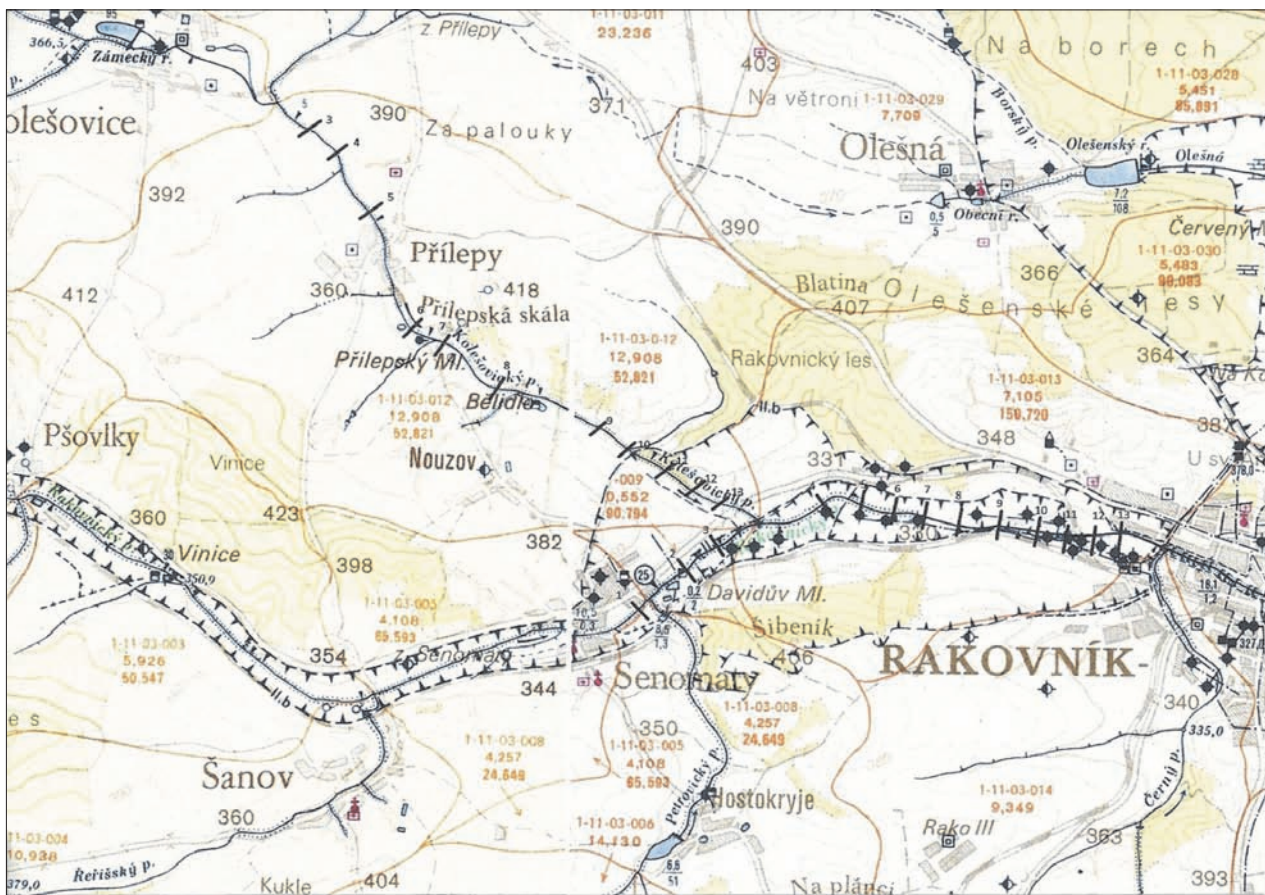
Za situace středních průtoků vyšla celková bilance kladná. Součet průtoků (129 l.s^{-1} v profilu nad ústím Kolečovického potoka + 35 l.s^{-1} Kolečovický potok = 164 l.s^{-1}) je o 50 l.s^{-1} menší než průtok 214 l.s^{-1} v posledním profilu na Rakovnickém potoce těsně nad Rakovníkem.

Poznátky ze zaměření dne 14. 4. 2011 (*obr. 80*)

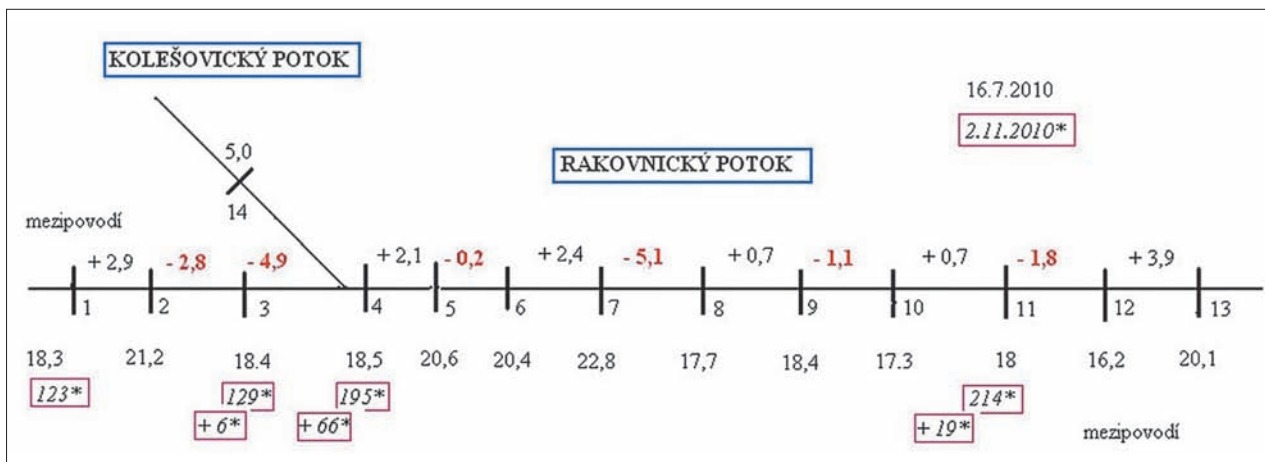
Při tomto měření byla posuzována jen oblast soutoku Rakovnického a Kolečovického potoka a úsek nad Rakovníkem jako celek s dolním profilem až na okraji Rakovníka („u vrtu“). Zjištěna byla zanedbatelná ztráta vody $1,9 \text{ l.s}^{-1}$, tj. pod hranicí přesnosti měření.

Poznátky ze zaměření dne 12. 5. 2011 (*obr. 81*)

Při tomto měření byla posuzována jen oblast soutoku Rakovnického a Kolečovického potoka a úsek nad Rakovníkem jako celek s dolním profilem až na okraji Rakovníka („u vrtu“). Zjištěna byla ztráta vody $6,4 \text{ l.s}^{-1}$, což je na hranici přesnosti měření.



Obr. 77. Rozmístění měrných profilů na Rakovnickém a Kolečovickém potoce



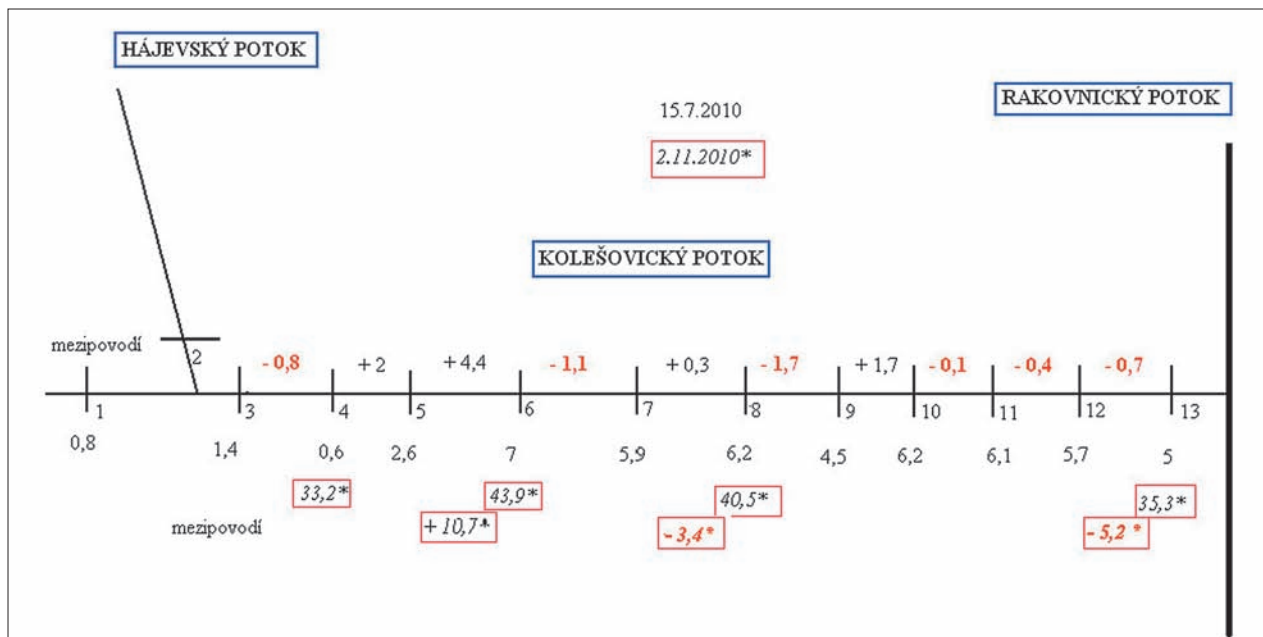
1 pod Senomaty, 3 u budky, 4 u vrtu – výběžek lesa, 8 u křižovatky cyklostezky s polní cestou, 12 začátek betonového opevnění dna a břehů, 13 u cyklostezky, okraj panelových domů

Obr. 78. Výsledky měření podélného profilu průtoků [$l \cdot s^{-1}$] na Rakovnickém potoce ve dnech 16. 7. 2010 a 2. 11. 2010 včetně vypočtených přítoků z mezipovodí

Shrnutí výsledků: Za minimálních průtoků zřejmě část vody z Rakovnického potoka v úseku od Senomat po Rakovník prosakuje do svrchní zvodně podzemní vody v údolní nivě. Za středních průtoků v tomto úseku většinou voda v potoce nepřibývá, ani se do nivy neztrácí. Pokles průtoků z hlediska celkové dlouhodobé bilance povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem není významný, při výskytu minim průtoků však není zanedbatelný. Průsak vody z řečiště do podzemní vody v nivě v období hydrologického sucha je přirozený jev.

Kolešovický potok

Rozmístění měrných profilů je na obr. 77.



1 Kolešovický p. nad soutokem s Hájevským p., 2 Hájevský p. nad soutokem s Kolešovickým, 3 zřícenina Bílého mlýna, 5 nad Přílepy jihovýchodní okraj, 6 pod Přílepy u mostu, 8 nad Bělídlem – rybníčkem, 10 mostek cesty u chmelnice, 13 nad mostem silnice Rakovník–Senomaty

Obr. 79. Výsledky měření podélného profilu průtoků [l.s⁻¹] na Kolešovickém potoce ve dnech 15. 7. 2010 a 2. 11. 2010 včetně vypočtených přítoků z mezípodolí

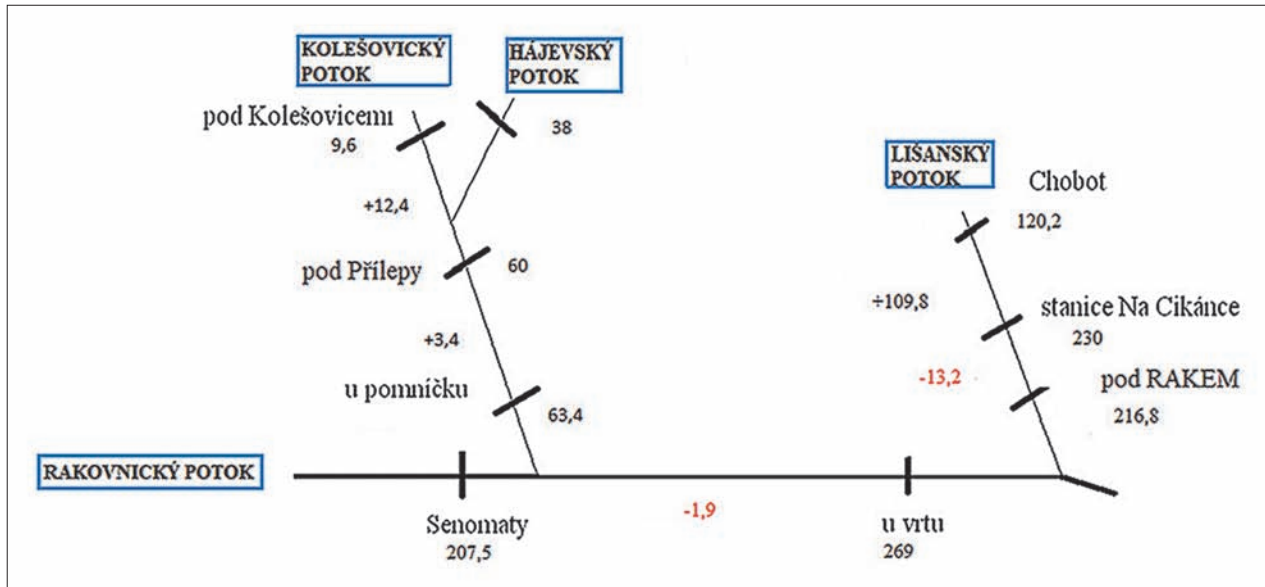
Za situace 15. 7. 2010 (obr. 79), kdy byly průtoky minimální, lze za úseky se zřetelným přítokem z povodí označit úsek v obci Přílepy a těsně pod ní. Zde byl naměřen největší průtok 7 l.s⁻¹, v úseku od Přílepy po silniční most silnice Rakovník–Senomaty klesal na 5 l.s⁻¹. I při středních průtocích 2. 11. 2010 (obr. 79) v tomto úseku průtok klesal z 43,9 l.s⁻¹ pod Přílepy na 35,3 l.s⁻¹ v profilu silničního mostu nad ústím do Rakovnického potoka, tj. o 8,6 l.s⁻¹.

Při měření 14. 4. 2011 a 12. 5. 2011 (obr. 80 a 81) v celém úseku od Kolešovic až po most nad ústím Kolešovického potoka (v obr. „u pomníčku“) nebyl zjištěn pokles průtoků. Při následném měření 17. 5. 2011 (obr. 82) byl vyhodnocen pokles průtoků jen ve střední části úseku mezi Přílepy a ústím, v celém úseku Přílepy–most nad ústím Kolešovického potoka se průtok zvětšil o 4,1 l.s⁻¹.

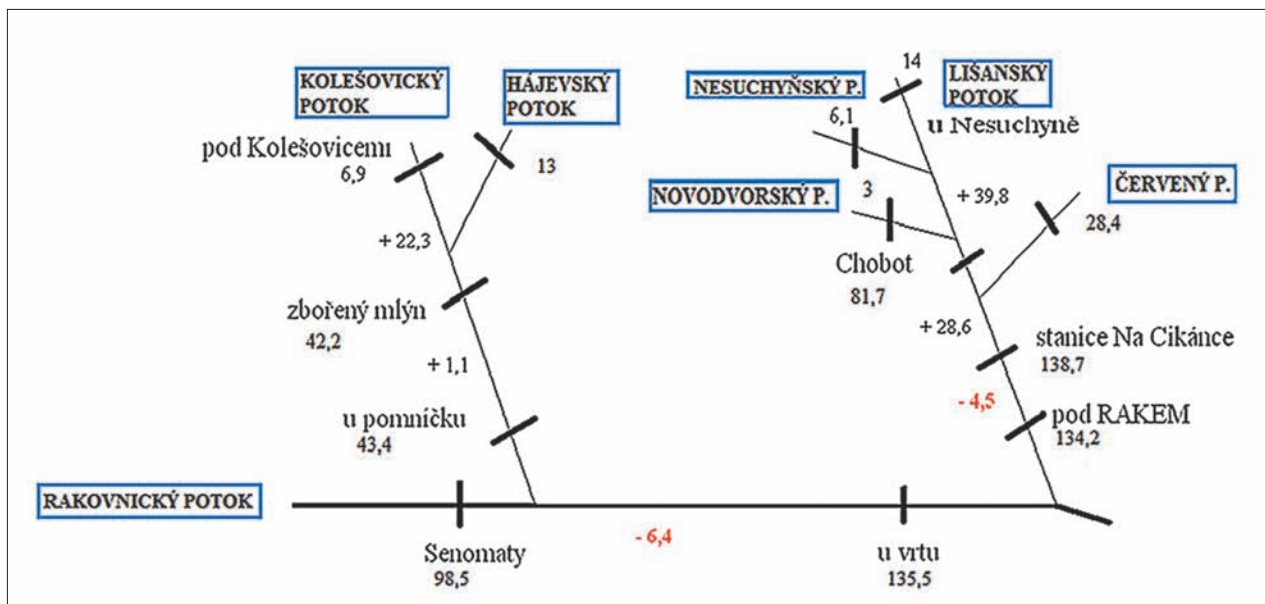
Shrnutí výsledků: Voda z Kolešovického potoka v úseku pod Přílepy po most silnice Rakovník–Senomaty prosakovala v roce 2010 do zóny podzemní vody, a to za minimálních průtoků i při průtocích srovnatelných s dlouhodobými průměry. V roce 2011, po vzestupu hladin podzemní vody, se již tento úsek jako celek nejevil jako ztrátový.

Lišanský potok

Na Lišanském potoce byla v roce 2010 provedena měření jen dne 16. 7., v období malých průtoků, v podrobném členění profilů zakresleném na obr. 83. Výsledky pouze popíšeme. Průtoky se s narůstající plochou povodí zvětšovaly jen od Lišan k ústí Olešné, v následujícím úseku až k vodoměrné stanici Na Cikánce podstatně klesaly, celkem o 12,4 l.s⁻¹. Je možné, že část vody protéká mokřadem na levém břehu. Průtok zvětšený o 16,5 l.s⁻¹ v úseku u továrny RAKO v následujícím úseku po profil nad soutokem s Čistou o 13,5 l.s⁻¹ poklesl. V posledním úseku nad ústím do Rakovnického potoka se projevuje nárůst průtoků z příspěvku Čisté. Z porovnání průtoků u ústí Olešné (24 l.s⁻¹) a v profilu nad Čistou (14,6 l.s⁻¹) vyplývá, že bilance dolní části Lišanského potoka je při minimálních průtocích negativní, s poklesem průtoků o 9,4 l.s⁻¹.



Obr. 80. Výsledky měření podélného profilu průtoků [$l \cdot s^{-1}$] na Kolečovickém, Lišanském a Rakovnickém potoce dne 14. 4. 2011 včetně vypočtených přítoků z mezipovodí

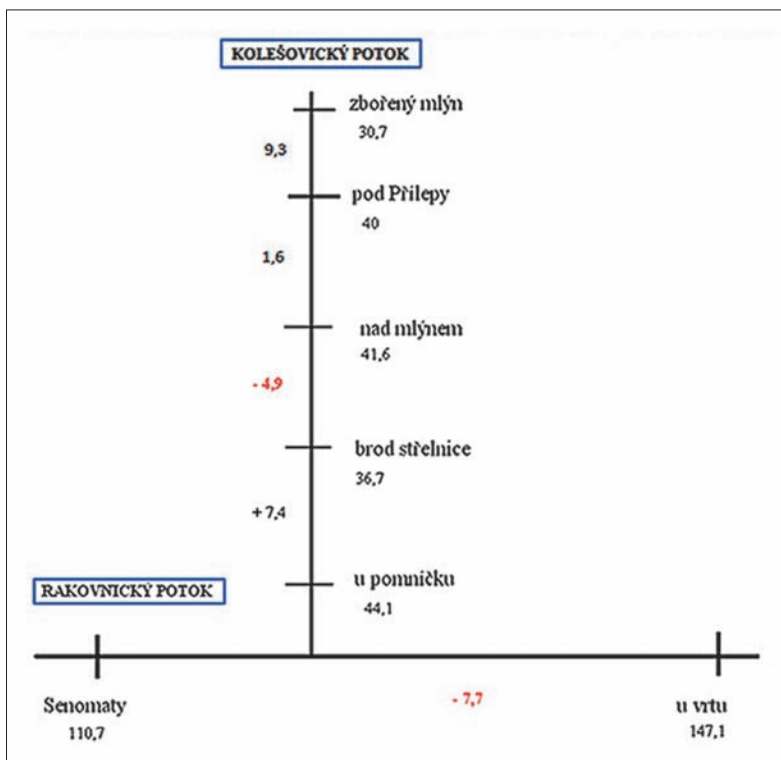


Obr. 81. Výsledky měření podélného profilu průtoků [$l \cdot s^{-1}$] na Kolečovickém, Lišanském a Rakovnickém potoce dne 15. 5. 2011 včetně vypočtených přítoků z mezipovodí

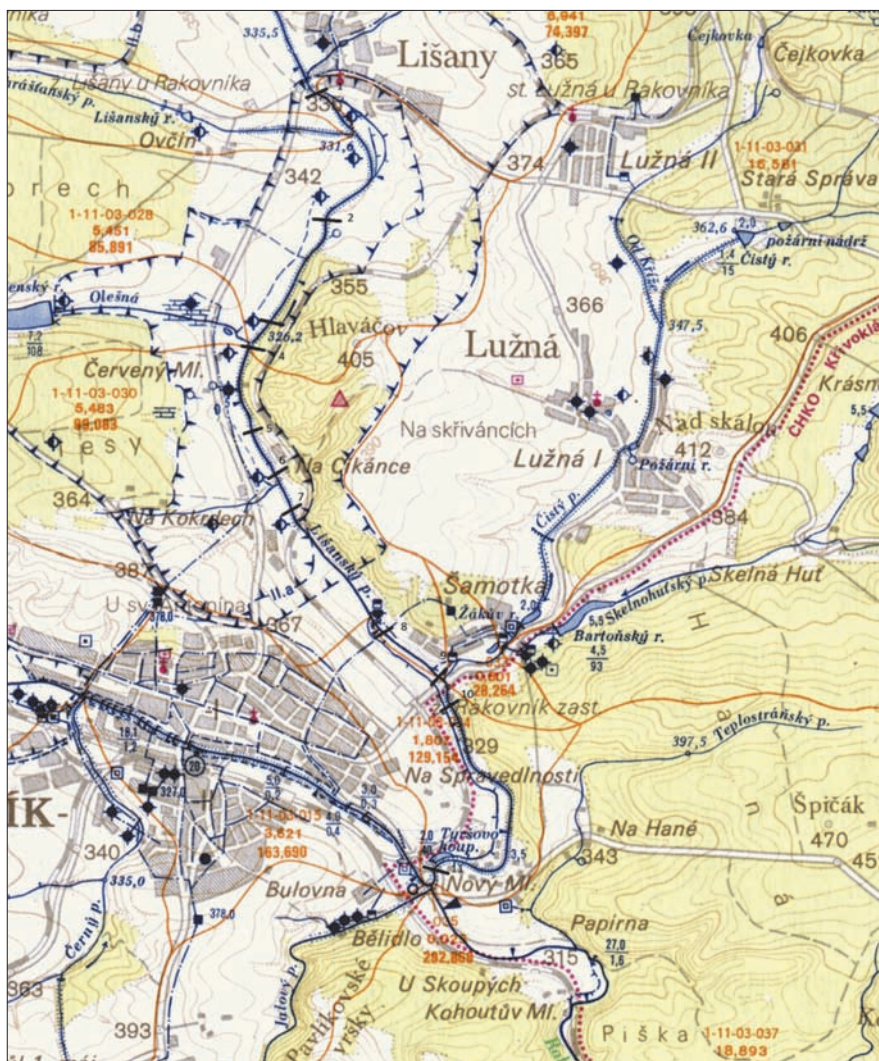
Vzhledem k tomu, že v této oblasti protéká Lišanský potok nad zatopeným dolem Moravia, posoudili jsme vztahy mezi průtoky Lišanského potoka podrobněji. Pro řešení bylo příznivé, že v posuzované oblasti je několik vrtů, ve kterých bylo možno v roce 2011 pozorovat výšku hladiny podzemní vody. Rozmístění vrtů je na obr. 84.

Podle vztahu výšek hladin ve vrtech a v toku je Lišanský potok v oblasti nad měrným profilem Na Cikánci dotován podzemní vodou. Od Lišan (R-2) až k lokalitě Na Cikánci (vrt R-3) je hladina podzemní vody výše než hladina toku. Jsou zde i přetékající vrty R-4, R-5, R-6, R-7, R-8.

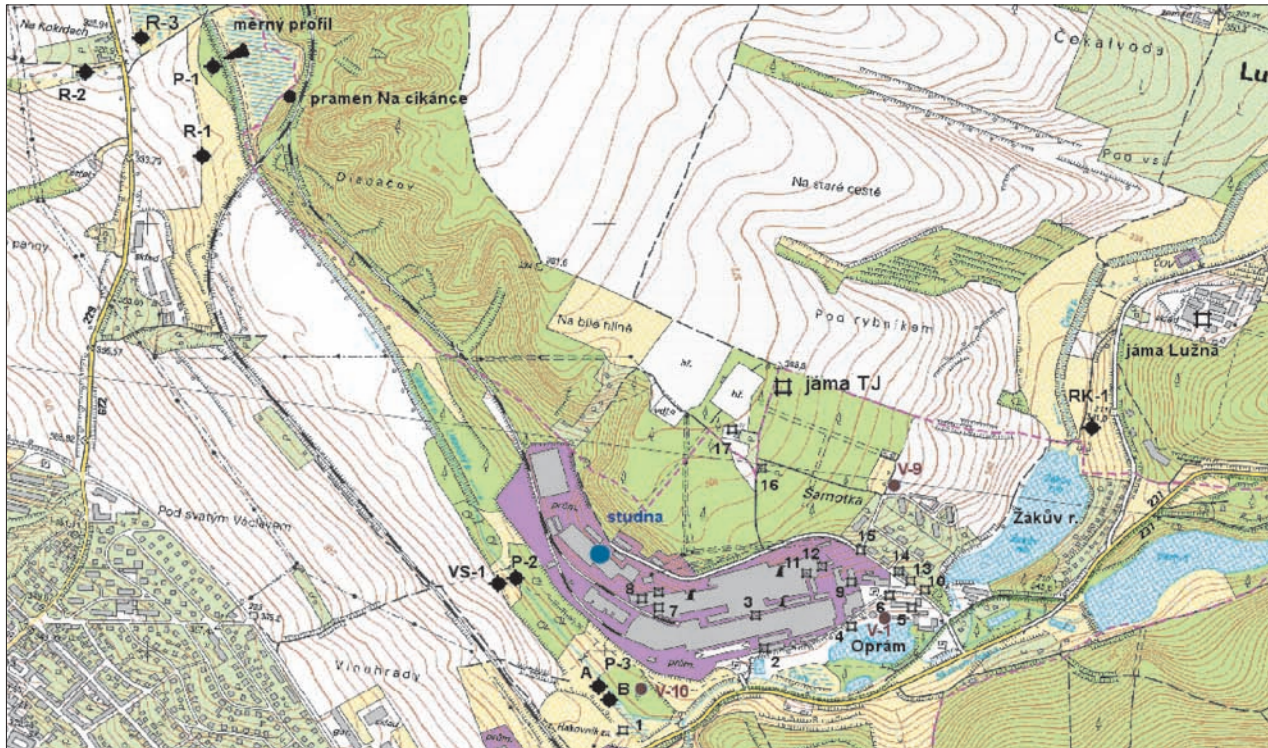




Obr. 82. Výsledky měření podélného profilu průtoků [$l \cdot s^{-1}$] na Kolečovickém a Rakovnickém potoce dne 17. 5. 2011 včetně vypočtených přítoků z mezipodvodí



Obr. 83. Rozmístění měrných profilů na Lišanském potoce



Obr. 84. Rozmístění pozorovacích vrtů a sond, čtverečky jsou označena stará důlní díla

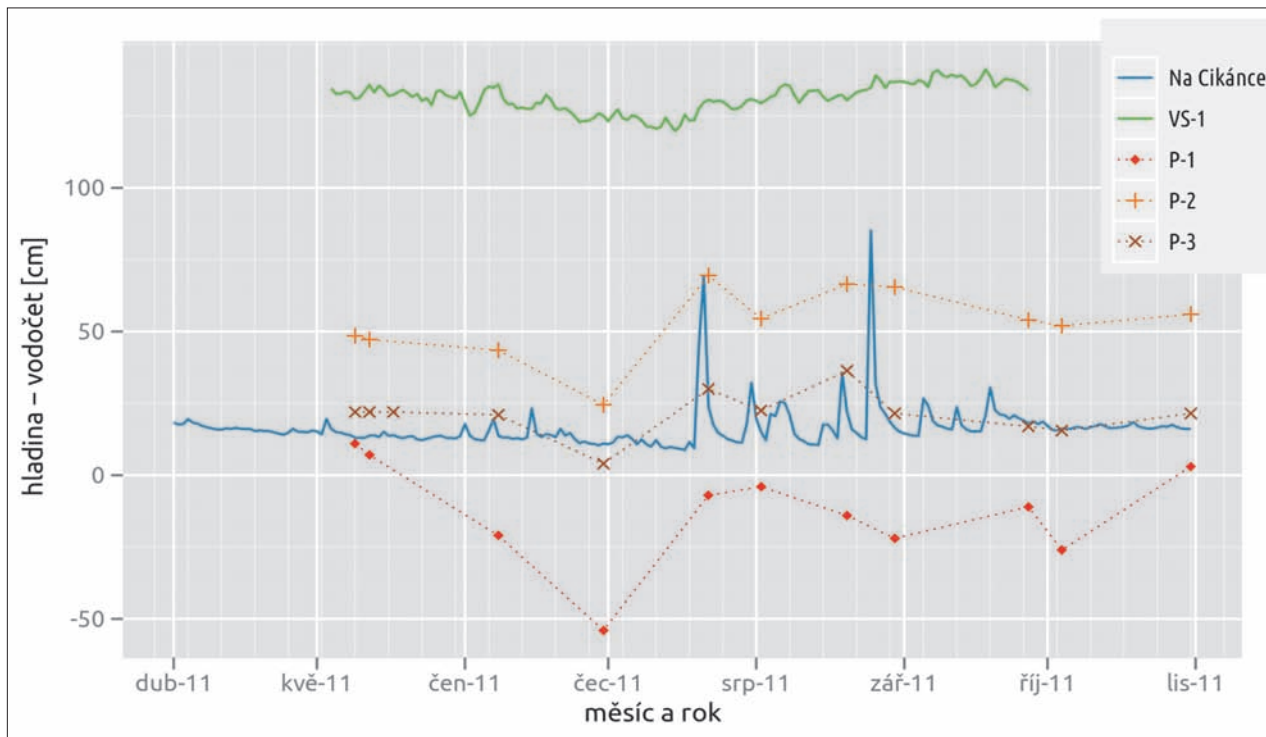
V prostoru mezi vrty R-2 a R-3, tj. u samoty Na Kordech, prochází tektonická porucha oddělující severní zvrtoch od jižní části zájmové oblasti. Směr této tektonické linie je SZ–JV. Pramen Na Cikánce ležící na levém břehu Lišanského potoka patří k severní zvodni (Chval et al., 1982). Rozdíl úrovně hladiny podzemní vody mezi vrty R-3 (severně od tektonické linie) a R-2 (jižně od tektonické linie) 2,7 m při vzdálenosti 140 m je poměrně značný. Oproti tomu vrty R-2, R-1, VS-1 a objekty u zaniklých dolů u Šamotky v jižní části mají úroveň hladiny velmi blízkou. V oblasti od uvedené tektonické linie až přibližně ke stabilizačnímu stupni v korytě Lišanského potoka (výška 0,7 m) u vrtu VS-1 je hladina podzemní vody hlouběji než hladina v Lišanském potoce, a to jak v hlubokém vrtu R-1 (průměrně o 2 m), tak i v mělké sondě P-1 umístěné na pravém břehu u vodoměrné stanice ve vzdálenosti 11 m od potoka. V této oblasti dochází při menších průtocích k dotaci podzemní vody z Lišanského potoka, a to i přes přítok z mokřadu na levém břehu, který je napájen pramenem Na Cikánce, jehož průměrná vydatnost je $0,16 \text{ l.s}^{-1}$.

Přibližně od stabilizačního stupně je hladina podzemní vody jak v hlubokém vrtu VS-1, tak v mělké sondě P-2 (vzdálenost od toku 6,5 m) výše než hladina Lišanského potoka. V roce 2011 byly nad poddolovaným prostorem umístěny mělké sondy P-3A (hluboká 2 m) a P-3B (hluboká 5 m), od toku jsou vzdálené 5 m. Hladina v sondě P-3A byla soustavně nad hladinou toku, sonda P-3B měla mírný přetok. Rozdíl hladiny podzemní vody v sondách je 0,7 m, při rozdílu hloubek sond 3 m svědčí o malé propustnosti zvodně. V úseku od stabilizačního stupně po hráz zaniklého Velkého rybníka je Lišanský potok dotován podzemní vodou. Hráz je pravděpodobně založena na podloží a zvedá i úroveň hladiny podzemní vody.

Na obr. 85 je zachycen časový průběh hladiny Lišanského potoka, mělkých vrtů P-1, P-2, P-3 a hlubokého vrtu VS-1, hladiny pozorovacích objektů jsou vztaženy k hladině toku v příslušném úseku.

V oblasti byla provedena tři podélná měření průtoků, výsledky jsou v tabulce 33. Měření potvrdila mírný úbytek v prostoru severně, proti proudu nad zaniklým dolem, a také malou dotaci Lišanského potoka v prostoru zaniklého dolu. V úseku Lišanského potoka od mlýna pod hrází k soutoku s Rakovnickým potokem nebyla měřením prokázána změna průtoků, změřený pokles je pod hranici přesnosti měření.

Povrchový tok zřejmě s podzemním kolektorem komunikuje, přibližně 10 l.s^{-1} v horní oblasti dotuje podzemní vody a mírně větší množství se do toku vrací v dolní části. Byla zaměřena i hladina podzemní vody ve sklepě základní školy na náměstí v Rakovniku. Vývěr je o 7 m níže než hladina podzemní vody v oblasti zaniklého dolu, sklon hladiny je opačný, než byl v době čerpání z činného dolu Moravia.



Obr. 85. Průběh výšky hladiny v Lišanském potoce (stanice Na Cikánce) a výšky hladiny podzemní vody ve vrtu VS-1 a v pozorovacích sondách P-1, P-2 a P-3

Sklon podzemní hladiny od Lišanského potoka k městu ukazuje i poměr hladiny vrtů R-1 a R-2. Vrt R-2, který je výše položený jak proti proudu, tak v terénu a je dále od toku, má v současné době stejný chod hladiny podzemní vody, ale hladina je o 0,12 m níže než v R-1. V roce 1982 byl tento rozdíl větší – 1,28 m. (V roce 1982 byl odběr podzemní vody v Rakovníku větší než nyní.)

Tabulka 33. Výsledky hydrometrických měření na Lišanském potoce v roce 2011

Datum	Profil	Průtok [l.s ⁻¹]	Přírůstek [l.s ⁻¹]
10. 2. 11	Na Cikánce	331,7	
	u VS-3	335	3,12
15. 3. 11	Na Cikánce	227,3	
	u VS-3	219,4	-8,07
	nad Čistým	230,7	11,3
	pod mlýnem	269,5	7,4
	nad Rakovnickým	267,1	-2,4
14. 4. 11	Na Cikánce	230	
	u VS-3	216,8	-13,36

Celkově je dotace povrchového toku ze zvodně malá, podzemní voda je pravděpodobně odváděna JZ směrem k Rakovníku.

Vyrubané prostory dolů Moravia jsou při hladině podzemní vody přibližně 420 m n. m. zcela zatopené. Vzhledem k nedostupnosti ztracené důlní mapy je odhad zatopených prostor velmi nepřesný. Z přibližné mapy je změřená vyrubaná plocha nejméně 250 000 m². Mocnost sloje byla mezi 6 m (Heroldova jáma) a 2 m (Kateřina). Některé prostory budou zavaleny (Kateřinská propadlina, propady pozemků v oblasti vypuštěného Velkého rybníka). Při předpokladu průměrné výšky vyrubaných prostor podobné jako na nedalekém novějším dole v Lužné 1 m (Krásný, 1969) dojde k objemu vody 250 tis. m³.

Zaniklé doly sice hydraulicky komunikují se západně položenou zvodní u Lišanského potoka, jelikož jsou však zatopené prostory trvale pod úrovní hladiny podzemní vody v jejich lokalitě, významný vliv na průtoky v dolní trati Lišanského potoka patrně nemají.

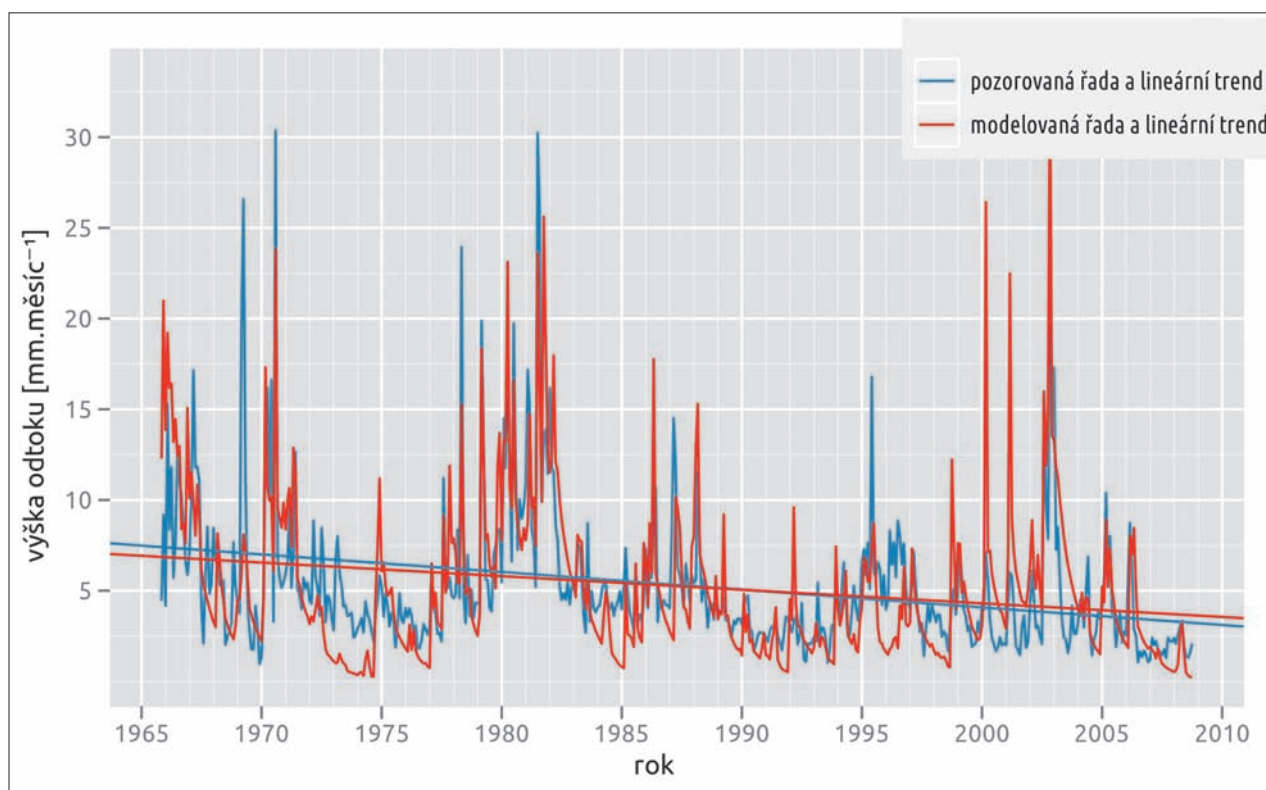
3.4 Hydrologická bilance – analýza příčin projevujících se změn a odhad budoucího vývoje

3.4.1 Hydrologická bilance v období pozorování

Základním prostředkem pro posouzení, do jaké míry odpovídají poklesy odtoku průběhu meteorologických veličin na povodí, je modelování chronologické hydrologické bilance. K němu byl použit model BILAN vyvinutý ve VÚV TGM (popsaný v Tallaksen a van Lanen, 2004).

Model počítá v měsíčním kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí. Vstupem do modelu jsou měsíční srážkové úhrny, průměrné teploty, průměrná vlhkost vzduchu a průměrný odtok, nutný pro kalibraci. Model vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí, a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok.

Na obr. 86 jsou vyneseny pozorované a modelované průběhy měsíčních výšek odtoku z období 1966–2008 a jejich lineární trendy. V několika úsecích modelované odtoky neodpovídají dobře pozorovaným. Je to jednak v letech 1973–1974, kdy podle modelu měly odtoky poklesnout do minim, podle pozorování se to však nestalo. V letech 2000, 2001 a 2003 model nadhodnocuje odtoky v měsících s velkými odtokovými výškami. Poslední případ může indikovat změny chování dlouhodobě vysychajícího povodí.



Obr. 86. Průběh pozorovaných a modelovaných měsíčních výšek odtoku z povodí Rakovnického potoka a jejich lineární trendy v období 1996–2008

Lze usuzovat, že klesající trend odtoku je z rozhodující části způsoben průběhem meteorologických veličin na povodí, tj. zejména zvyšováním teploty vzduchu.



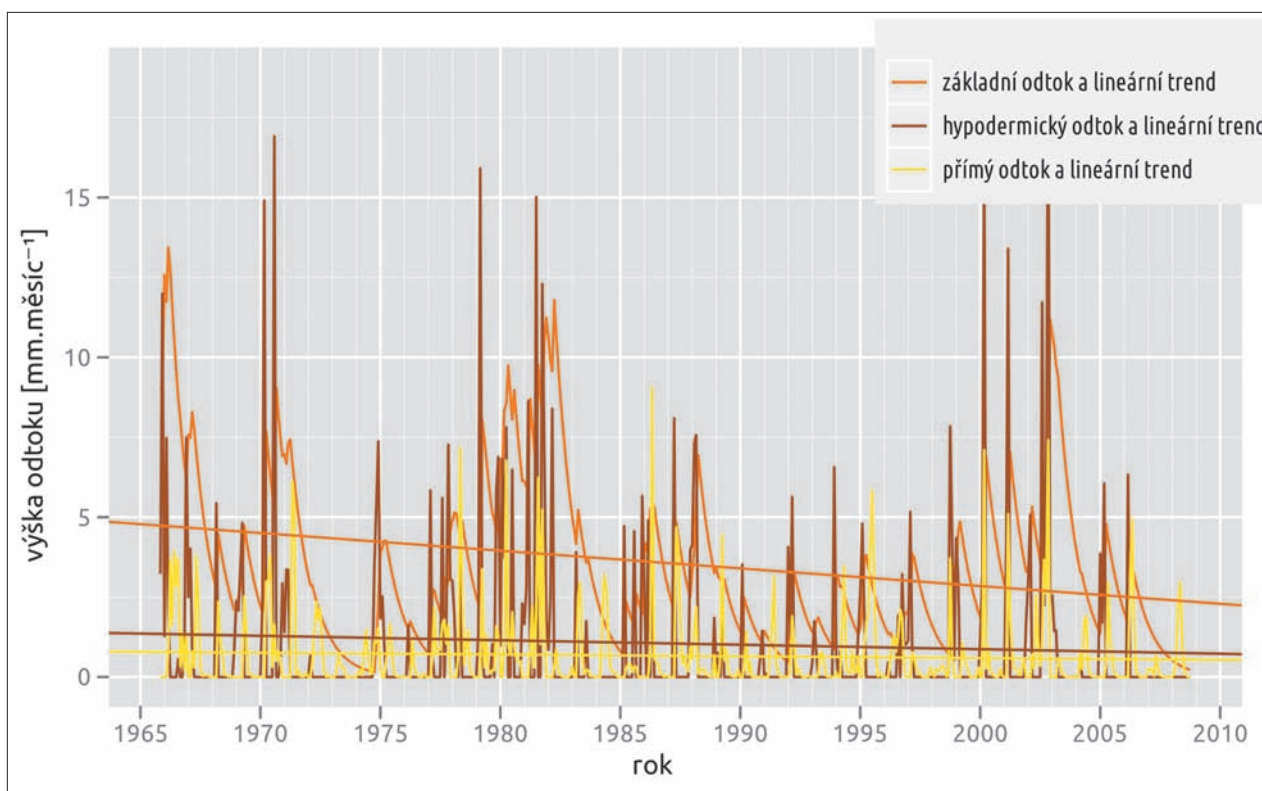
Z provedených rozborů jednotlivých modelovaných veličin vyplývá, že pokles celkového odtoku je způsoben z rozhodující části poklesem základního odtoku, což ukazuje *obr. 87*. Základní odtok se zmenšuje následkem poklesu zásob podzemní vody vlivem klesající dotace podzemních vod, jež nastává především v únoru a zejména v březnu. K poklesu dotace v jarních měsících přispívají dvě skutečnosti. První je, že se buď vůbec nevytváří zásoba vody ve sněhu, nebo je velmi malá. Další spočívá v tom, že v lednu a zejména v únoru se zvětšuje vlivem vyšších teplot územní výpar. Následkem těchto změn dochází častěji k tomu, že ani na konci zimy není půda zcela nasycena vodou a srážky neprosakují půdou, ale jen doplňují zásobu vody v půdě. Pro vývoj hydrologické bilance v následujících měsících je nepříznivé, že dubnové srážky mají klesající trend. Zásoba vody v půdě na konci dubna je pak dosti často již poměrně malá.

Uvedený rozbor příčin poklesu odtoku je založen na modelování v měsíčním kroku. Jeho výsledky, pokud jde o trendy použitých veličin, jsou věrohodné, což neplatí pro absolutní velikosti zásob vody (podzemní i půdní), které jsou zkráceny průměrováním veličin pro poměrně dlouhý měsíční interval.

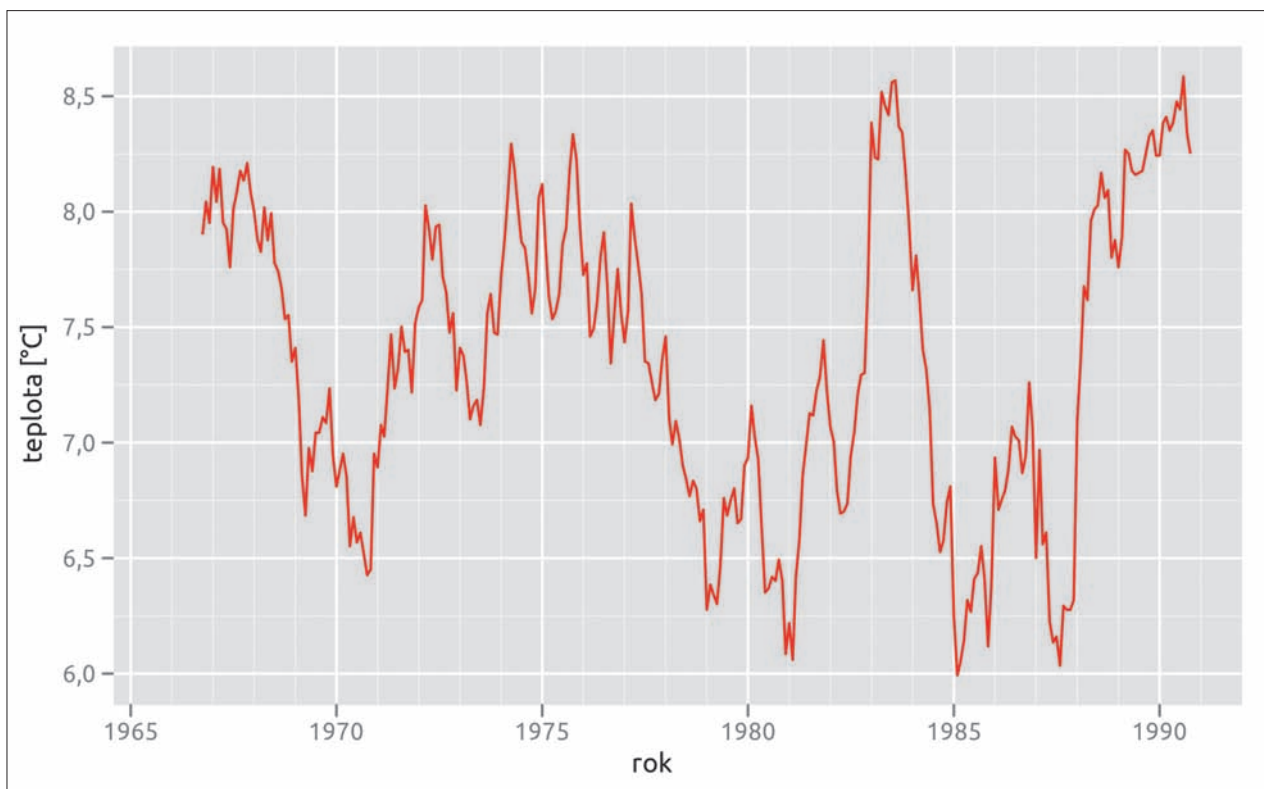
3.4.2 Hydrologická bilance v podmínkách klimatické změny

Výběr období použitého jako základ pro modelování dopadu klimatické změny

Celé pozorované období 1966–2008 nelze korektně použít jako základ pro posouzení vlivu klimatických změn, neboť zejména po roce 1990 se v něm již velmi rychle zvyšovala teplota vzduchu. Na základě posouzení průběhu pětiletých klouzavých průměrů teplot vzduchu (průměrů pro povodí Rakovnického potoka) bylo pro modelování vlivu klimatických změn vybráno období 1966–1990 (25 let). Teplota vzduchu v tomto období se zvyšovala podstatně pomaleji než v následující části řady, její periodické kolísání bylo podstatně významnější než stoupající trend (*obr. 88*). Průměr v období byl 7,65 °C, průměrná roční srážka 529,3 mm byla blízká dlouhodobému průměru z období 1966–2008.



Obr. 87. Složky odtoku modelované modelem BILAN pro povodí Rakovnického potoka



Obr. 88. Dvanáctiměsíční klouzavé průměry teploty vzduchu na povodí Rakovníckého potoka v období 1966–1990

Kalibrace modelu BILAN pro období 1966–1990

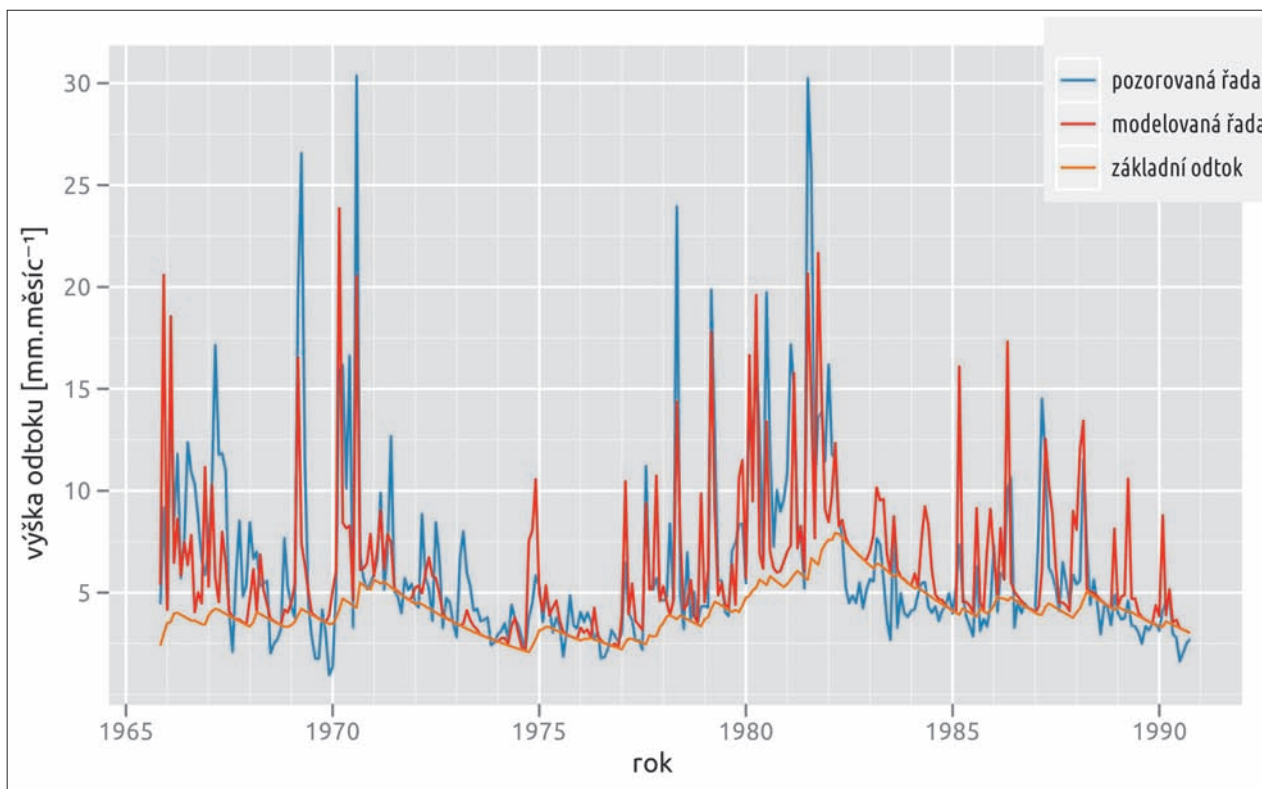
S využitím poznatků z modelování hydrologické bilance pro období 1966–2008 byla počáteční zásoba podzemní vody zadána hodnotou 100 mm. Poté bylo podle pozorovaných řad měsíčních odtoků kalibrováno osm parametrů modelu BILAN. Průměrné roční hodnoty bilančních prvků i vstupních meteorologických veličin jsou v tabulce 34.

Tabulka 34. Dlouhodobé roční úhrny nebo průměry bilančních veličin

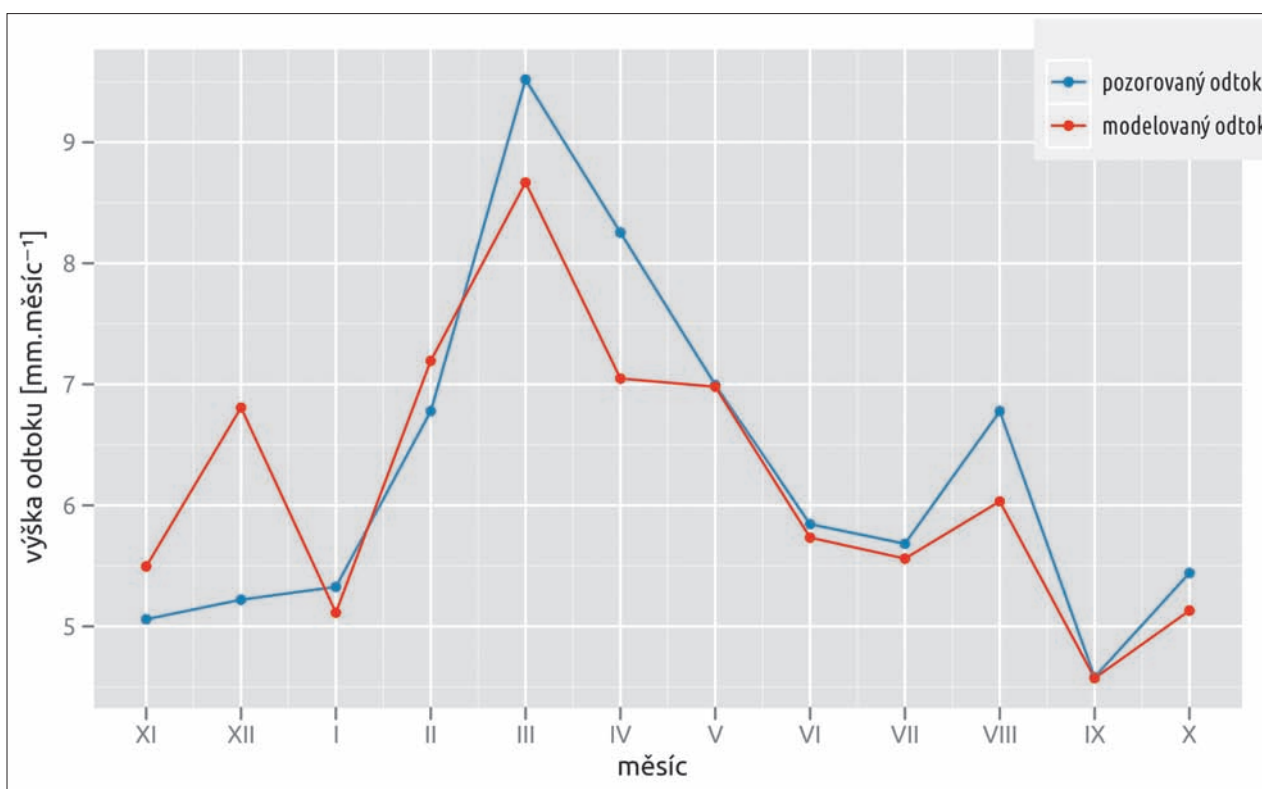
Srážky na povodí [mm]	Pozorovaný odtok [mm]	Modelovaný odtok [mm]	Základní odtok [mm]	Hypodermický odtok [mm]	Přímý odtok [mm]	Potenciální evapotranspirace [mm]	Územní výpar [mm]	Zásoba vody v půdě [mm]	Zásoba podzemní vody [mm]	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost vzduchu [%]
529,3	75,48	74,33	50,06	14,79	9,482	635,9	455,6	20,7	173,8	7,649	76,88

Obrázek 89 ukazuje časové průběhy pozorovaného a modelovaného odtoku vody v povodí. Výšky srážek i odtoku mají mírně klesající trend, model jej s přijatelnou přesností vystihuje. Obrázek 90 ukazuje, že model je v tomto období schopen vystihnout sezonní chod průměrných měsíčních odtoků.





Obr. 89. Průběh pozorovaného a modelovaného odtoku a modelovaného základního odtoku



Obr. 90. Roční chod průměrných měsíčních výšek odtoku podle pozorování a modelu



Výpočet vlivu klimatické změny pro předpoklad rovnoměrného zvýšení teploty vzduchu

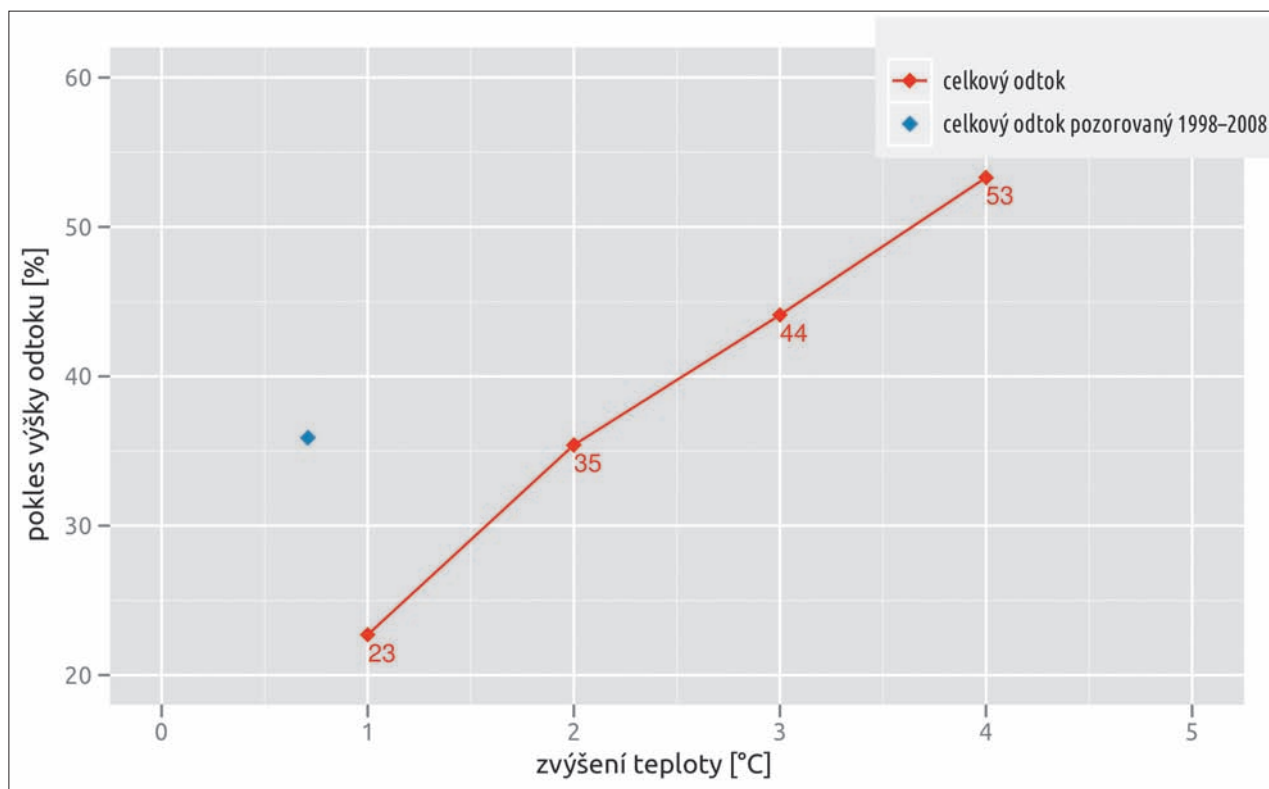
Pro rámcové posouzení citlivosti hydrologického režimu na oteplení, bez dalších změn meteorologických veličin, byl proveden modelový výpočet hydrologické bilance za předpokladu rovnoměrně rozloženého zvýšení teploty vzduchu v průběhu roku o 1 až 4 °C.

Dopad oteplení na průměrnou roční výšku odtoku ukazuje obr. 91, kde je uvedeno, o kolik procent se v závislosti na zvýšení teploty vzduchu zmenšuje průměrná roční výška odtoku. Na obrázku je pro zvýšení teploty v období 1991–2008 v porovnání s teplotou v období 1966–1990 uveden odpovídající procentní pokles pozorované průměrné měsíční výšky odtoku. Pozorovaný pokles je větší, než odpovídá odhadům podle modelových výpočtů.

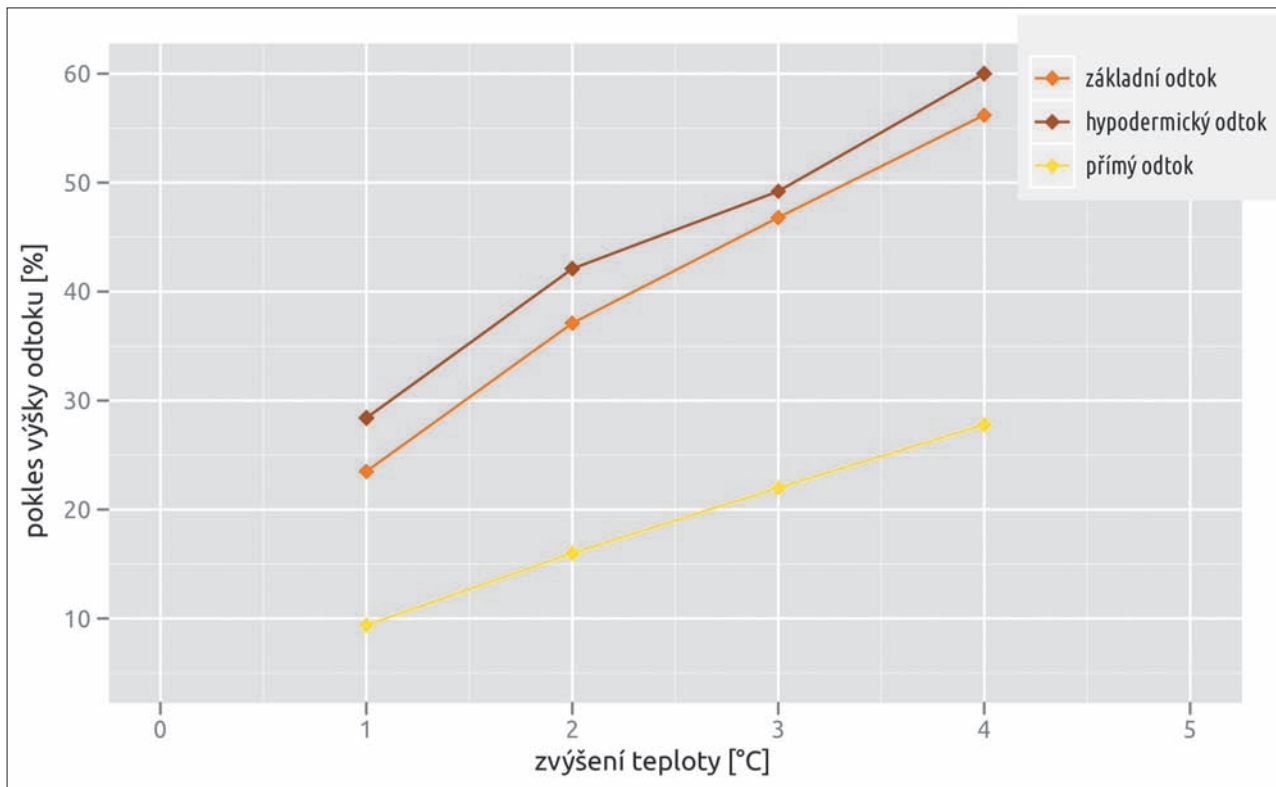
Obrázek 92 obsahuje informace o tom, jak se vliv oteplení projevuje na složkách odtoku. Poklesy základního a hypodermického odtoku jsou v relativním vyjádření intenzivnější než pokles přímého odtoku. To znamená, že při oteplování se mění skladba celkového odtoku, zvětšuje se podíl rychlého přímého odtoku na celkovém odtoku, a to i při nezměněných srážkách.

Čáry překročení měsíčních odtokových výšek pro původní stav klimatu a pro zvolené alternativy oteplení jsou zobrazeny na obr. 93. Z obrázku je zřejmé, že poklesy odtoku při oteplení z výchozího stavu o 1 °C jsou větší než při dalším oteplování. Vliv oteplování se také rozdílně projevuje na odtocích různé velikosti.

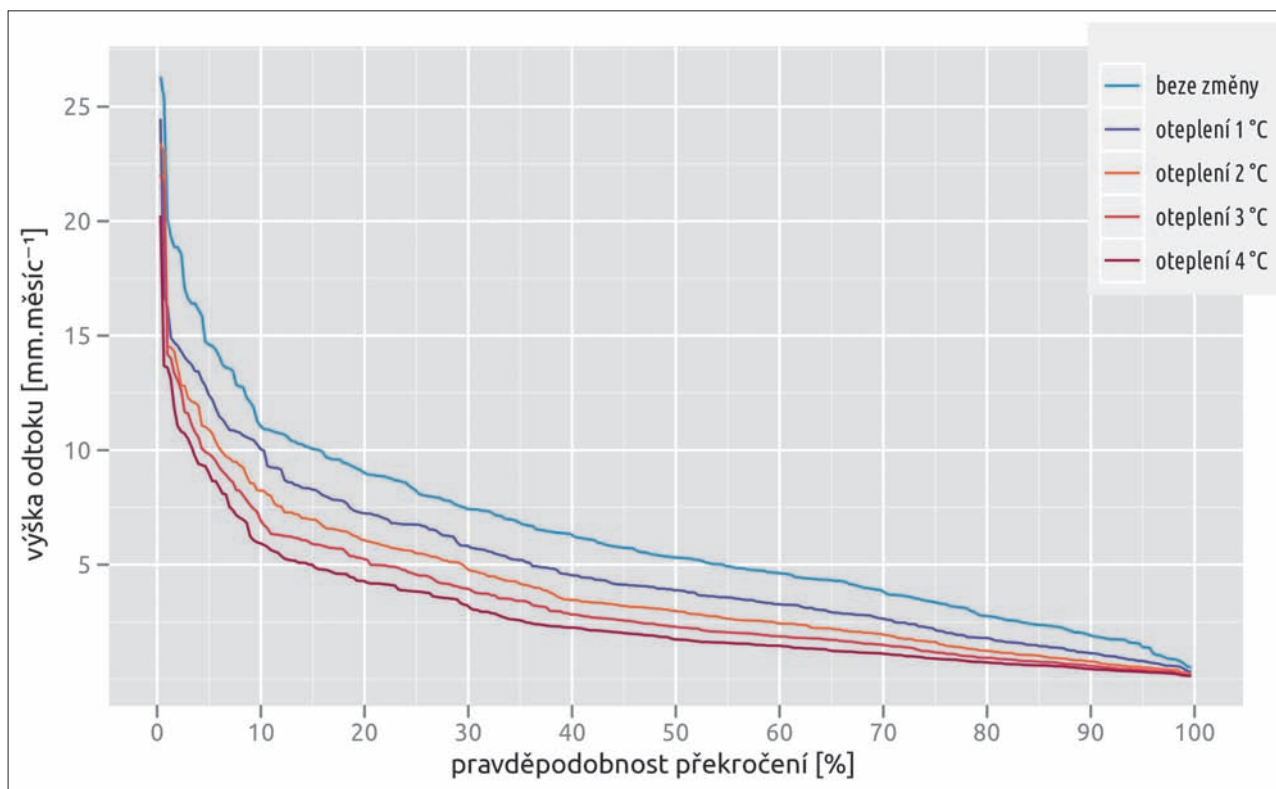
Při oteplení z výchozího stavu o 1 °C jsou poklesy odtoku největší (relativně 15–20 %) u velkých odtoků, pro malé výšky odtoku poklesy přesahují 40 %. Při zvýšení teploty o další 1 °C již je pokles v oblasti malých odtoků jen asi 20 %, stále však v relativním měřítku klesají více malé odtoky. Při dalším oteplování (zvýšení mezi 2 a 3 °C) jsou již relativní poklesy podstatně menší a přibližně rovnoměrné v celém rozsahu odtoků. Při uvažovaném extrémním oteplení až o 4 °C by již relativní poklesy malých průtoků byly menší než průtoků střední velikosti.



Obr. 91. Závislost poklesu průměrné výšky odtoku v relativním vyjádření na zvýšení teploty vzduchu



Obr. 92. Závislost poklesu složek odtoku (v relativním měřítku) na zvýšení teploty



Obr. 93. Čáry překročení měsíčních výšek odtoku pro oteplení 1–4 °C

Výpočet vlivu klimatické změny podle scénářů z projektu PRUDENCE

Na základě výsledků projektu PRUDENCE byly pro ČR připraveny dva regionální scénáře klimatické změny využívající výsledků modelu RCAO a modelu HIRHAM, v obou případech použitých pro předpokládaný vývoj emisí CO₂ podle scénářů IPCC SRES A2 a B2 a časovou úroveň 2071–2100.

Základní výsledky ve formě dlouhodobých ročních průměrů jsou uvedeny v *tabulce 35*. Pokles celkového odtoku v závislosti na zvýšení teploty vzduchu na *obr. 96* ukazuje, že pokles odtoku při aplikaci modelu HIRHAM je menší. Výsledky z obou modelů se nijak zásadně neliší od výsledků získaných z modelování, při kterém byly změněny pouze teploty vzduchu. V obou modelech se jen velmi málo mění průměrné srážky a v obou se zmenšují relativní vlhkosti vzduchu.

Čáry překročení měsíčních výšek odtoku vypočtené pro použité scénáře jsou zobrazeny na *obr. 94*.

Tabulka 35. Dlouhodobé roční průměry a jejich změny podle jednotlivých scénářů

Scénář	Srážka [mm]	Odtok [mm]	Potenciální evapotranspirace [mm]	Výpar [mm]	Teplota [°C]	Vlhkost vzduchu [%]	Zvýšení teploty [°C]	Změna srážek [%]	Změna vlhkosti [%]	Pokles odtoku na [%]
nezměněný	529,3	74,3	635,9	455,6	7,64	76,9	0	0	0	100
RCAO A2	524,9	29,5	923,3	497	12,7	71,6	5,14	0,83	-5,23	39,7
RCAO B2	549,8	38,0	808,2	513	11,41	74,5	3,76	-3,87	-2,32	51,2
HIRHAM A2	526,6	43,9	842,8	483,5	11,61	73,4	3,96	0,51	-3,41	59,1
HIRHAM B2	505,5	52,9	767,7	452,3	10,19	74,4	2,54	4,49	-2,47	71,3

Výpočet vlivu klimatické změny podle scénářů modelu ALADIN-CLIMATE/CZ

V projektu Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření byly připraveny regionální scénáře klimatické změny využívající modelu ALADIN-CLIMATE/CZ. Model je řízen francouzským modelem globální cirkulace ARPEGE, používá prostorové rozlišení 25 km × 25 km, pro scénář emisí SRES A1B byly zpracovány řady meteorologických veličin pro časové úseky 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099, dále označované letopočtem ve středu období, tj. 2025, 2055 a 2085.

Základní výsledky ve formě dlouhodobých ročních průměrů jsou uvedeny v *tabulce 36*. Pokles celkového odtoku v závislosti na zvýšení teploty vzduchu na *obr. 96* ukazuje, že z modelu ALADIN-CLIMATE/CZ vychází zvýšení teplot menší než u modelů z projektu PRUDENCE. Při stejných změnách teploty jsou poklesy odtoku podle výsledků modelu ALADIN-CLIMATE/CZ větší než podle modelu HIRHAM. Pro časovou úroveň 2025 model ALADIN-CLIMATE/CZ udává mírné zvětšení srážek, pro vzdálenější časové úseky mírný pokles jejich ročního úhrnu. Relativní vlhkost vzduchu s nárůstem teploty klesá.

Čáry překročení měsíčních výšek odtoku vypočtené pro použité scénáře jsou zobrazeny na *obr. 95*, čára překročení pro původní stav klimatu je z dat z období 1966–1990. Srovnání průběhu odtoků ukáže poněkud varující skutečnost, že pozorované odtoky v závěru období 1966–2008 jsou blízké odhadům pro časovou úroveň 2085.

Tabulka 36. Dlouhodobé roční průměry a jejich změny pro jednotlivé časové horizonty

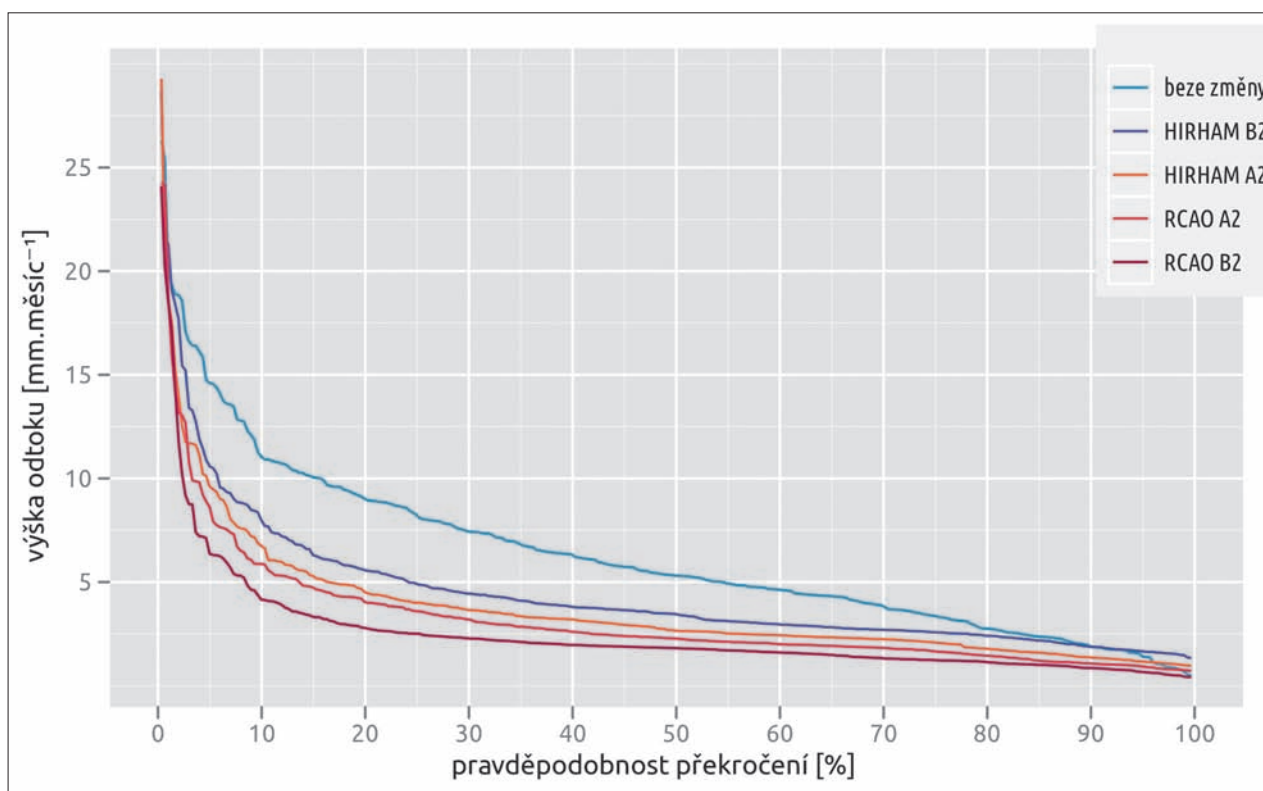
Scénář	Srážka [mm]	Odtok [mm]	Potenciální evapotranspirace [mm]	Výpar [mm]	Teplota [°C]	Vlhkost vzduchu [%]	Zvýšení teploty [°C]	Změna srážek [%]	Změna vlhkosti [%]	Pokles odtoku na [%]
1966 až 1990	529,3	74,3	635,9	455,6	7,64	76,9	0	0	0	100
2025	540	57,3	704	482,6	8,90	76,1	1,25	10,7	-0,78	77,2
2055	520,1	42,4	783,7	477,6	9,91	72,0	2,27	-9,2	-4,87	57,1
2085	519,6	34,6	842,2	485,1	10,81	70,7	3,16	-9,7	-6,15	46,6

Shrnutí poznatků z modelování dopadu klimatické změny na odtok

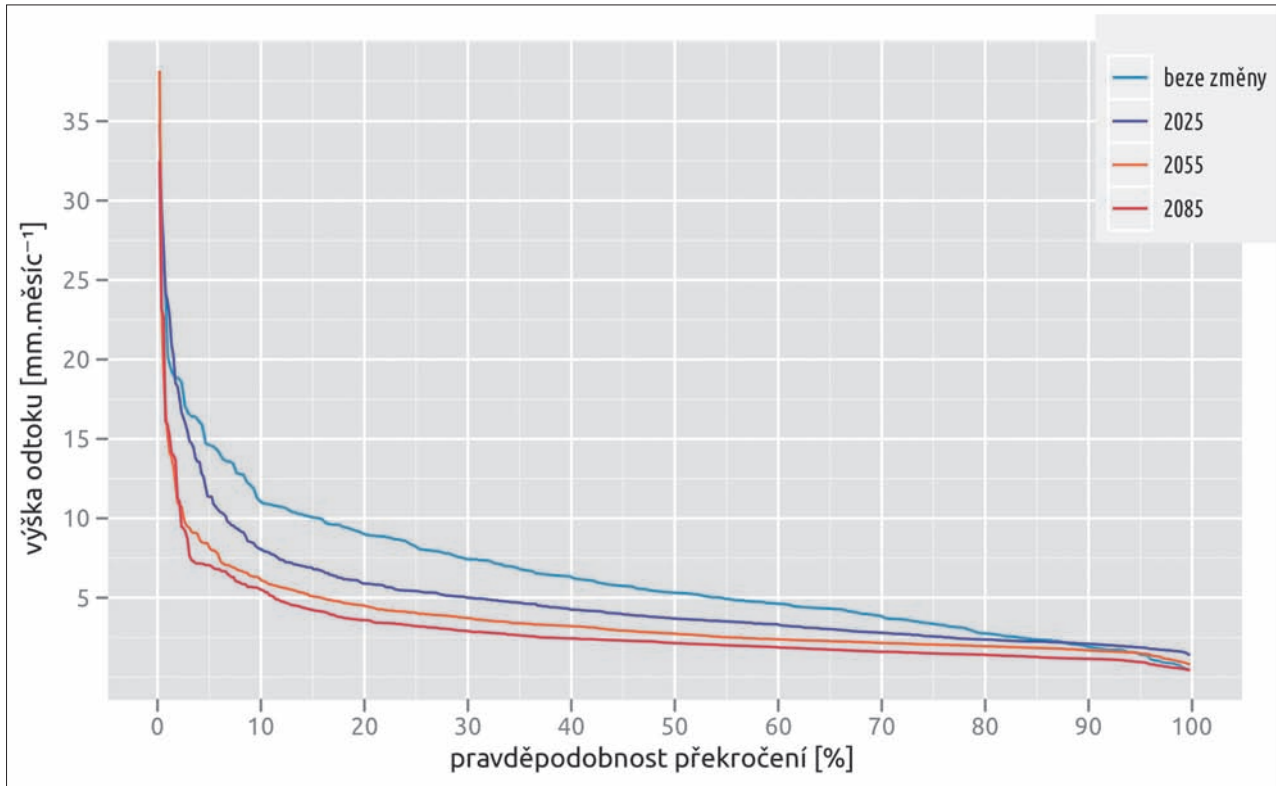
Z provedených modelových výpočtů vyplývá, že i při použití obdobných emisních scénářů mají odhady dopadu na průtokový režim nezanedbatelný rozptyl. Při porovnání poklesu průměrného odtoku vztaženého ke zvýšení teploty vzduchu se ukazuje, že modely, u kterých vychází významnější pokles, jsou bližší dosavadnímu vývoji. Souvisí to zřejmě s tím, že v povodí Rakovnického potoka se srážky v posuzovaném období (do roku 2008) nezvětšovaly, spíše nevýznamně klesaly.

Podstatné také je, že podle modelových výpočtů se při oteplování mění skladba celkového odtoku. Zvětšuje se podíl rychlého přímého odtoku na celkovém odtoku, a to i při nezměněných srážkách. Relativní pokles základního odtoku je jen nevýznamně větší než pokles odtoku celkového.

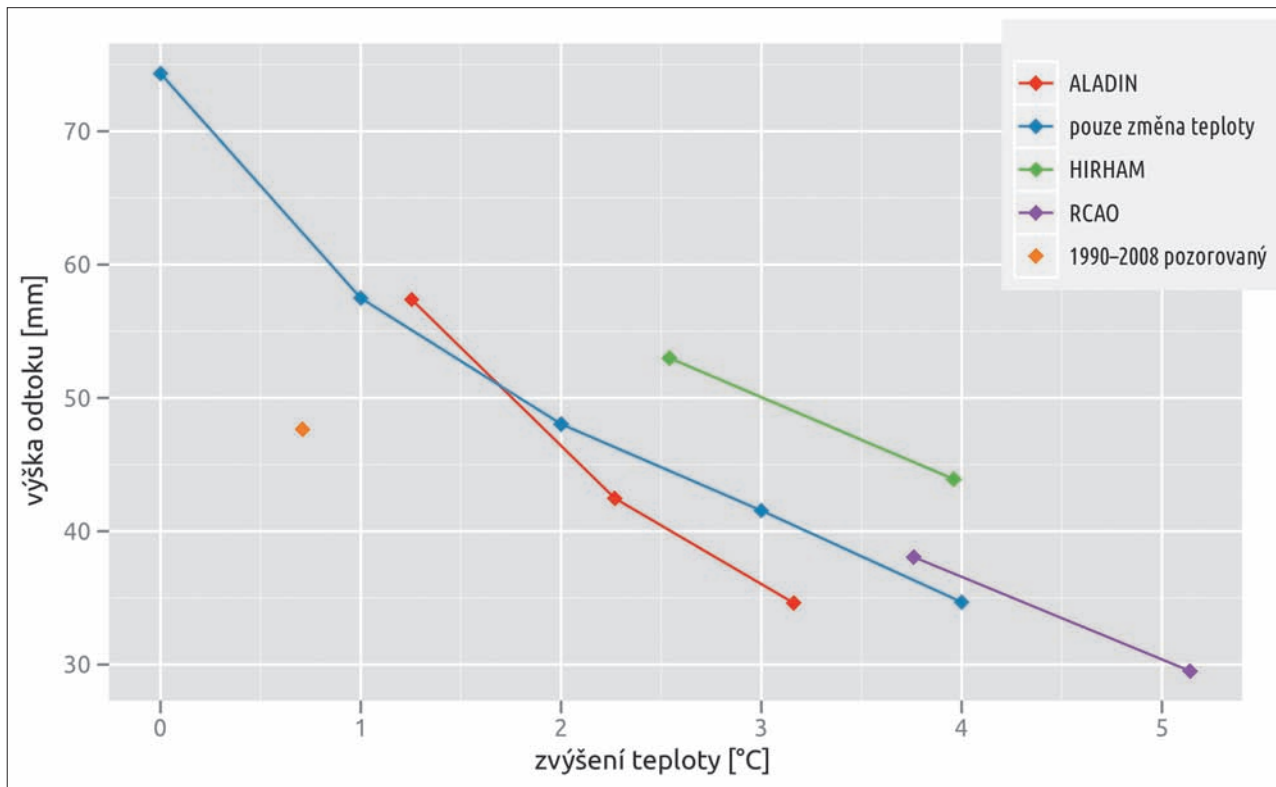
Vzhledem k nejistotám odhadu budoucího vývoje srážek byly pro další výpočty použity výsledky pro předpoklad nezměněných srážek, uvažován byl tedy jen efekt oteplování.



Obr. 94. Čáry překročení měsíčních výšek odtoku pro scénáře z projektu PRUDENCE



Obr. 95. Čáry překročení měsíčních výšek odtoku pro scénáře z projektu ALADIN-CLIMATE/CZ



Obr. 96. Závislost průměrné roční výšky odtoku na zvýšení teploty vzduchu



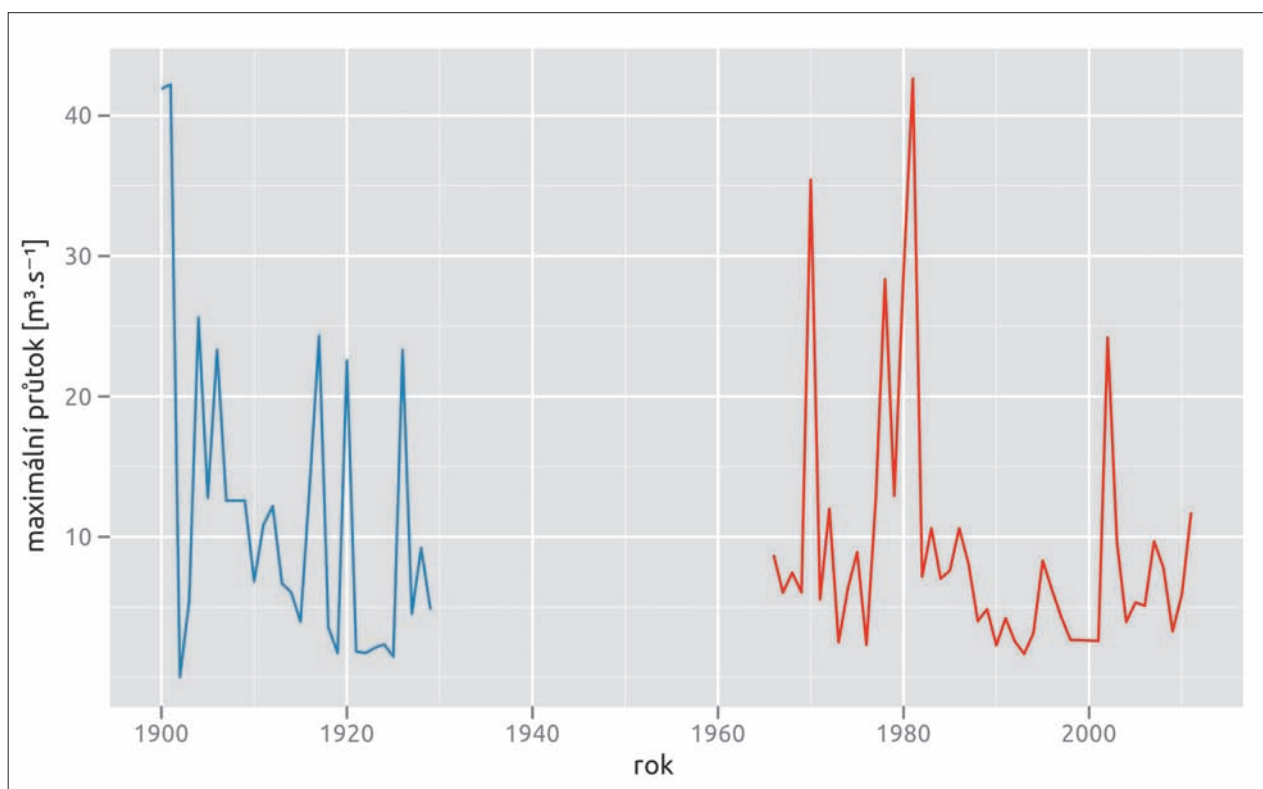
3.5 Režim povodní

3.5.1 Ověření hodnot N-letých průtoků

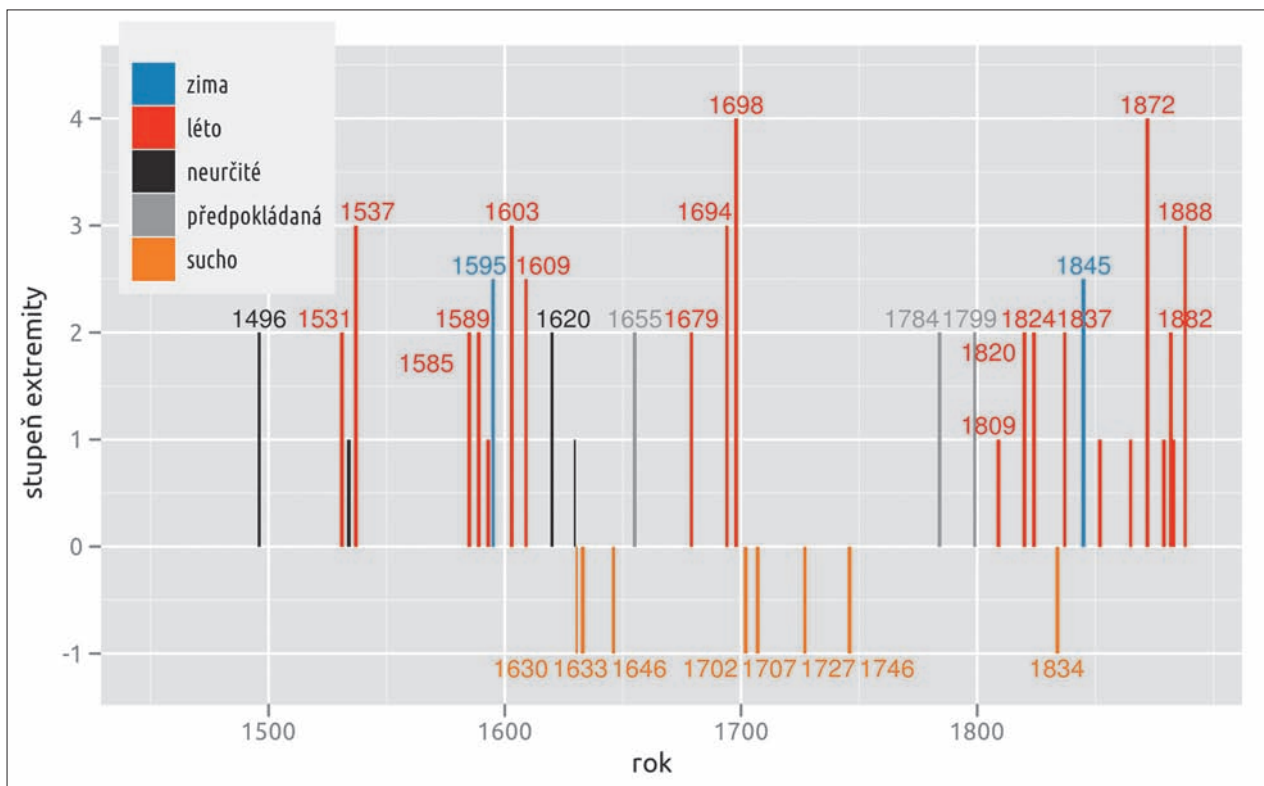
V rámci řešení úkolu byly ve spolupráci s ČHMÚ ověřeny hodnoty N-letých průtoků v povodí Rakovnického potoka. Základem je stanovení N-letých průtoků v profilu vodoměrné stanice Rakovník. V ní je k dispozici vyhodnocená řada ročních maximálních průtoků z období 1966–2011. Dalším zdrojem informací je řada pozorovaných maximálních ročních vodních stavů z období 1899–1929 z bývalé vodoměrné stanice v Křivoklátě. Pro rok 1908 pozorování chybí. Na základě zaměření příčného profilu a sklonu hladiny v místě bývalé vodoměrné stanice a výsledků několika hydro-metrických měření z roku 1913 byla rekonstruována měrná křivka průtoků. Na jejím základě byla vyčíslena řada ročních maximálních průtoků. Vzhledem k poměrům ploch povodí Rakovnického potoka v Křivoklátě a ve vodoměrné stanici Rakovník byly průtoky do Rakovníka přepočteny vynásobením 0,9. Obrázek 97 ukazuje, že charakter kolísání maximálních průtoků v období 1900–1929 a 1966–2011 je obdobný.

Jako další podklad pro odhad N-letých průtoků byly v rámci úkolu shromážděny informace o výskytu historických povodní, především v období před začátkem instrumentálního pozorování. Byly zjištěny nejstarší povodňové případy, srovnány byly nejvýznamnější povodně (vodní stav, škody, oběti, dynamické účinky aj.), jejich typické příčiny a sezonní výskyt. Zvláštní pozornost byla věnována povodni z 26. května 1872. Získané poznatky jsou podrobně uvedeny v samostatné připravované publikaci.

Celkový přehled povodní Rakovnického potoka ukazuje obr. 98, a to s rozlišením zimních, letních a neurčitých případů. Vyznačeny jsou i epizody sucha, které kronikáři zmiňují.



Obr. 97. Pozorované maximální roční průtoky pro stanici Rakovník



Obr. 98. Chronologický přehled povodní a suchých období: extremita 1 (vybřežení), 2 (významné škody), 3 (extrémní povodeň), 4 (mimořádný případ); sucha jsou bez rozlišení vyznačena jako -1

Pro povodeň z roku 1872 byl uvažován průtok $300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a pravděpodobná doba jejího nepřekročení 300 let. Výsledné hodnoty N-letých průtoků odvozené pro profil vodoměrné stanice Rakovník jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37. Hodnoty N-letých průtoků pro vodoměrnou stanici Rakovník

N [let]	1	2	5	10	20	50	100
$Q_N [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$	5,85	11,9	25,1	39,9	59,8	95,4	131

Z přehledu historických povodní a odhadů průtoků Rakovnického potoka za povodeň roku 1872 vyplývá, že za posledních cca 600 let se zde vyskytly dvě extrémní povodně, několikanásobně překračující průtok s dobou opakování 100 let. To svědčí o neobvykle strmém gradientu zvětšování N-letých průtoků s narůstající dobou opakování.

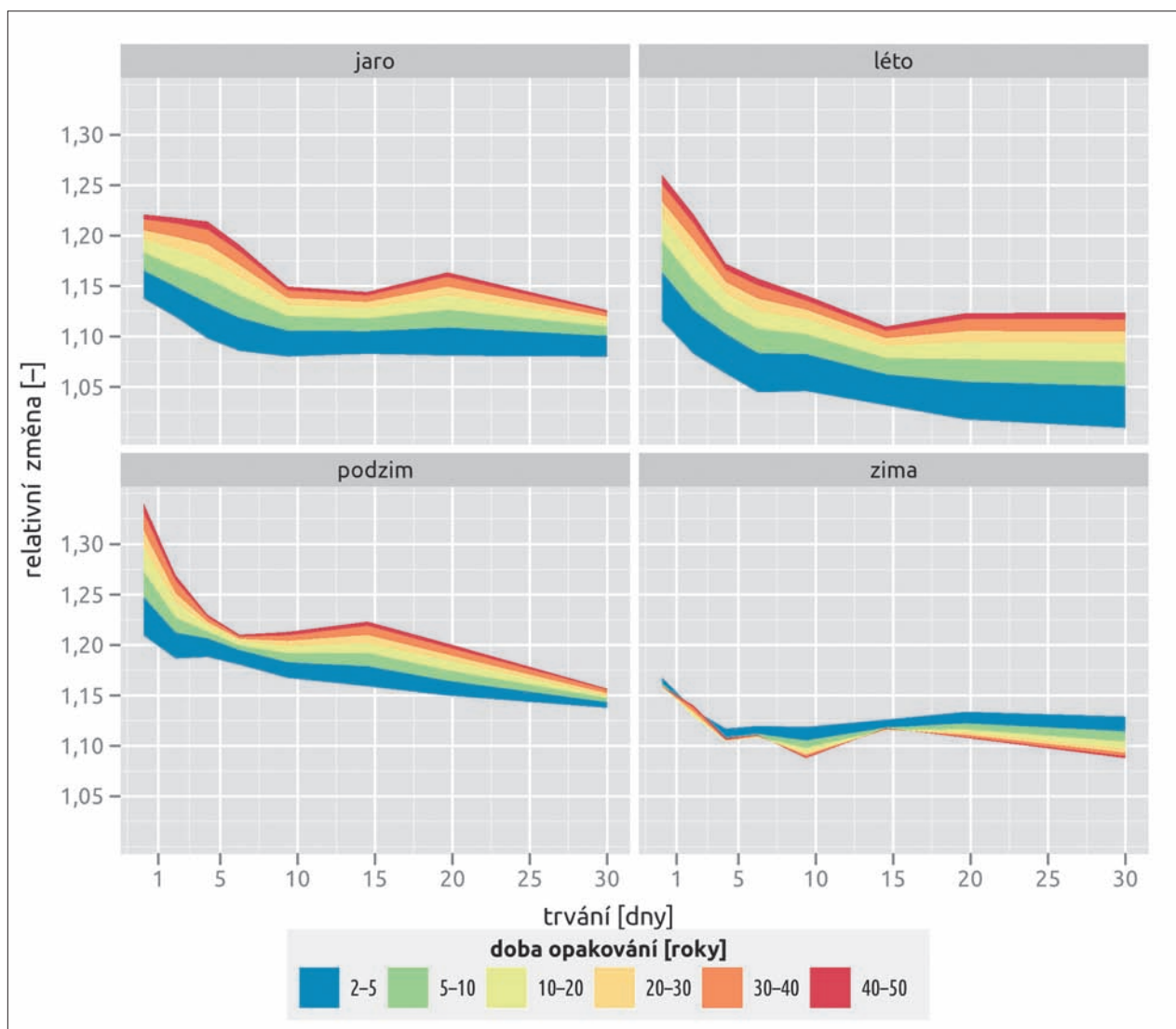
3.5.2 Možné změny extrémních srážek za klimatické změny

Předpokládá se, že případné změny srážek (i ostatních veličin) způsobené změnou klimatu nebudou stejné pro všechny kvantily jejich statistického rozdělení. Pozorované průměrné srážky se na většině povodí Rakovnického potoka podstatně nemění, nicméně lze konstatovat značný úbytek srážek s vysokými úhrny. Lze proto očekávat, že závěry týkající se průměrných změn odtoku nejsou relevantní pro změny ve výskytu a velikosti extrémních povodní. Z toho důvodu byl posouzen vývoj srážkových extrémů podle simulací regionálních klimatických modelů.

Pro posouzení změn srážkových extrémů (např. událostí s dobou opakování 50 a více let) byl aplikován statistický model využívající nestacionární regionální analýzu (Hanel et al., 2009; Hanel a Buishand, 2011), tj. uvažuje se, že změny srážkových extrémů jsou v předem definovaných oblastech konstantní, stejně jako vyšší momenty rozdělení srážek. Následující zhodnocení se týká povodí Rakovnického potoka, nicméně uvedené závěry jsou víceméně platné i pro zbytek území České republiky.

Obrázek 99 zachycuje relativní změny kvantilů srážkových extrémů mezi obdobím 1961–1990 a 2070–2099 pro doby trvání 1 až 30 dní a doby opakování 2 až 50 let. Extrémnější srážky nejsou zobrazeny vzhledem k značné nejistotě odhadů, nicméně vztah mezi relativními změnami a dobou opakování je z obrázku zřejmý. Relativní změny jsou

kladné pro všechny doby trvání a opakování. Změna 50leté jednodenní srážky se pohybuje v rozmezí 17–35 %, s nejvyšším růstem na podzim a nejnižším v zimě. Vícedenní srážkové extrémů rostou pomaleji než denní. Co se týče krátkodobých srážkových extrémů, současná generace regionálních klimatických modelů není schopna poskytnout uspokojivé údaje. Nicméně ze vztahu doby trvání a relativní změny lze usuzovat, že krátkodobé srážkové extrémů porostou minimálně stejně jako denní. Odhady ročních srážkových extrémů pro současnost a budoucí období uvádí *tabulka 38*. Výsledky jsou konzistentní s dalšími studiemi změny srážkových extrémů ve střední Evropě, které používají různé klimatické metody, emisní scénáře i statistické metody.



Obr. 99. Relativní změny srážkových extrémů pro jednotlivá roční období pro oblast, do níž náleží povodí Rakovnického potoka

Přes značné nejistoty spojené s modelováním klimatu je možno konstatovat, že do budoucna je možno s velkou pravděpodobností počítat s růstem intenzity srážkových extrémů, zejména v letním a podzimním období. Rovněž lze očekávat, že mimořádně extrémní srážky, jež byly příčinou povodní uvedených v předchozí kapitole, se mohou vyskytnout i kdykoliv v budoucnosti. Odhad změn jejich frekvence či intenzity však zcela přesahuje možnosti současné generace klimatických modelů.

Tabulka 38. Současné jednodenní srážkové extrémů, jejich změna a výhled k roku 2085

Doba opakování [let]	Současnost [mm]	Relativní změna	Výhled k 2085 [mm]
20	63	1,23	78
50	74	1,25	92
100	82	1,26	103



3.6 Posouzení možností adaptačních opatření pro zlepšení akumulární funkce povodí a zvýšení protipovodňové a protierozní ochrany

3.6.1 Rámcové posouzení opatření různého typu

Shrnutí poznatků o vlivu fyzicko-geografických charakteristik povodí na základní charakteristiky průtoků (Kašpárek, 2007)

Podle poznatků, které vyplývají z výsledků pozorování v experimentálních povodích, a ze statistických analýz výsledků dlouhodobého systematického pozorování prvků hydrologické bilance lze usuzovat, že změnami využití pozemků (pokud vyloučíme drastické zásahy jako trvalé odstranění vegetačního krytu, půdy nebo zřízení nepropustných ploch) prakticky nelze trvale znatelně změnit dlouhodobou průměrnou výšku odtoku z povodí.

Vyrovnanost průtoků závisí především na velikosti povodí, dlouhodobé velikosti odtoku a hydrogeologické charakteristice povodí. Vliv zalesnění, které přispívá k menší rozkolísanosti průtoků, je statistickou analýzou prakticky neprokazatelný.

Rozdílné využití pozemků se projevuje při povodních. U lokálních povodní z krátkodobých intenzivních dešťů má podstatný vliv, který se však zmenšuje u povodní z několikahodinových extrémních dešťů, kdy výška srážky přesáhne významně retenční schopnost půdy. U povodní z extrémních regionálních dešťů je pak vliv využití pozemků řádově slabší v porovnání s významem příčinné srážky. U všech povodní je samozřejmě z hlediska eroze a ochrany půdy příznivější, když je povrch povodí pokryt travou, bušením nebo lesem v porovnání se zemědělskými plodinami.

Podstatné také je, že změny využití pozemků, které vedou ke zvětšení retenční schopnosti krajiny – například zalesněním, jsou sice vhodné z hlediska redukce povodní z krátkodobých přívalových srážek, ale na povodích s menšími průměrnými srážkami se mohou projevit znatelným zmenšením celkového odtoku, a tedy i zmenšením množství vody dostupné pro zásobování.

Hydrologické posouzení možností zvětšení dotace podzemních vod pomocí změn v povodí

Pro zlepšení akumulární schopnosti povodí můžeme využít zásob vody v půdě, zásob podzemní vody a akumulace vody v nádržích.

Zlepšení hydrologického režimu půdy je prospěšné pro vegetační kryt, a to při zemědělském využití půdy i v zalesněných částech povodí. Zvětšením nebo větším využitím akumulární schopnosti půdy se zvětšuje množství vody, která se může vypařit (z vegetace i z půdy) v období bez srážek, takže se zvětšuje celkový územní výpar. Voda, která se z povodí vypaří, se v našich podmínkách jen ve velmi malé míře vrací ve formě srážek na naše území, zvětšení průměrných srážek není znatelné ani v územích s velkými plochami vodní hladiny (viz Tolasz et al., 2007). Zvětšením výparu se při stejné srážce zmenšuje celkový odtok.

Příznivý efekt zatravnění nebo zalesnění povodí se projevuje v případě intenzivních srážek. V porovnání s ornou půdou z těchto ploch odtéká méně vody povrchovým odtokem a více vody se vsákne do půdy. Hlediskem dalšího dělení prosáklé vody na tu, která zvětší zásobu v půdě, na tu, která odečte zejména preferovanými cestami jako hypodermický odtok, a tu, která prosákne do zóny podzemní vody, je v první řadě schopnost půdy tuto vodu pojmout.

Pokud je půda nasycena, voda prosakuje půdou – jedna její část vytváří hypodermický odtok (odečte relativně rychle, protože neprotéká žádnými významnými akumulárními prostory), druhá dotaci zásob podzemní vody. Ta má zásadní význam pro zlepšení odtoku z povodí v období sucha a pro zásobování ze zdrojů podzemní vody.

Akumulace vody v nádržích má v porovnání s využitím zásob podzemní vody tu přednost, že pro doplnění zásoby lze zachytit průtok generovaný z hypodermického odtoku a i část přímého odtoku z intenzivních dešťů.

Při posuzování účinku změny využití pozemků v povodí, jež vede ke zvětšení infiltrace do půdy (nebo obdobných opatření v povodí), je nezbytné posoudit, jaké množství vody můžeme ovlivnit a také jak velké plochy povodí můžeme ovlivnit.



Pro rámcový odhad odpovědi na první otázku lze uvažovat, že efekt zlepšení infiltrační schopnosti povrchu povodí má význam v případě větších intenzivních srážek, které se vyskytují zejména v letních měsících a jejichž výskyt můžeme spojit s denními úhrny alespoň 20 mm, spíše 30 mm a více.

V tabulce 39 je uvedeno pro srážkoměrnou stanici Kounov (leží v severozápadní části povodí Rakovnického potoka s malým dlouhodobým průměrným úhrnem srážek), pro srážkoměrnou stanici Nový Dům (leží poblíž rozvodnice jihovýchodně od posuzovaného povodí, má znatelně větší dlouhodobý průměr ročních srážek) a pro celé povodí Rakovnického potoka, jakým podílem se na celkovém součtu srážek za období 1960–2008 podílejí srážky menší než zvolená mez denního úhrnu srážek. Uvedeny jsou i hodnoty úhrnů srážek větších než zvolená mez v mm, přepočítané pro průměrnou dlouhodobou roční srážku.

Tabulka 39. Procentní podíl srážek s úhrnem větším než zvolená mez na celkovém součtu srážek za období 1960–2008, podíl srážek s úhrnem větším než zvolená mez přepočtený na měřítko průměrného ročního úhrnu

Mezní úhrn srážek [mm]	% z celkové sumy srážek			mm v průměru na 1 rok		
	Kounov	Nový Dům	povodí Rakov. p.	Kounov	Nový Dům	povodí Rakov. p.
10	43	39	36,3	221	227	185
20	18,2	15,2	13,5	92,9	88,6	68,9
30	8	7,5	5,2	41,2	43,5	26,4
40	4,5	4,5	1,9	23,2	18,8	9,8
50	2,4	2,2	1,3	12,3	12,8	6,5

Množství srážek větších než 20 mm.den⁻¹ je 88–93 mm, pro denní úhrn 30 mm již jen 41–44 mm. Odtokové koeficienty povodňového odtoku i z velmi intenzivních a velkých srážek jsou blízké hodnotě 0,3. Za předpokladu, že je pomocí opatření na ploše povodí radikálně zmenšíme na třetinu, dosáhneme zvětšení infiltrace uvedených srážek o 20 %. Pro dělení infiltrace mezi hypodermický odtok a dotaci podzemních vod budeme předpokládat, že větší díl (2/3) připadne na dotaci.

Odhad zvětšení dotace popsáním postupem obsahuje tabulka 40 – vychází ze součtů srážek odpovídajících průměrům ze stanic Kounov a Nový Dům.

Pro mez 20 mm.den⁻¹ je odhad zvětšení dotace 12 mm.rok⁻¹, pro mez 30 mm.den⁻¹ 5,7 mm.rok⁻¹, což jsou hodnoty nezanedbatelné vzhledem k průměrné roční výšce podzemního odtoku cca 40 mm.

Pro výsledný odhad však musíme ještě uvážit, na jak velké části povodí lze jednak teoreticky, ale zejména reálně opatření pro zamezení přímého odtoku uskutečnit. Veškerá orná půda, které by se opatření teoreticky mohla dotknout, zaujímá 58,8 % plochy povodí. V pravé části tabulky 40 jsou uvedena zvětšení dotace podzemní vody v mm za rok a v % průměrného ročního odtoku podzemní vody uvažovaného hodnotou 40 mm. Z hodnot uvedených v tabulce vyplývá, že efekt posuzovaných opatření při reálně odhadnutých možnostech změn užívání zemědělské půdy je velmi malý.

Tabulka 40. Odhad zvětšení dotace podzemních vod

Mezní úhrn srážek [mm.den ⁻¹]	Celkem srážek [mm.rok ⁻¹]	Zvětšení infiltrace (20 % srážek) [mm.rok ⁻¹]	Zvětšení dotace podz. vod z celého povodí (2/3 infiltrace) [mm.rok ⁻¹]	Podíl orné půdy změněné opatřeními [%]					
				100	50	40	30	20	10
20	90	18	12,0	7,1	3,5	2,8	2,1	1,4	0,7
30	43	8,6	5,7	3,4	1,7	1,3	1,0	0,7	0,3
				zvětšení dotace podz. vod [mm.rok ⁻¹]					
				zvětšení dotace podz. vod [% z průměrné výšky podzemního odtoku 40 mm.rok ⁻¹]					
20				17,6	8,8	7,1	5,3	3,5	1,8
30				8,4	4,2	3,4	2,5	1,7	0,8



Když uvážíme, že pokles celkového odtoku z povodí i odtoku podzemní vody vlivem již nastalých změn klimatu je několik desítek procent, je zřejmé, že posuzovanými změnami v povodí jej nelze kompenzovat.

Změny užívání pozemků a další opatření v povodí zmenšující povrchový odtok by se měly používat, důvody pro ně však spočívají ve zmenšení eroze a zmenšení kulminačních průtoků zejména krátkodobých povodní, nikoliv ve zvětšení dotace podzemní vody, resp. zvětšení průtoků v období hydrologického sucha.

3.6.2 Návrh a ověření protierozních a agrotechnických opatření

Na povodí Rakovnického potoka byla posouzena a tam, kde je to efektivní, navržena opatření ke zvýšení vsakovací schopnosti povodí a k ochraně půdy proti erozi. Definováno bylo několik scénářů, jejichž efektivita byla vyhodnocena.

Pro účely modelování současného stavu a k posouzení účinnosti opatření organizačního a agrotechnického charakteru byly zjištěny fyzicko-geografické charakteristiky povodí, které byly využity také při výpočtu hydrologických návrhových dat pro povodí pro navrhované vodní nádrže. Byl sestaven hydrologický model, který by měl reprezentovat chování posuzovaného povodí. Změnami ve vstupních veličinách a ve fyzicko-geografických charakteristikách, které jsou definovány modelovými scénáři reprezentujícími navrhovaná protierozní a agrotechnická opatření, je následně možné modelovat změnu odtokové odezvy z povodí.

Hydrologický model byl sestaven v programu HEC-HMS (Scharffenberg a Fleming, 2010), který umožňuje modelovací techniky jak pro účely stanovení velikosti přímého odtoku a základního odtoku, tak pro řešení transformační odezvy povodí na průběh příčinných srážek. Těchto technik bylo využito pro modelování maximální odtokové odezvy vyvolané teoretickou srážkovou událostí dané průměrné doby opakování, která dále vstupovala do výpočtu transformací navrhovanými malými vodními nádržemi. Pro sestavení geografického modelu a stanovení některých fyzicko-geografických charakteristik byla použita nadstavba HEC-GeoHMS, využívající v prostředí ArcGIS extenzi ArcHydro.

Výpočet teoretických návrhových povodňových vln pro současný stav povodí

Povodí Rakovnického potoka bylo pro účely modelování rozděleno na 31 dílčích povodí. Uzávěrovými profily dílčích povodí byly soutoky vodotečí, popř. zájmové profily, pro které bylo potřeba realizovat simulace (např. hráze navrhovaných nádrží). Porovnávány byly zejména hodnoty ze tří větších celků – povodí Kolečovického potoka (52,8 km²), povodí Lišanského potoka (129 km²) a celkového zájmového povodí Rakovnického potoka (302 km²).

Povodí Kolečovického potoka je z hlediska využití území převážně zemědělského charakteru, v povodí Lišanského potoka se kromě zemědělsky využívaných ploch vyskytuje také vysoké zastoupení lesů. Dílčí povodí Rakovnického potoka je využíváno rozmanitěji, své podstatné zastoupení zde mají louky, orná půda, lesní porosty, ale i urbanizované území.

Popis použitých metod srážko-odtokového modelování

Stanovení přímého odtoku – metoda CN křivek

Metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number) je použitelná pro stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodích či jejich částech s velikostí do 10 km² (Janeček et al., 2005). Odtok vody je obecně ovlivněn množstvím srážek, infiltrací vody do půdy, vlhkostí půdy, druhem vegetačního pokryvu, nepropustnými plochami a retencí povrchu.

Základním vstupem metody odtokových křivek je srážkový úhrn návrhového deště zvolené doby opakování za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení na ploše povodí. Podíl přímého odtoku (který zahrnuje odtok povrchový a hypodermický) na celkovém odtoku (tj. na výšce srážek) se stanovuje pomocí tzv. čísel odtokových křivek – CN. Čím větší hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že se jedná o povrchový odtok. Jejich hodnoty jsou závislé na hyd-



rologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci (Janeček et al., 2005).

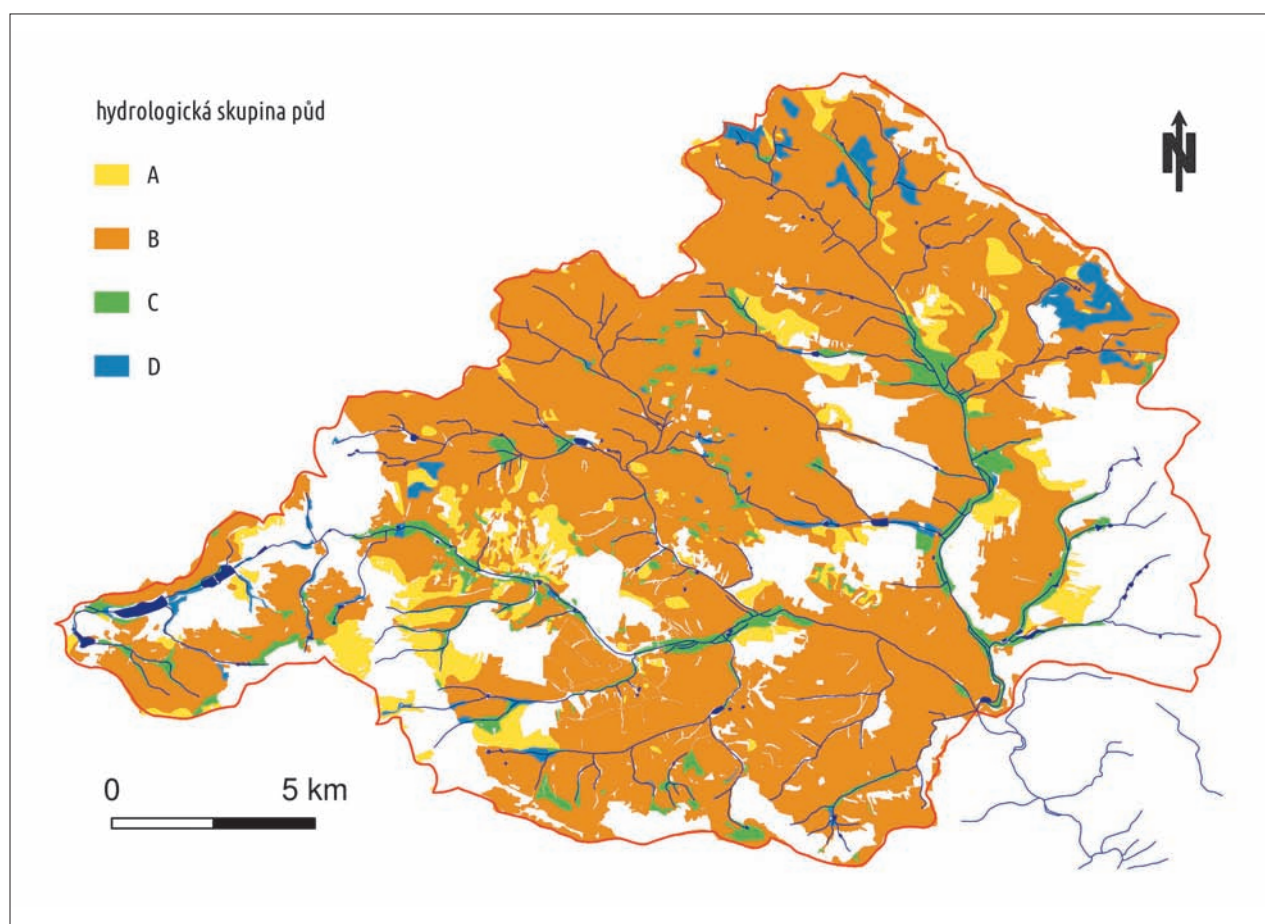
U srážko-odtokové události se pro daný čas předpokládá, že poměr mezi aktuální a maximální potenciální velikostí ztrát na povodí je stejný jako poměr mezi objemem odtoku a objemem srážky redukováným o počáteční ztrátu. Maximální potenciální ztráta na povodí je vypočtena pomocí čísla CN křivky. Počáteční ztrátu je možné uvažovat jako pětinu ztráty maximální.

Čísla odtokových křivek (CN) jsou určena podle:

a) hydrologických vlastností půd rozdělených do čtyř skupin na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém sycení (A – nejvyšší rychlost infiltrace, D – nejnižší) – hydrologické skupiny půd v povodí Rakovnického potoka jsou patrné z obr. 100,

b) vlhkosti půdy na počátku události určované na základě 5denního úhrnu předcházejících srážek, resp. indexu předchozích srážek (IPS) ve třech stupních – pro návrhové účely, tedy i v případě modelování kulminačních průtoků, je uvažována střední IPS II,

c) využití půdy, charakteristik vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření.



Obr. 100. Hydrologické skupiny půd v povodí Rakovnického potoka podle VÚMOP

Transformace přímého odtoku – metoda jednotkového hydrogramu

Transformace přímého odtoku určuje tvar vlny, a tím i velikost kulminačního průtoku. Jako transformační funkce povodí byl použit jednotkový hydrogram. Jednotkový hydrogram je hypotetická odezva povodí (přímý odtok) na jednotkový efektivní déšť konstantní intenzity pokrývající rovnoměrně plochu povodí. Pro jednotkový hydrogram platí, že doba odtokové odezvy se nemění s intenzitou srážek, velikost odtoku nezávisí na době výskytu srážek a je přímo úměrná příčinným srážkám.



Použit byl jednotkový hydrogram podle Clarka, jehož parametry jsou doba koncentrace povodí T_c a transformační faktor R , simulující dobu zadržetí vody v povodí.

Pro odhad hodnoty T_c byl použit vzorec navržený Soil Conservation Service, který vyžaduje charakteristiky povodí (délka hlavního toku, potenciální maximální retence z čísla CN, průměrný sklon povodí). Pro určení faktoru R byl použit vzorec využívající délku hlavního toku a sklon údolnice.

Příčinné srážky v podobě návrhového hyetogramu

Tvar povodňové vlny závisí zejména na časovém průběhu srážek. Významné je zejména určení délky trvání a hodinových intenzit rozhodující (extrémní) fáze hyetogramu, která má největší vliv na velikost kulminačního průtoku.

Použita byla metoda založená na zpracování radarových dat a rozdělení území ČR do charakteristických oblastí. Ta spočívá v rozdělení ČR do tří (resp. čtyř) oblastí s charakteristickými hyetogramy extrémních srážek, a to na základě hodnot denních stoletých srážkových úhrnů (Kulasová et al., 2004).

Postup povodňové vlny korytem – metoda Muskingum Cunge

Za situace, kdy je hydrologický model sestaven z více prvků reprezentujících povodí, vznikají v modelu prvky představující říční úseky. V těchto úsecích byl postup vlny po toku simulován metodou Muskingum Cunge, která aproximuje kombinace rovnice kontinuity a difuzní formy momentové rovnice. Jejimi vstupními parametry jsou délka říčního úseku, sklon úseku, Manningův součinitel drsnosti a reprezentativní příčný profil koryta.

Sklon a délku říčního úseku lze zjistit z rozboru fyzicko-geografických charakteristik, Manningův součinitel drsnosti lze odhadnout podle popisu koryta s uvážením spíše vyšších hodnot. Příčný profil koryta je možné zaměřit v terénu.

Aplikace metod srážko-odtokového modelování

Hodnota CN křivky byla určena z údajů o hydrologické skupině půd (HSP) a krajinného pokryvu (výsledek na obr. 101). Hydrologické skupiny půd poskytl pro zemědělské půdy Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP), pro lesní půdy byly odhadnuty s ohledem na pedologické poměry území. Údaje o krajinném pokryvu byly použity z databáze CORINE2000 (Bossard et al., 2000), hodnoty CN pro jednotlivé pokryvy vycházely ze studie Kulasové et al. (2004), sníženy byly hodnoty pro lesní porosty a upraveny hodnoty pro zemědělské oblasti s přirozenou vegetací podle Janečka et al. (2005).

Stanoven byl také podíl nepropustných ploch v dílčích povodích, a to pomocí rastru hodnot procentuálního zastoupení zpevněných ploch vycházejícího z datové sady ZABAGED.

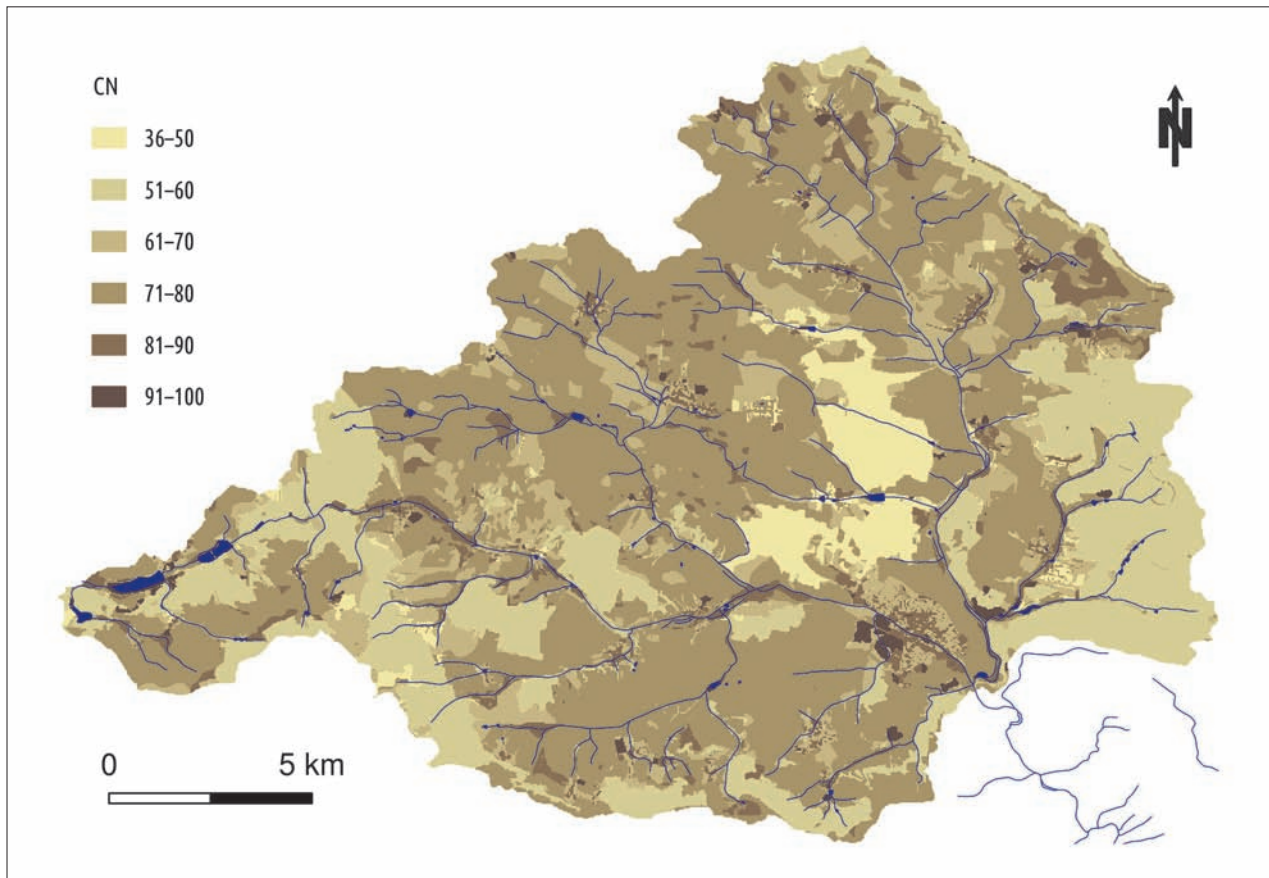
Parametr T_c – doba koncentrace byl odhadnut pomocí nástroje v prostředí ArcGIS, který vyžaduje průměrné hodnoty čísel CN křivek pro jednotlivá subpovodí a jejich průměrnou sklonitost. Pro odhad transformačního faktoru byla odvozena také maximální délka toku a sklon mezi 10 a 85 % maximální délky údolnice.

Příčinné srážky jsou v případě modelování maximálních průtoků v povodí Rakovnického potoka zadávány jako návrhové hyetogramy o dané době opakování N v době trvání 8 h, které odpovídají přívalem srážce, která vyvolá povodňovou vlnu letního typu (obr. 102).

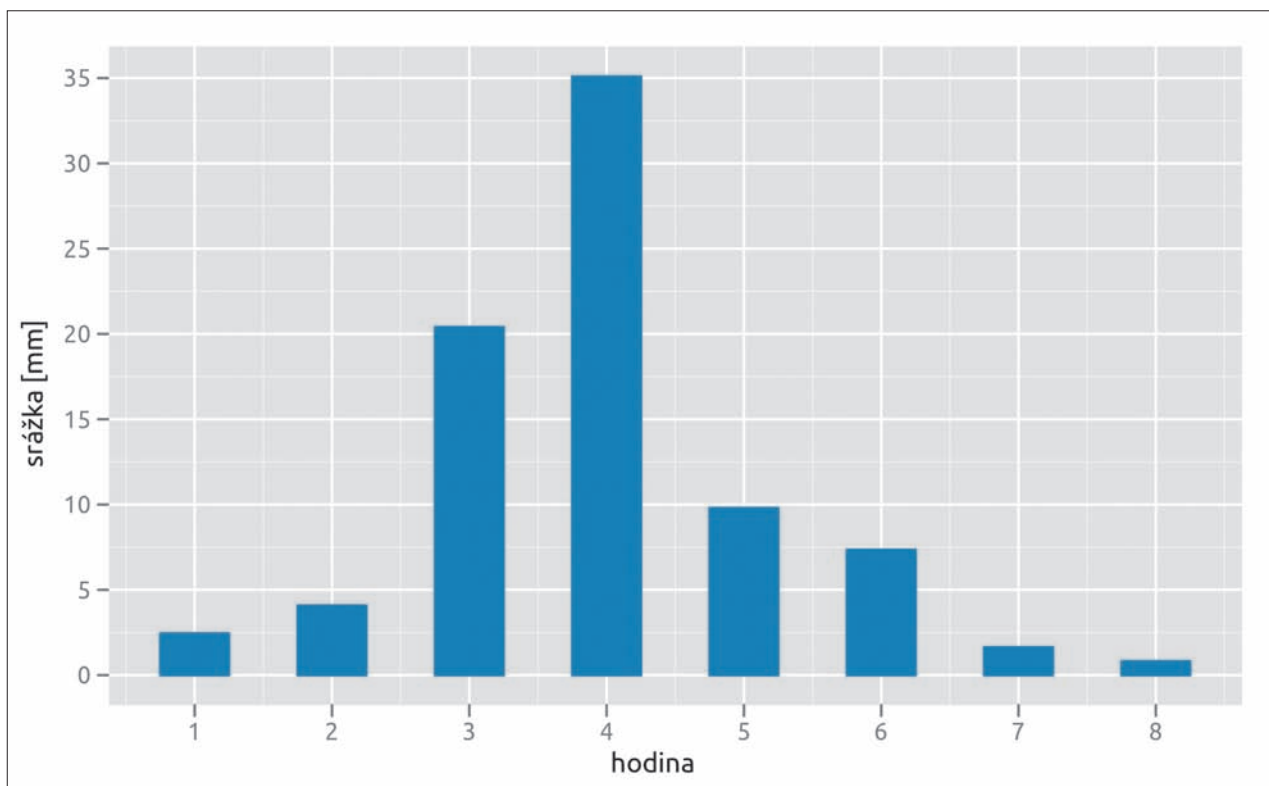
Velikost návrhové srážky byla odvozena z maximálních jednodenních srážkových úhrnů s dobou opakování 20, 50 a 100 let podle tabulek Šamaj – Valoviče – Brázdila (Šamaj et al., 1985). Využito bylo celkem devět stanic v zájmovém území povodí Rakovnického potoka či v jeho bezprostřední blízkosti. Vzhledem k nerovnoměrnému rozložení těchto jednodenních maxim na povodí byla provedena plošná interpolace metodou vážené inverzní vzdálenosti (IDW). Následně byla odvozena hodnota maximálního jednodenního srážkového úhrnu pro jednotlivá subpovodí.

Pro model proudění vody korytem byly délka říčního úseku a jeho sklon zjištěny v prostředí ArcGIS, reprezentativní příčný profil koryta pro každý z úseků byl získán terénním šetřením, na jehož základě byly odvozeny také Manningovy součinitele drsnosti.





Obr. 101. Vytvořená mapa hodnot čísel CN

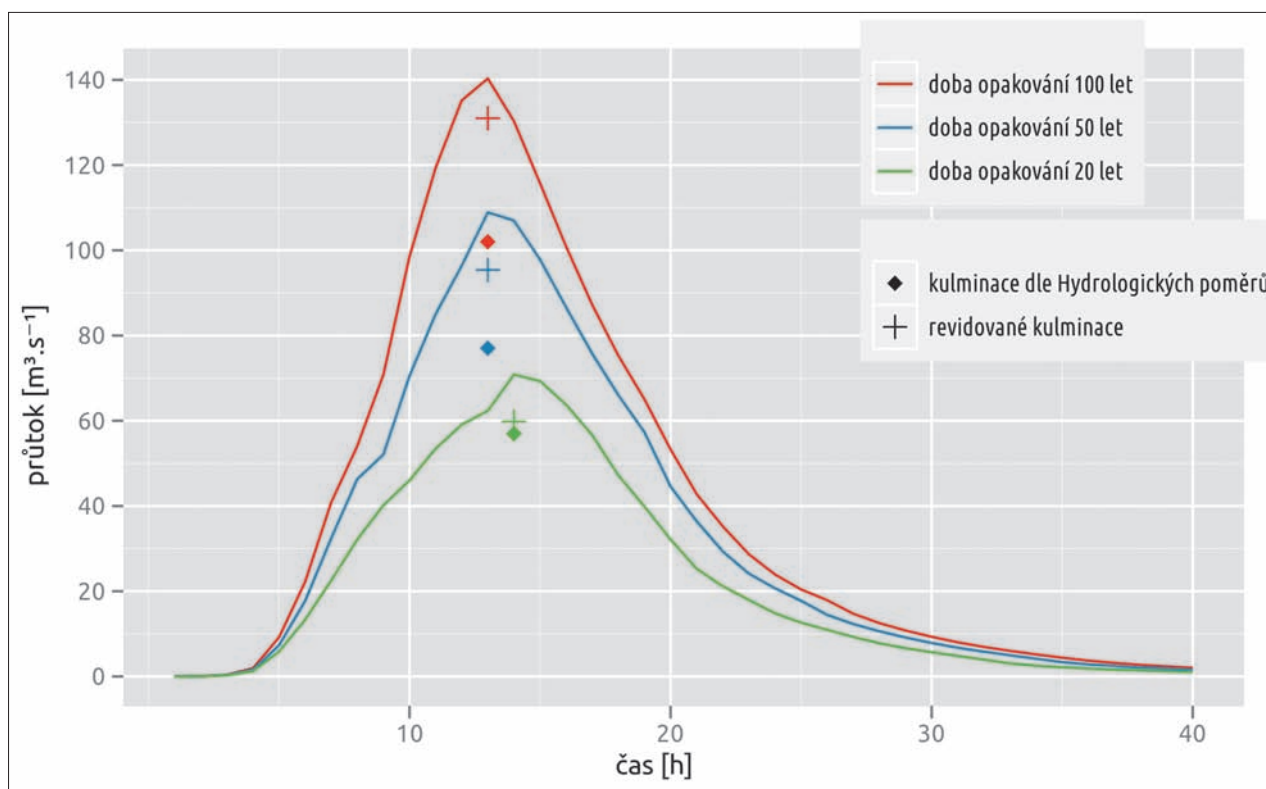


Obr. 102. Návrhový hyetogram odvozený pro povodí Rakovníkého potoka o velikosti cca 300 km² reprezentující srážku s dobou opakování N = 100 let

Výsledky

Simulovány byly teoretické povodňové vlny vyvolané hypotetickou srážkovou událostí s dobou opakování 20, 50 a 100 let. Ty byly následně porovnány s návrhovými průtoky v publikaci Hydrologické poměry III (HMÚ, 1970, viz *tabulku 10* v kapitole 3.1.6) a s revidovanými návrhovými průtoky (viz *tabulku 37* v kapitole 3.5.1). Na *obr. 103* jsou prezentovány výsledky z celého povodí Rakovnického potoka.

Podobně byly vymodelovány i teoretické povodňové vlny k hrázím navrhovaných vodních nádrží v hodinovém kroku, které byly použity pro výpočet transformací povodňové vlny.



Obr. 103. Teoretické návrhové hydrogramy z uzávěrového profilu povodí Rakovnického potoka vyvolané návrhovými hyetogramy s dobou opakování 20, 50 a 100 let porovnané s návrhovými průtoky podle Hydrologických poměrů III a s revidovanými návrhovými průtoky

Diskuse

Přes veškerá omezení a zjednodušující předpoklady modelu bylo v rámci modelování maximální odtokové odezvy z povodí za současného využití dosaženo uspokojivých výsledků. Nejpřesnější odhady kulminačních průtoků byly získány z povodí Kolečovického potoka (zřejmě kvůli zemědělskému charakteru povodí), dobrých výsledků je dosaženo i na povodí Lišanského potoka. Největší odchylka v porovnání s Hydrologickými poměry byla pro celé povodí Rakovnického potoka, při srovnání s revidovanými návrhovými hodnotami je však nadhodnocení znatelně menší. Nadhodnocení kulminací generovaných povodňových vln mohou také spočívat v odlišném využití území než u předchozích povodí (více urbanizovaných ploch).

Model současného stavu však není primárně určen ke zpřesnění N-letých povodňových vln, ale k posouzení teoretických povodňových vln způsobených návrhovými N-letými dešti a jejich změn po realizaci navrhovaných scénářů.

Výpočet teoretických návrhových povodňových vln po změnách v povodí

Posouzena byla opatření, která snižují možnosti tvorby povrchového odtoku (rychlé složky) z povodí, a přispívají tak k protipovodňové a protierozní ochraně. V počáteční fázi tvorby odtoku se tedy především jedná o zvýšení infiltračních schopností krajiny, popřípadě také o zvýšení drsnosti povrchu terénu, které zpomalí odtok ze svahu a zvýší počet akumuláčních prostor (povrchových mikrodepresí) na povrchu území.

Metodika (scénáře)

Posuzována byla zejména opatření organizačního a agrotechnického charakteru. Opatření organizačního charakteru vyjadřují režim hospodaření na zemědělských pozemcích a vzájemné uspořádání jednotlivých pozemků. Agrotechnická opatření řeší možné způsoby obdělávání zemědělských pozemků, především tzv. ochranné obdělávání. Tyto metody zahrnují agrotechnické postupy, při kterých je kladen důraz na pokrytí povrchu půdy organickou hmotou, a to posklizňovými zbytky, mulčem nebo předplodinou.

Připraveno bylo osm více či méně reálných scénářů, které reprezentují změny ve využití v povodí. Modelováním pro tyto scénáře byl odhadnut jejich vliv na kulminační průtok a objem odtoku vody z povodí. Přehled charakteristik navržených opatření pro jednotlivé scénáře uvádí *tabulka 41*.

Tabulka 41. Charakteristiky navrhovaných opatření v rámci scénářů

Scénář	1	2	3	4	5	6	7	8
výměra navrhovaných opatření [ha]	3 010,0	15 183,5	15 183,5	15 183,5	15 183,5	1 128,5	1 304,1	2 365,7
celková výměra ZPF v povodí [ha]	16 937,8	16 937,8	16 937,8	16 937,8	16 937,8	16 937,8	16 937,8	16 937,8
celková výměra povodí [ha]	30 229,2	30 229,2	30 229,2	30 229,2	30 229,2	30 229,2	30 229,2	30 229,2
podíl plochy navrhovaných opatření ze ZPF [%]	18	90	90	90	90	7	8	14
podíl plochy navrhovaných opatření z plochy povodí [%]	10	50	50	50	50	4	4	8

Scénář 1

Scénář 1 reprezentuje zatravnění všech pozemků zemědělského půdního fondu (ZPF), jejichž sklonitost je větší než 4 %, nebo pozemků se špatnými hydrologickými vlastnostmi (hydrologická skupina půd D). Jde spíše o hypotetický scénář, který se nezakládá na reálných možnostech v povodí. Přesto jsou výsledky důležité pro posouzení vlivu na celkovou odtokovou odezvu z povodí s využitím opatření podobného charakteru. Zatravněním by mělo být dosaženo zvýšení drsnosti povrchu terénu a zpomalení odtoku ze svahu a také zvýšení infiltračních schopností na pozorovaných plochách.

Scénáře 2 a 3

Opatření agrotechnického charakteru podle scénářů 2 a 3 navrhuje orbu po vrstevnicích včetně aplikace posklizňových zbytků a realizaci průlehů, resp. orbu po vrstevnicích a aplikaci posklizňových zbytků. Vzhledem k tomu, že jsou zmíněná opatření aplikována na celou ornou půdu, která tvoří přibližně 90 % zemědělského půdního fondu v území a 50 % celkové plochy povodí, není možné opatření plně realizovat. Nicméně výsledky mohou pomoci k vytipování vhodných ploch a jejich rozsahu při plánované realizaci opatření podobného charakteru.

Scénáře 4 a 5

Pro zjištění celkového maximálního potenciálu území k zadržení povodňových odtoků slouží extrémní scénáře 4 a 5. Navrhují zatravnění, resp. zalesnění kompletní rozlohy orné půdy. Jedná se o hypotetické scénáře, které nebudou nikdy v takové míře realizovány. V praxi je možná realizace o rozsahu pouze několika setin v porovnání s těmito maximalistickými scénáři.

Scénář 6

V rámci scénáře 6 je navrženo zatravnění orné půdy s horšími hydrologickými vlastnostmi (hydrologické skupiny půd C a D). Zatravněním by mělo dojít ke zlepšení akumulačních a infiltračních schopností na těchto plochách. Jde o jeden z reálných scénářů, jehož účelem bylo demonstrovat skutečné možnosti v povodí.

Scénář 7

Scénář 7 vychází ze skutečných potřeb v území. Navrhuje zatravnění některých pozemků, jež jsou součástí nivy Rakovnického potoka, a také zatravnění na hranicích intravilánu sídla Rakovník. Jde o eliminaci vysokého odtoku z urbanizovaných území a obnovení přirozenosti vodních toků. Zatravnění inundací zlepšuje retenci a transformaci povodňových stavů.

Scénář 8

Scénář 8 vznikl na základě konzultace s místními zemědělci. Jde o změnu využití zemědělské orné půdy na trvalý travní porost na vodohospodářsky nevhodných půdách, tj. vysychavých půdách podle VÚMOP, půdách s hydrologicky špatnými vlastnostmi (hydrologické skupiny půd C a D) a půdách se sklonem nad 9 %. Po konzultaci s místními zemědělci byly tyto plochy redukovány a byly z nich vyjmuty půdy podél vodních toků, jejichž špatné hydrologické vlastnosti jsou vzhledem k jejich pórovitosti kompenzovány dotací z podzemní vody kapilárním vztlínáním, a tudíž jsou dostatečně vlhké pro efektivní hospodaření.

Výsledky a diskuse

Výsledky jsou pro jednotlivé scénáře pro celé povodí a pro povodí Kolečovického a Lišanského potoka shrnuty v *tabulce 42*, ve které jsou uvedeny změny průměrných hodnot CN, změny v kulminaci stoleté povodňové vlny a změny v objemu odtoku pro dílčí povodí.

Tabulka 42. Porovnání modelovaných parametrů před a po realizaci opatření ze scénářů

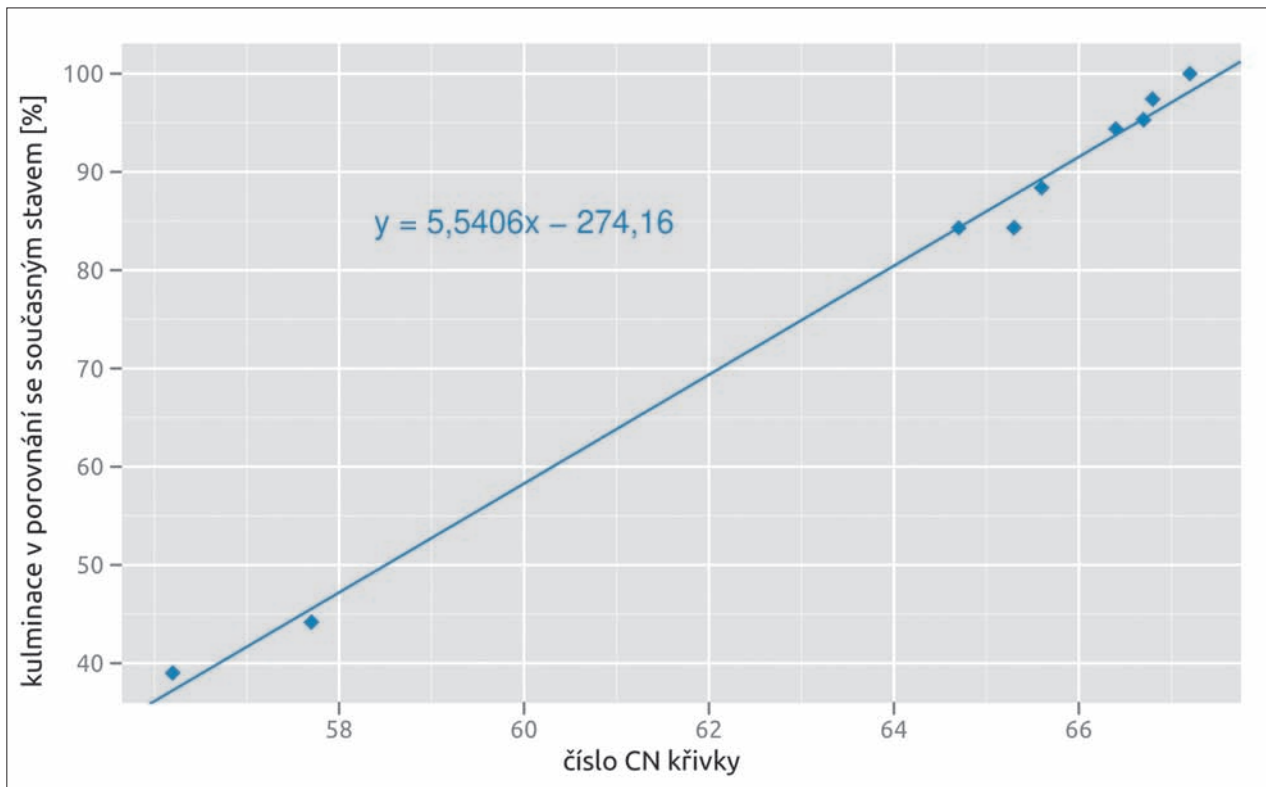
Změny v	Změna v [%] pro scénář	1	2	3	4	5	6	7	8
číslech CN	Kolečovický potok	-0,84	-4,49	-1,33	-16,89	-19,85	-0,54	-0,03	-1,90
	Lišanský potok	-3,10	-3,64	-1,29	-14,05	-16,09	-0,55	-0,43	-2,97
	Rakovnický potok – celé povodí	-2,49	-3,71	-1,25	-14,21	-16,39	-0,61	-0,78	-2,79
kulminaci hypotetické stoleté povodňové vlny	Kolečovický potok	-0,63	-16,14	-4,75	-55,38	-62,97	-2,22	-1,58	-14,30
	Lišanský potok	-15,67	-17,35	-6,34	-57,84	-62,13	-2,99	-3,36	-13,86
	Rakovnický potok – celé povodí	-11,62	-15,69	-5,60	-55,81	-60,99	-2,59	-4,69	-15,68
objemu odtoku hypotetické stoleté povodňové vlny	Kolečovický potok	-0,60	-16,25	-3,88	-52,36	-61,31	-1,64	-1,36	-13,96
	Lišanský potok	-13,80	-15,87	-6,17	-51,40	-57,06	-2,57	-3,21	-11,28
	Rakovnický potok – celé povodí	-9,75	-14,56	-4,97	-47,79	-55,40	-2,39	-5,38	-14,02

Výsledky potvrdily, že se rozdílné využití pozemků při povodních projevuje zejména u lokálních povodní z krátkodobých intenzivních dešťů. Vliv využití pozemků se zmenšuje u povodní z několikahodinových extrémních dešťů, kdy výška srážky přesáhne významně retenční schopnost půdy.

Výsledky dále ukazují, že u všech povodní je z hlediska eroze a ochrany půdy samozřejmě příznivější, když je povrch povodí pokryt travou, buřením nebo lesem v porovnání se zemědělskými plodinami.

Simulace jednotlivých scénářů vypovídají o skutečné síle posuzovaných opatření. Lze obecně říci, že pro snížení kulminace povodňové vlny o 10 % je potřeba snížit průměrnou hodnotu čísla CN křivky pro celé povodí o 2–3. Přibližně takovou změnu reprezentuje posuzovaný scénář 1, který navrhuje zatravnění cca 10 % plochy povodí. Reálné snížení kulminace N-leté povodňové vlny tak lze hledat v rozmezí 3–5 %, což potvrzují i výsledky ze scénáře 7, který vyjadřuje jedno z možných opatření v povodí.

Naopak maximální potenciál území znázorňují výsledky ze scénářů 4 a 5, ze kterých vyplývá, že zalesněním, resp. zatravněním celého území je možné dosáhnout téměř 50–60% redukce objemu odtoku z povodí.



Obr. 104. Změna kulminace povodňové vlny v závislosti na změně hodnoty odtokové křivky CN pro celé povodí Rakovnického potoka

Graf na obr. 104 ukazuje závislost změny v kulminaci na změně čísla odtokové křivky CN pro celé zájmové povodí.

Dosažené výsledky také slouží k porovnání účinnosti organizačních a agrotechnických opatření s účinnostmi, které mají technická opatření jako malé vodní nádrže.

3.6.3 Návrh a posouzení akumulačních nádrží

Vyhledání vhodných lokalit pro nové nádrže

Na základě digitálního modelu zájmového území byly vytipovány lokality potenciálně vhodné pro zřízení nových vodních nádrží. Použita byla data ZABAGED – vrstevnice, silnice, zástavba, les, železnice, vodní toky, rastrový digitální model terénu a rastrový ortofotosnímek.

Kritéria výběru byla následující:

- morfologie terénu – údolí tvarově vhodné pro vybudování nádrže (úzké údolí, které se proti směru toku rozšiřuje),
- využití území – v uvažovaných zátopách není zástavba, souvislý les, silnice nebo železnice (s výjimkou osamělých budov, okrajů lesa a remízů),
- hydrologické podmínky – posouzení z hlediska velikostí průtoků.

Na kombinaci vrstev ortofotosnímku, vrstevnic a vodních toků byly ručně prověřeny všechny vodní toky. Na těch byly hledány profily morfologicky vhodné pro vybudování vodní nádrže s délkou hráze do cca 350 m a zatopenou plochou nad cca 10 ha.

Uskutečněním rozsáhlých hydrometrických měření (viz kapitolu 3.3.1) byla získána základní představa o velikosti průtoků v základní říční síti v povodí Rakovnického potoka.

Na základě morfologie terénu, průzkumu lokalit zrušených rybníků a průzkumu hydrologických poměrů bylo vybráno několik lokalit, ve kterých přichází do úvahy zřídit malé vodní nádrže, které by mohly zlepšovat průtoky

Rakovnického potoka a některých jeho přítoků. Lokality byly vybrány tak, aby nedocházelo ke střetu se zástavbou. Nebyly posuzovány jiné možné komplikace nebo důvody zabraňující využití lokalit jako výskyt chráněných krajinných oblastí, ochranných pásem a jiných překážek v budování vodních nádrží (např. majetkoprávní poměry, meliorace, stávající chmelnice atd.). Pro každou lokalitu byla zvolena velikost zásobního objemu, omezená maximálním objemem daným nejen morfologií, ale také velikostí průtoků.

V březnu 2010 byl zpracován návrh lokalit malých vodních nádrží, se kterým byli seznámeni zástupci státního podniku Povodí Vltavy, Zemědělské vodohospodářské správy Rakovník, Okresní agrární komory Rakovník a Odboru životního prostředí Městského úřadu Rakovník. Podle námětu z projednání byl návrh rozšířen o lokalitu na Kolečovickém potoce nad křížením se silnicí Senomat–Rakovník.

Následující výběr osmi lokalit odpovídá uvedenému materiálu. Nádrže jsou uvažovány na Rakovnickém potoce i jeho hlavních přítocích tak, aby bylo možné ovlivňovat odtok z podstatné části celého povodí. Rozmístění nádrží v povodí je na obr. 105. Označení nádrží na obrázcích koresponduje s prvním sloupcem tabulky 43. Zobrazení zátopy pro jednotlivé lokality jsou na obr. 106–111. Zákresy zatopené plochy odpovídají největším hodnotám uvažovaných objemů. Pokud navrhovaný objem bude menší, zmenší se i rozsah zátopy.

Součet maximálních, morfologicky omezených objemů všech nádrží je cca 6 mil. m³. Pro akumulaci a nalepšování průtoků by bylo z tohoto objemu možné využít jen část, nádrže by měly mít i objem stálého nadržení, do úvahy přichází i možnost využití části celkového objemu pro ochranu před povodněmi.

V tabulce 43 jsou uvedeny základní parametry nádrží: plocha povodí, Q_{a88-08} tj. průměrný roční průtok v období 1988–2008; objem max. – největší objem dosažitelný v dané lokalitě při uvedené výšce hráze; plocha hladiny odpovídající maximálnímu objemu; výška hráze odpovídající maximálnímu objemu; délka hráze odpovídající maximálnímu objemu.

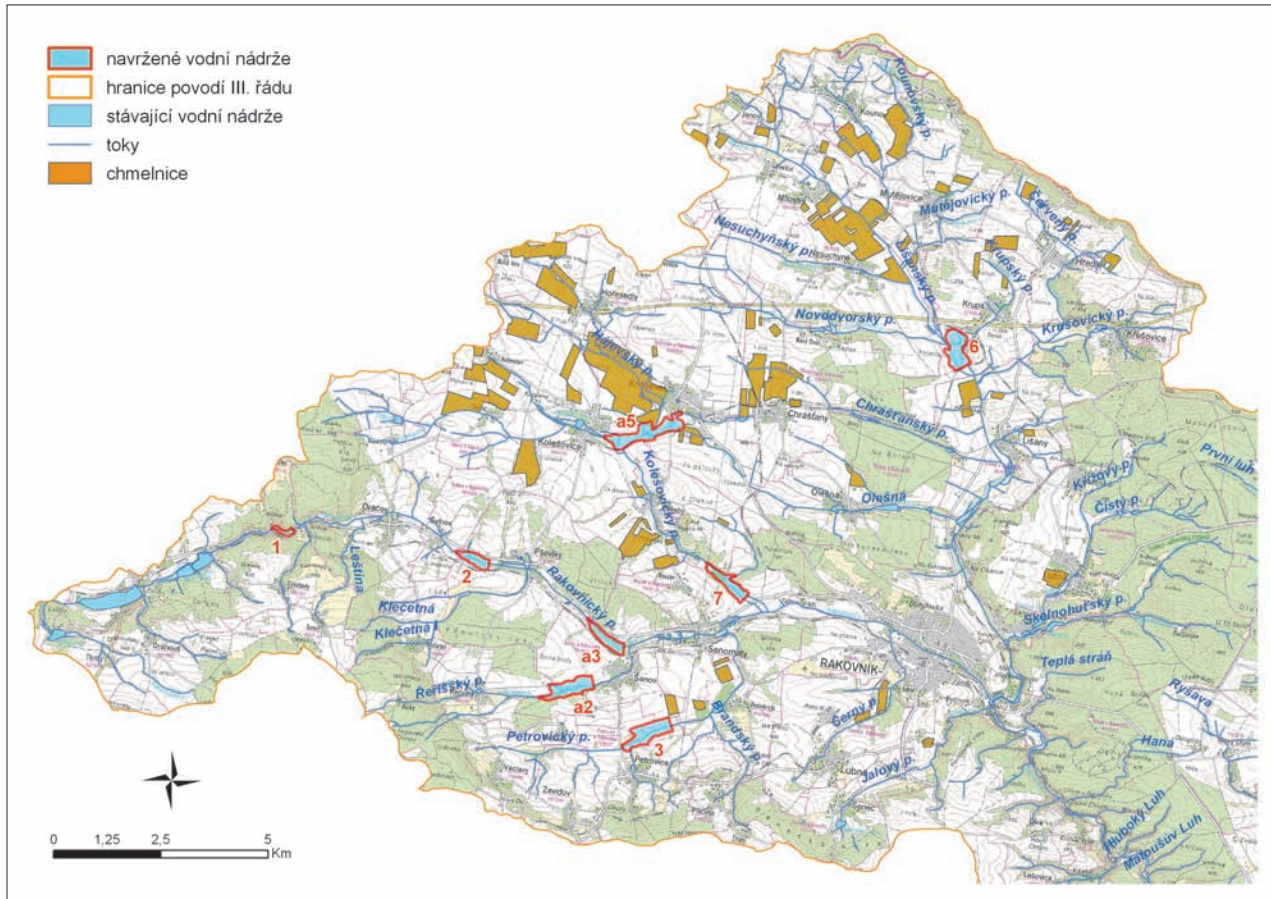
Navržené nádrže by umožnily nalepšit v obdobích hydrologického sucha průtoky zejména Rakovnického potoka v dolním úseku od Senomat, tedy zejména v Rakovníku. V místě vypouštění odpadních vod z ČOV Rakovník by se projevilo i nalepšení průtoků Lišanského potoka.

Tabulka 43. Základní parametry nádrží

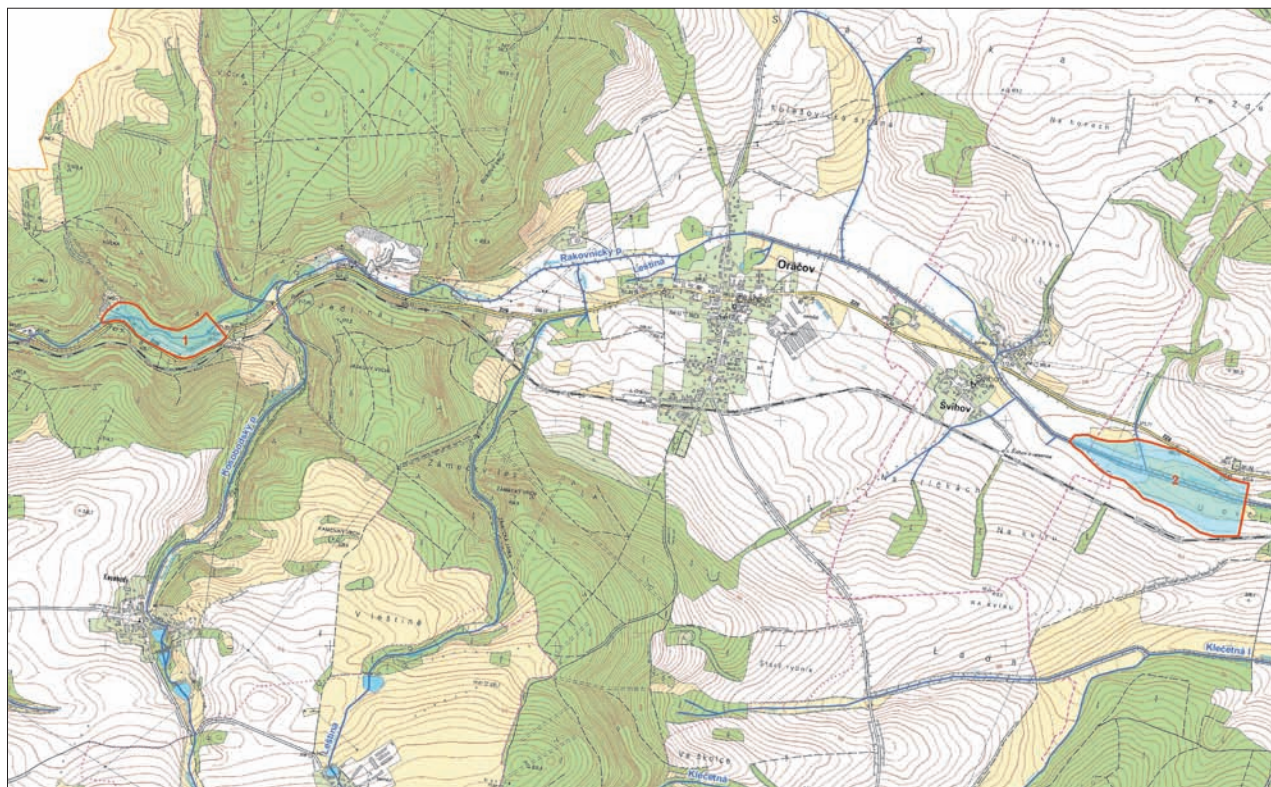
Č.	Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Q_{a88-08} [l.s ⁻¹]	Objem max. [mil. m ³]	Plocha hladiny [ha]	Výška hráze [m]	Délka hráze [m]
1	Rakovnický p.	nad Oráčovem	18	20	0,234	5,9	10	140
2	Rakovnický p.	nad Pšovky	35,3	37	0,371	17,3	6	240
3	Petrovický p.	pod Petrovicemi	14	22	1,613	40,16	11	340
a2	Řeřišský p.	nad Šanovem	9,6	25	1,525	36,4	12,5	310
a3	Rakovnický p.	nad Šanovem	50,5	54	0,544	22,2	5,2	450
a5	Kolečovický p.	pod Kolečovicemi	39,5	28	0,602	53,8	3	280
6	Lišanský p.	bývalý rybník Chobot	49,3	49	0,488	37,5	4	430
7	Kolečovický	u Senomat	51		0,675		6,2	280

Komentář k volbě lokalit

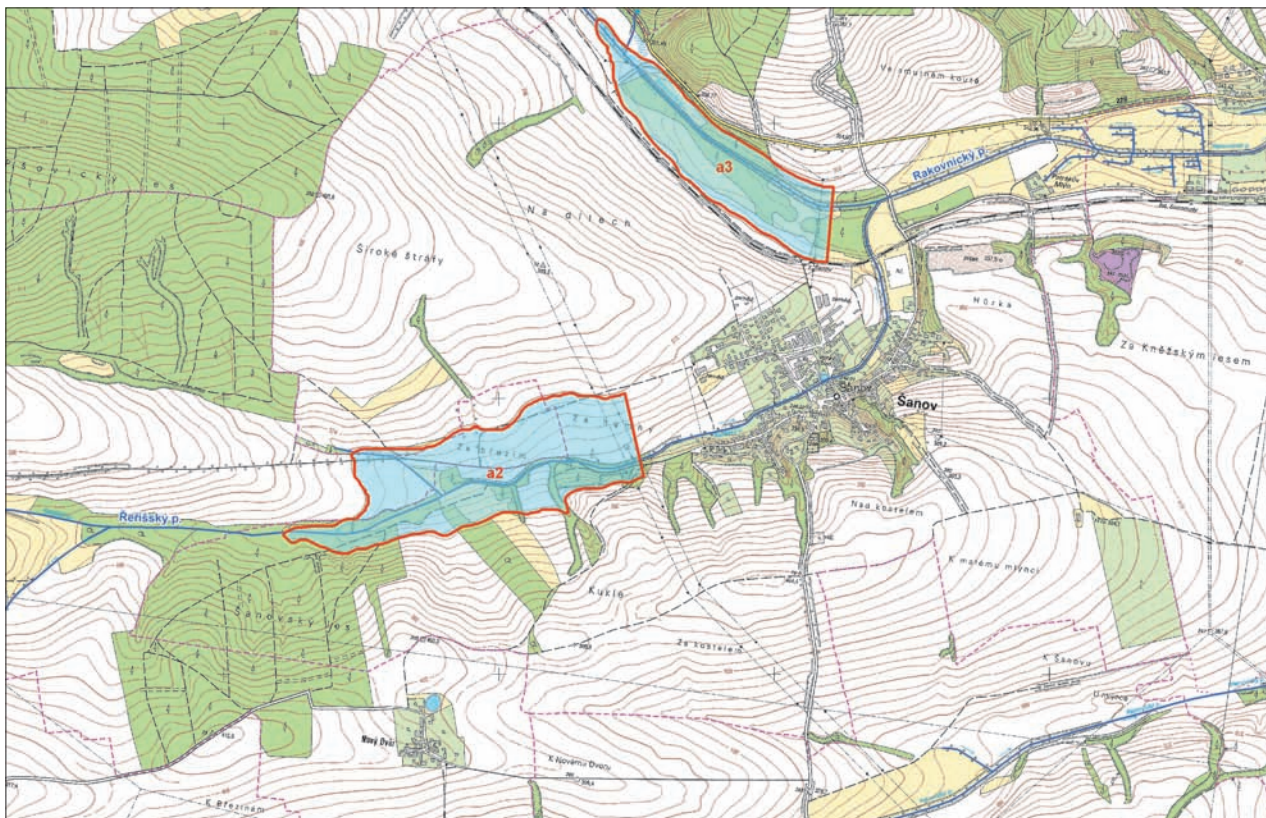
Hydrologické poměry neposkytují možnost zřídit v horních částech dílčích povodí při severozápadním okraji povodí Rakovnického potoka vodní nádrže s objemem, který by poskytoval přijatelné velikosti nalepšení. Nádrže byly umístěny do profilů, ve kterých odhad průměrného průtoků z období 1988–2008 převyšuje 20 l.s⁻¹.



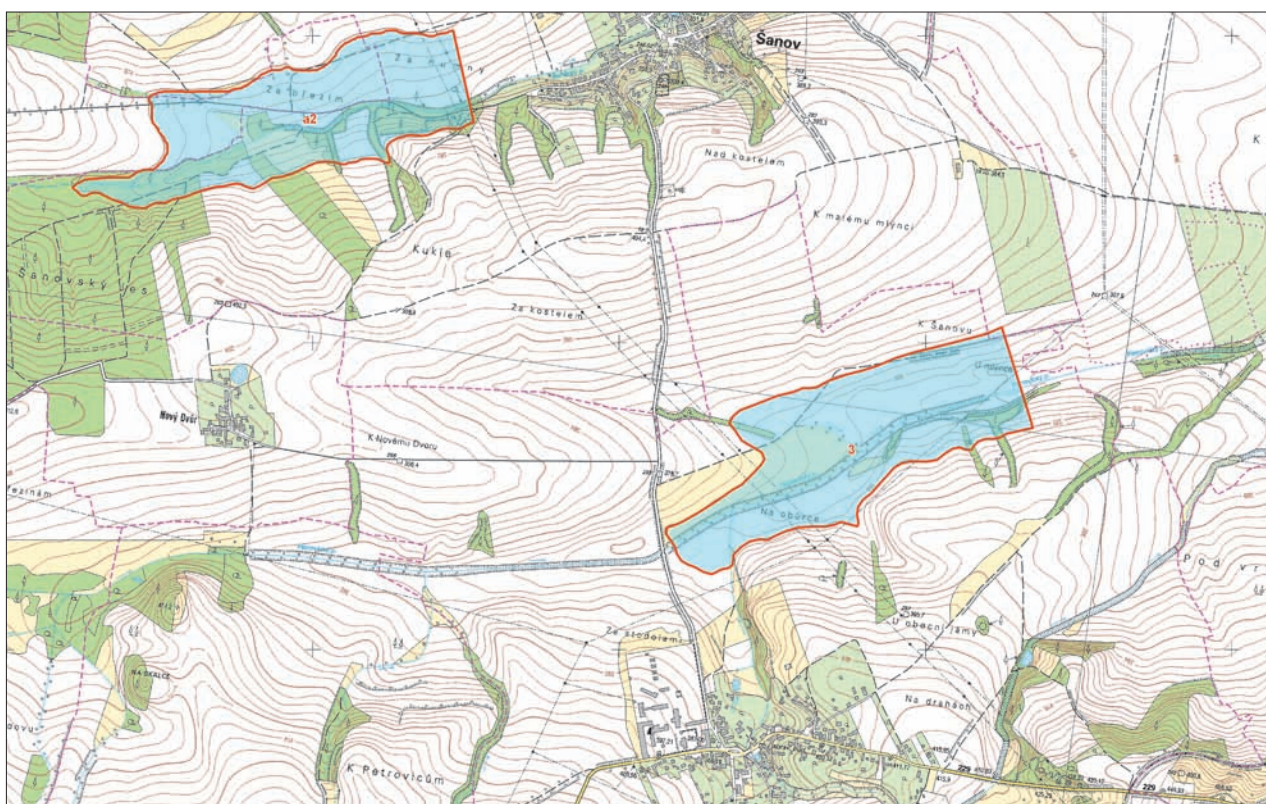
Obr. 105. Rozmístění uvažovaných potenciálních lokalit nádrží



Obr. 106. Nádrže na Rakovníckém potoče č. 1 nad Oráčovem a č. 2 nad Pšovky

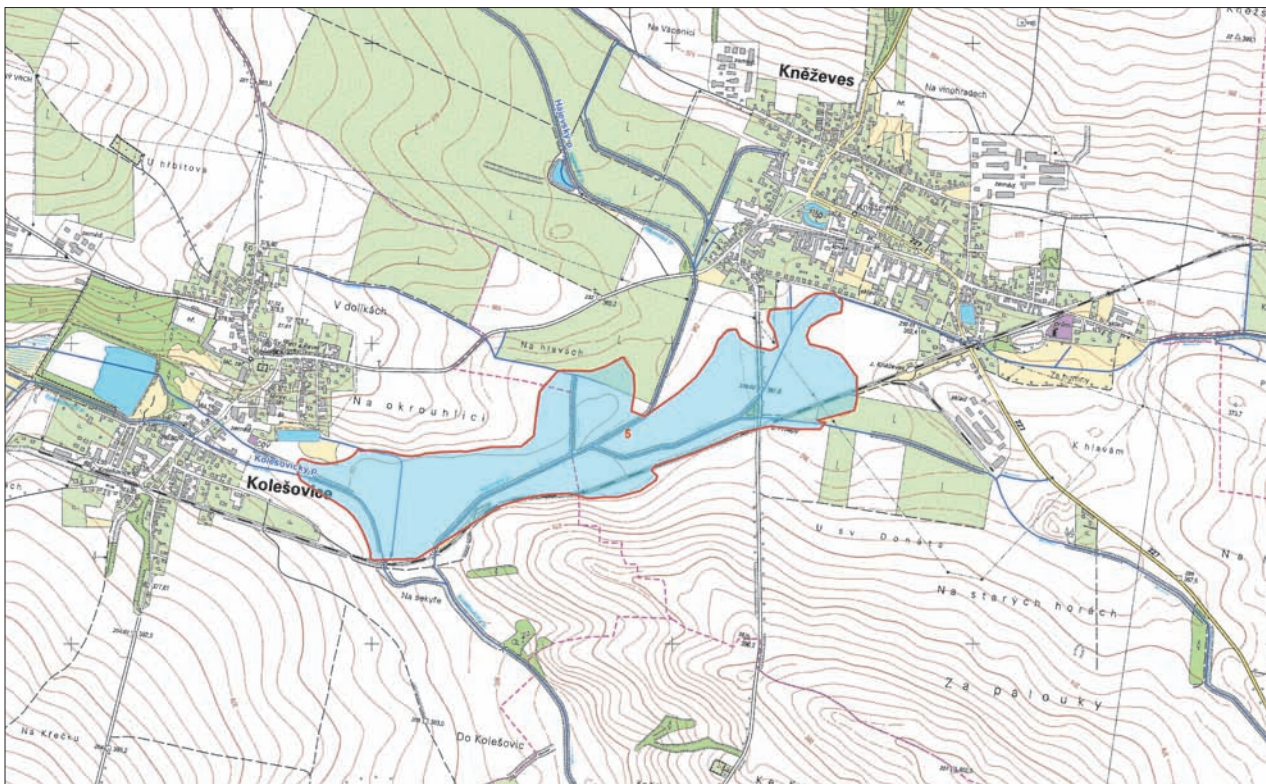


Obr. 107. Nádrž na Rakovnickém potoce u Šanova č. a3 a nádrž na Řeíšském potoce č. a2 nad Šanovem

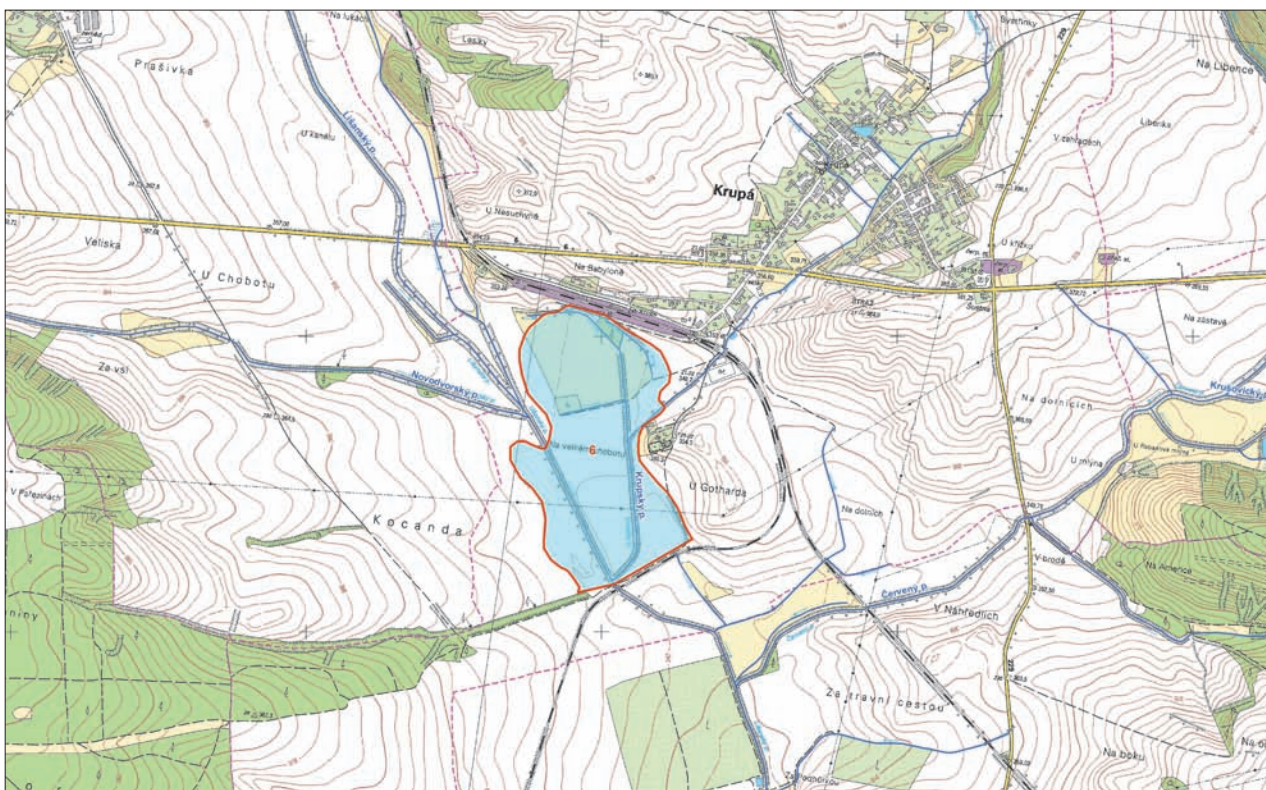


Obr. 108. Nádrž na Řeíšském potoce č. a2 nad Šanovem (je i na obr. 107) a na Petrovickém potoce č. 3

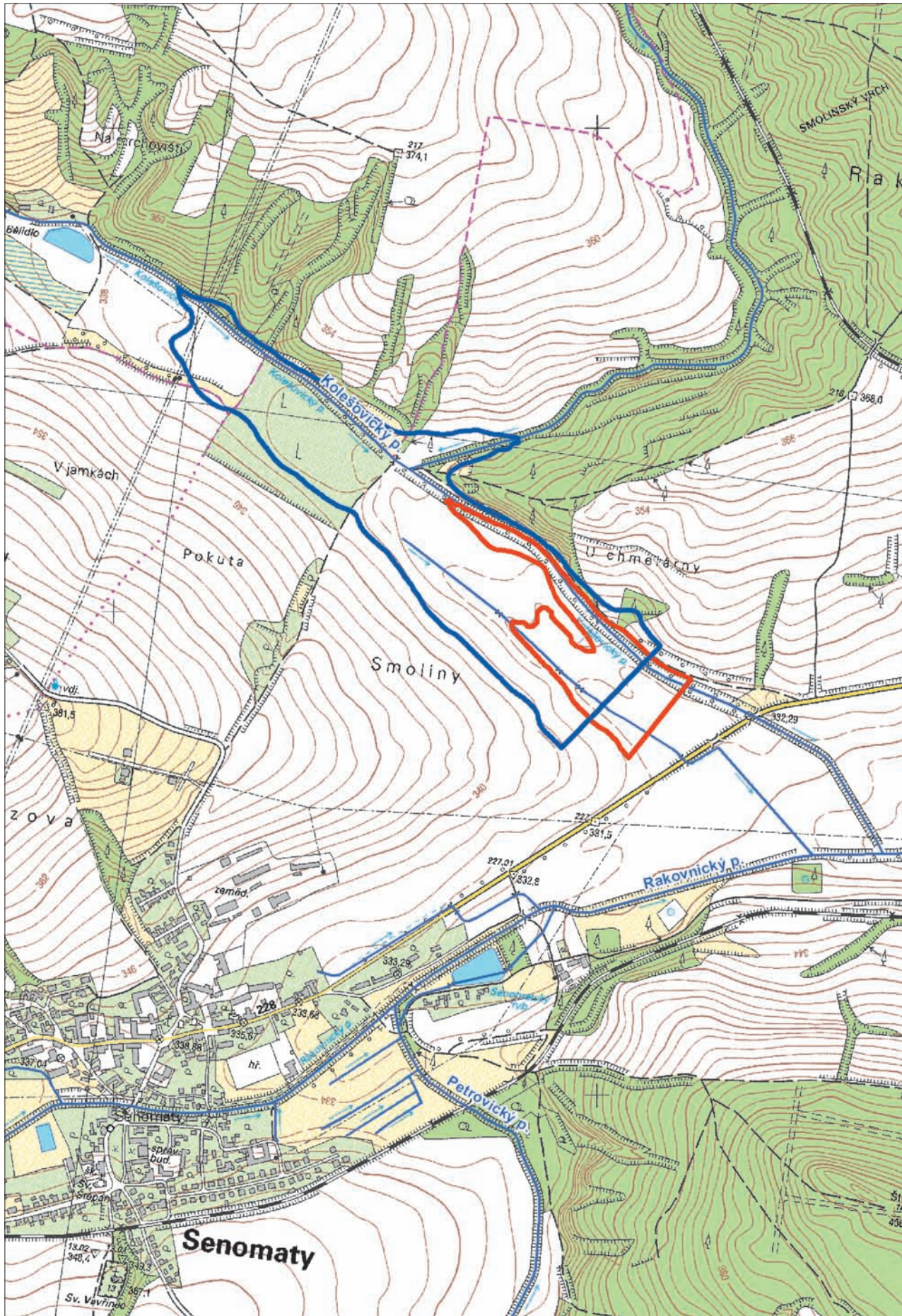




Obr. 109. Nádrž na Kolečovickém potoce pod Kolečovicemi č. 5



Obr. 110. Nádrž na Lišanském potoce (bývalý rybník Chobot) č. 6



Obr. 111. Nádrž na Kolesovickém potoce u Senomat č. 7, vodohospodářsky posuzována byla modře zakreslená varianta, červeně je varianta č. 7b



Nádrže na Rakovnickém potoce (označené 1, 2, a3) by v porovnání s nádržemi na přítocích měly výhodu v tom, že by byly schopné zadržet vodu z vypouštění rybníků jesenické soustavy, které probíhá většinou v podzimních měsících, a využít ji pro nalepšování v následujícím létě. Tyto nádrže se nacházejí v ochranném pásmu vodních zdrojů jímacího území Rakovnický potok.

Podle výsledků hydrometrických měření v roce 2009 jsou relativně vodné potoky Řeřišský a Petrovický, navržené nádrže (a2, 3) do značné míry odpovídají lokalitám zrušených rybníků. V lokalitě a2 v roce 2011 probíhala výstavba malé vodní nádrže s mnohem menší rozlohou.

Nádrž na Kolečovickém potoce (a5) není morfologicky příliš vhodná, její zřízení by bylo přijatelné v případě, že by jako součást hráze bylo využito těleso náspu železniční tratě do Kolečovic. Nádrž by byla mělká, ale patrně využitelná pro případné závlahy chmelnic. Maximální varianta zasahuje do míst, kde je navržena nová čistírna odpadních vod pro Kněževy (podle územního plánu a zpracované dokumentace pro územní řízení, které probíhá).

Nádrž na Lišanském potoce (č. 6) je v místě zrušeného rybníka Chobot, jeho hráz byla využita jako násep železniční tratě, a je tedy zachována. Horní část zátopy (oblast přítoků nádrže) křížuje plánovaná rychlostní komunikace R6, nicméně tento střet by bylo možné řešit.

Nádrž na Kolečovickém potoce (č. 7) je umístěna v dolní části povodí, morfologicky není lokalita příliš vhodná, výhodou by bylo, že by kontrolovala odtok z prakticky celého povodí Kolečovického potoka. Není také jasné, zda by voda z nádrže neprosakovala do zóny podzemních vod, neboť podle hydrologické bilance i výsledků podrobných hydrometrických měření v úseku Petrovického potoka pod Přílepy i v současných poměrech se voda do podzemí vsakuje, viz část 3.3.3. Na obr. 111 je zakreslena i varianta podstatně menší nádrže, která by měla příliš malý zásobní objem, mohla by pouze sloužit k regulaci nalepšování z výše ležící nádrže pod Kolečovicemi.

Vodohospodářské řešení zásobní funkce nádrží

Pro uvedené nádrže bylo pomocí vlastního softwarového nástroje provedeno základní vodohospodářské řešení akumulační funkce, bez uvažování nádrží jako soustavy.

Při vodohospodářském řešení byla vždy pro zadanou řadu průměrných měsíčních přítoků do nádrže nalezena k zásobnímu objemu velikost nalepšení s plným zabezpečením (v zadané řadě). Výstupem je vztah udávající závislost nalepšení průtoků na velikosti zásobního objemu a také průběhu přítoku a odtoku z nádrže a průběhu velikosti objemu vody v nádrži pro zadaný maximální akumulační objem. Výpočty byly provedeny pro několik variant hydrologických poměrů.

Výpočty pro hydrologické poměry odpovídající období 1966–2008

V první řadě výpočtů byly použity řady průtoků z období 1966–2008, odvozené podle řady průtoků vyhodnocené ve vodoměrné stanici Rakovník na Rakovnickém potoce. Pro přepočtení této řady do profilů nádrží byly použity koeficienty rovné poměru průměrných ročních průtoků z roku 2009, ve kterém byly na základě řady hydrometrických měření v profilech nádrží odvozeny řady průtoků.

Výpočet byl proveden za předpokladu, že na počátku řešeného období je zásobní prostor plný. Velikost zásobního prostoru byla pro závislosti nalepšení na zásobním objemu zadána jako maximální velikost celkového objemu nádrže. Pro grafy časového průběhu hospodaření byly ve třech případech zadány zásobní objemy menší, než jaké umožňují morfologické poměry. V případě nádrží na Řeřišském a Petrovickém potoce jsou tyto objemy nadbytečně velké, v případě nádrže na Kolečovickém potoce byl objem redukován tak, aby byly minimalizovány zásahy do okolí nádrže.

Řady průtoků z uvedeného období mají zřetelný klesající trend. To se projevilo tak, že kritické období, ve kterém se nádrž zcela vyprázdní, se vyskytovalo blízko konce řady.

Výsledky řešení jsou souhrnně uvedeny v tabulce 44. Výstupy návrhu a posouzení nádrží jsou vždy uváděny na příkladu nádrže na Rakovnickém potoce nad Pšovlky (č. 2). Výsledky vodohospodářského řešení této nádrže jsou zobrazeny na obr. 112 a 113.

Tabulka 44. Výsledky vodohospodářského řešení

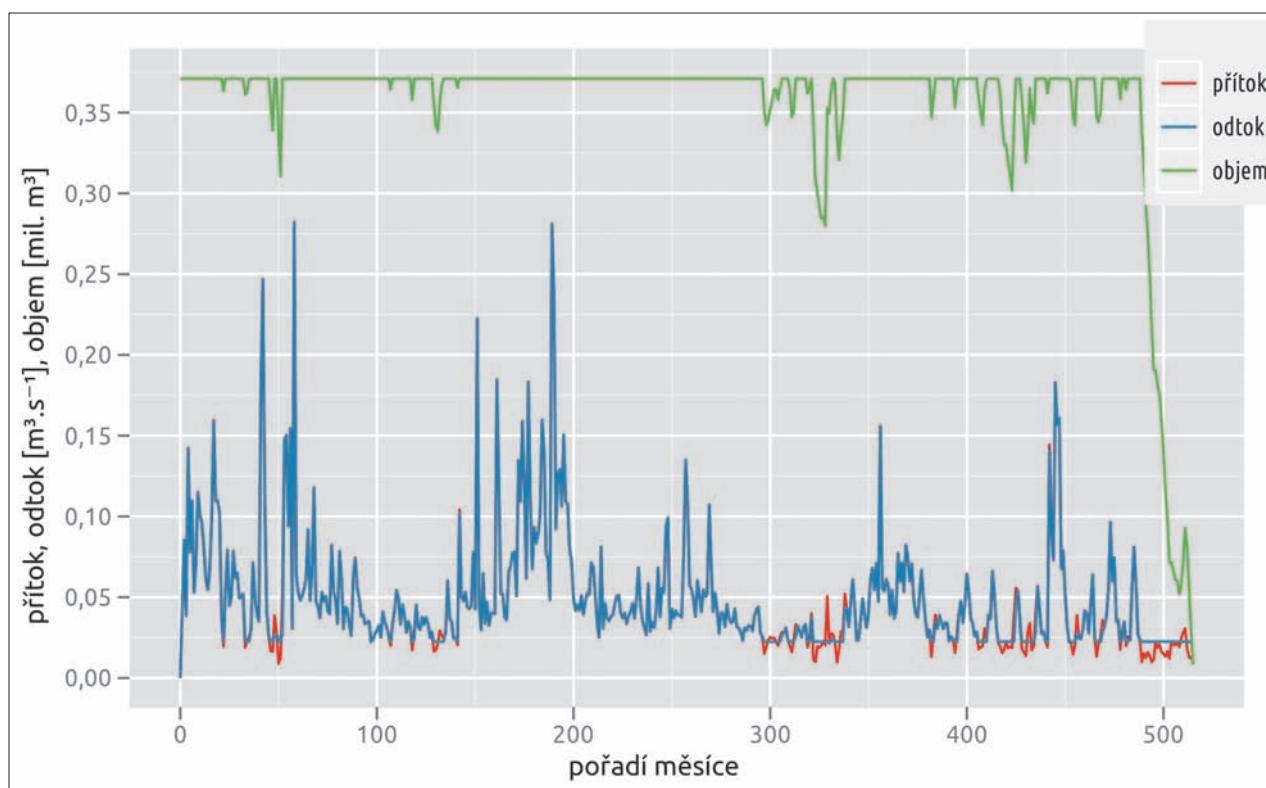
Tok	Profil	Plocha povodí [km ²]	Q_{a88-08} [l.s ⁻¹]	Objem max. [mil. m ³]	Objem posuzovaný [mil. m ³]	Nalepšení [l.s ⁻¹]
Rakovnický p.	nad Oráčovem	18	20	0,234	0,234	13
Rakovnický p.	nad Pšovky	35,3	37	0,371	0,371	22
Petrovický p.	pod Petrovicemi	14	22	1,613	0,605	22
Řešíšský p.	nad Šanovem	9,6	25	1,525	0,5	24
Rakovnický p.	nad Šanovem	50,5	54	0,544	0,544	33
Kolešovický p.	pod Kolešovicemi	39,5	28	0,602	0,23	23
Kolešovický p.	u Senomat	51	32	0,675	0,675	24
Lišanský p.	bývalý rybník Chobot	49,3	49	0,488	0,488	29

Výpočty pro hydrologické poměry odpovídající dalšímu oteplování

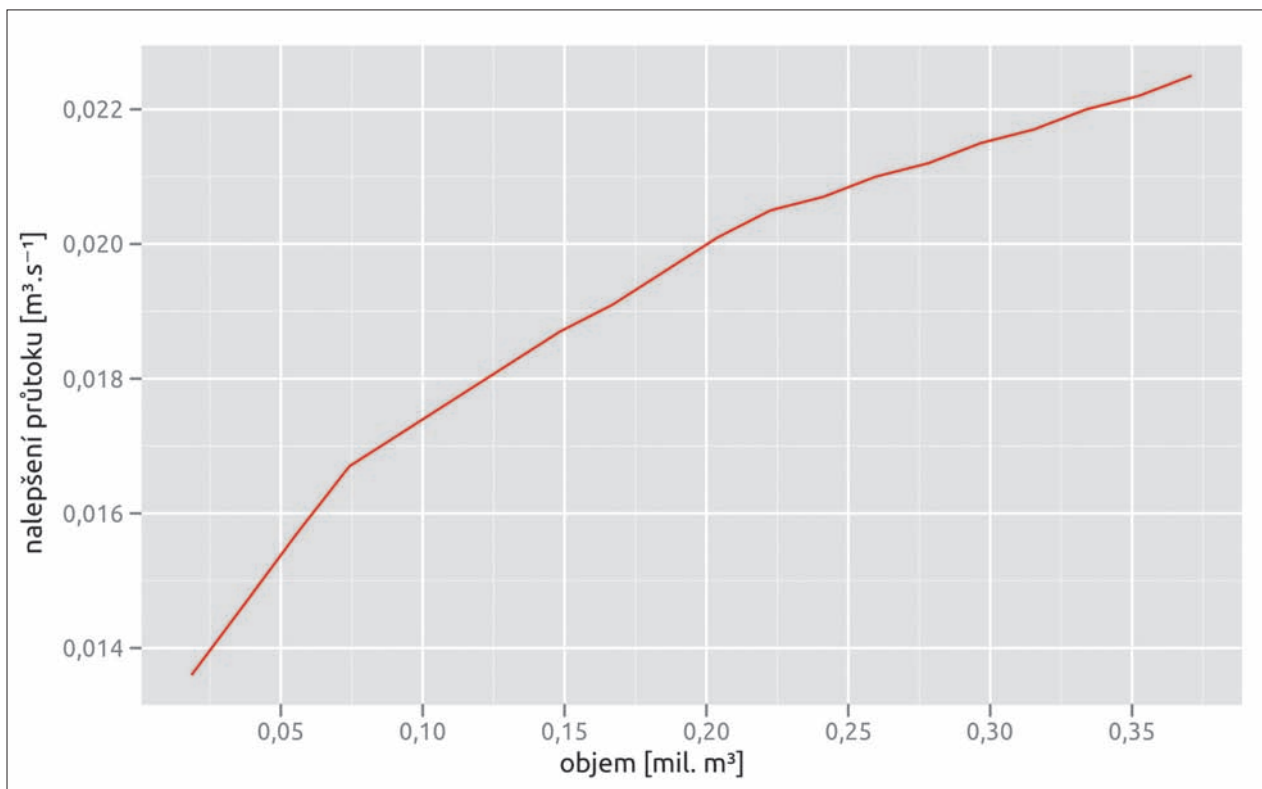
Pro další sérii výpočtů byly použity řady průtoků, odvozené pro profily nádrží z řad modelovaných pro profil vodoměrné stanice Rakovník na Rakovnickém potoce za předpokladu, že jedinou změnou klimatických poměrů bude rovnoměrné oteplení, stejné pro všechny měsíce. Pro tyto výpočty byla použita jako výchozí řada z období 1966 až 1990 (25 let), která není ovlivněna oteplováním a poklesem průtoků tak významně jako v následujícím období (viz část 3.4.2).

Řešení zásobní funkce nádrží bylo pro každou nádrž provedeno v šesti variantách: řada odvozená podle pozorování, řada modelovaná pro nezměněné teploty, čtyři řady pro předpoklad oteplení o 1, 2, 3 a 4 °C. Na obr. 114 jsou srovnány použité hodnoty teploty s hodnotami, které jsou výstupem klimatických modelů. Příklad grafů, které udávají závislost nalepšení průtoků na velikosti zásobního objemu pro uvedených šest variant průtokových řad, je na obr. 115.

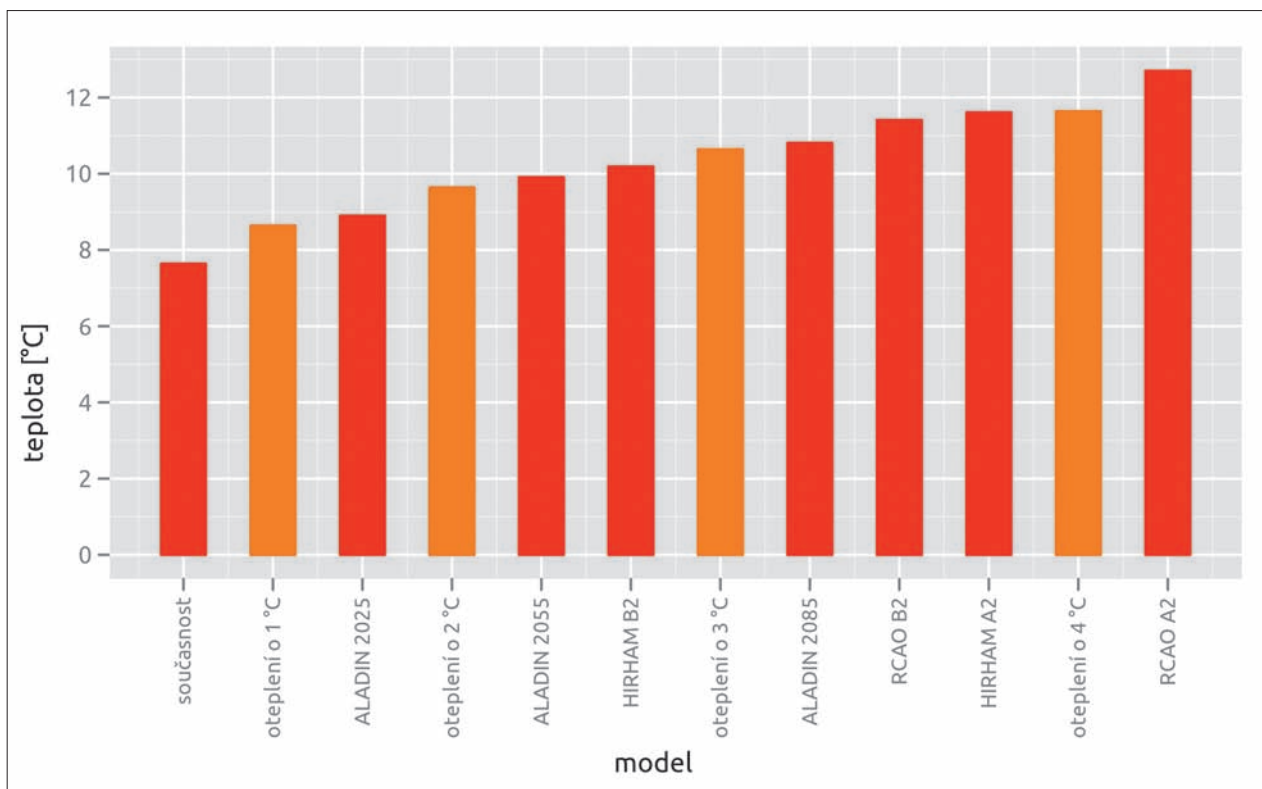
Na obr. 116 je zobrazeno, o kolik procent se zmenšuje nalepšení průtoků při výpočtu podle průtokových řad, modelovaných pro oteplení 1 až 4 °C. Hodnoty relativního poklesu byly vypočteny z výsledků pro největší zásobní objemy posuzované u jednotlivých nádrží. S narůstajícím oteplováním se gradient poklesu nalepšení mírně zmenšuje.



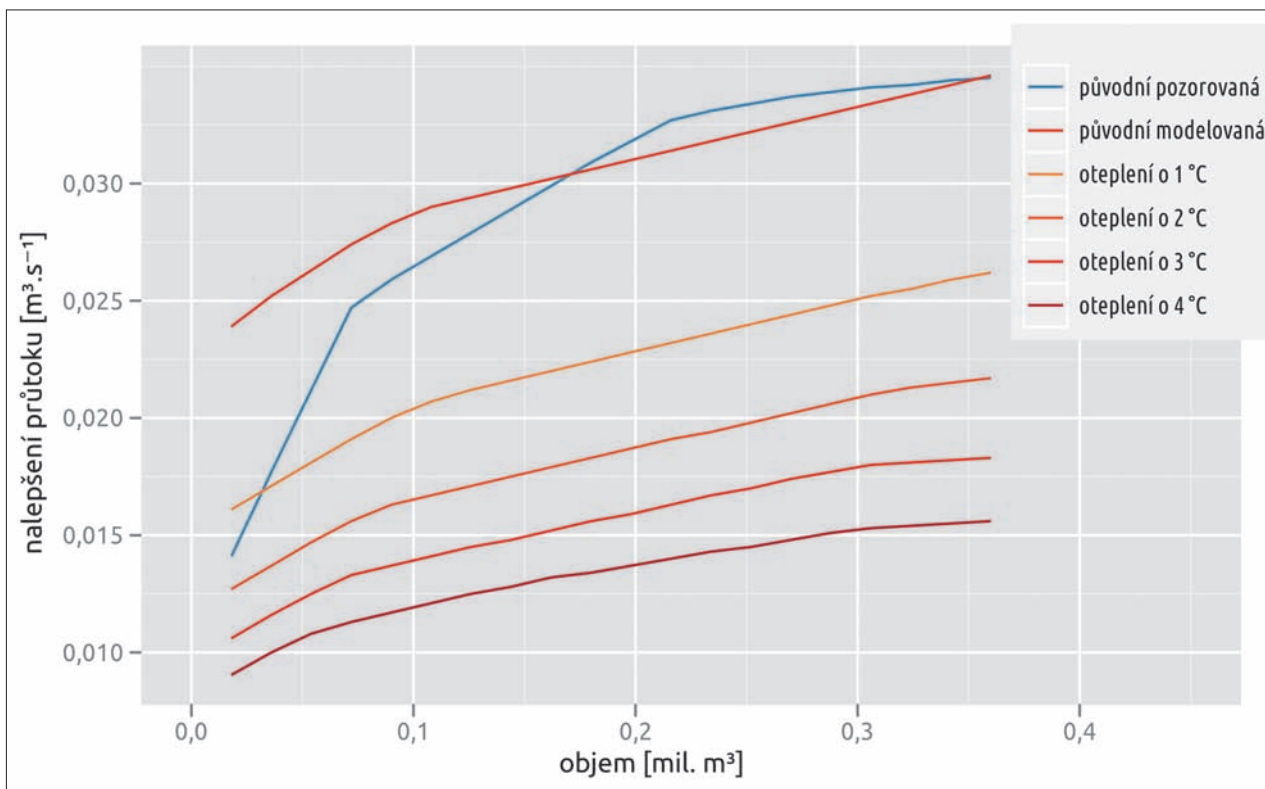
Obr. 112. Nádrž na Rakovnickém potoce nad Pšovky – průběh hospodaření pro zásobní objem 0,371 mil. m³ a nalepšení 22 l.s⁻¹



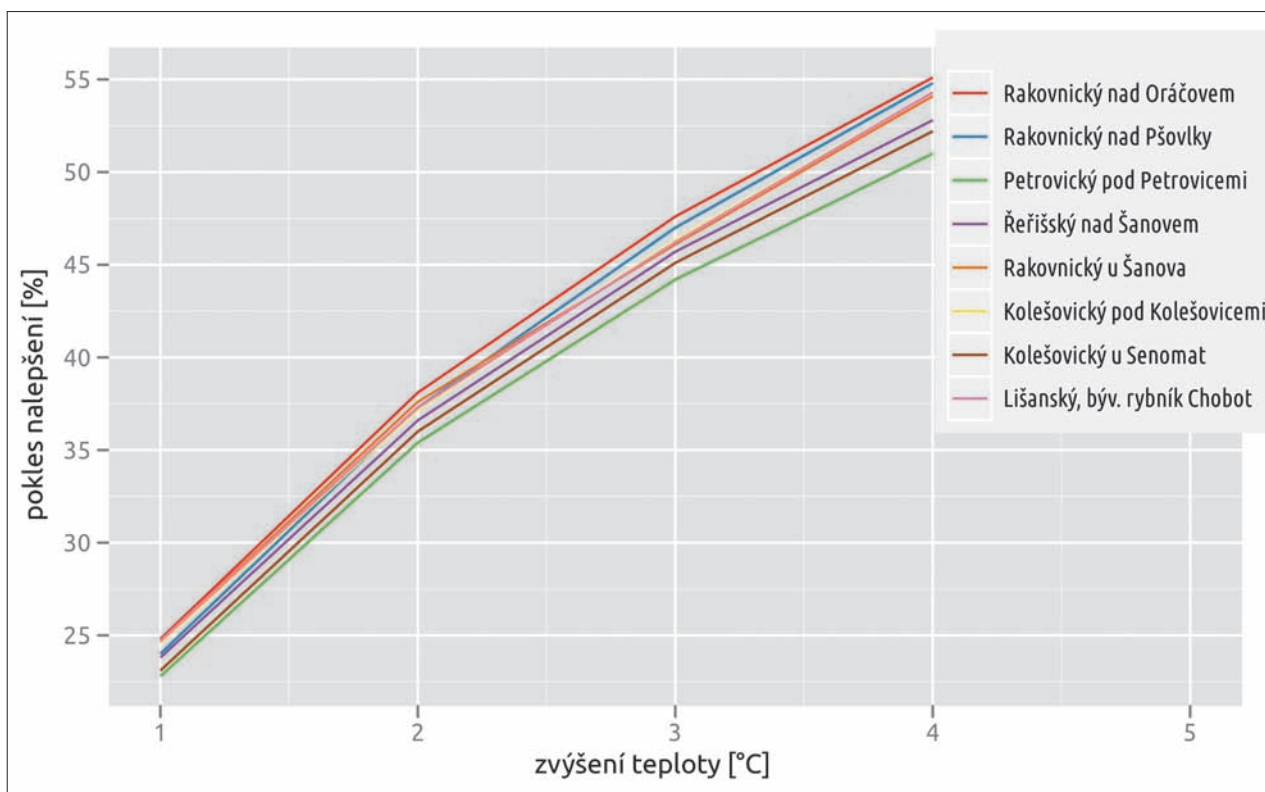
Obr. 113. Nádrž na Rakovnickém potoce nad Pšovky – závislost nalepšení na zásobním objemu



Obr. 114. Srovnání teplot použitých k výpočtu změny nalepšení s teplotami z výstupů klimatických modelů



Obr. 115. Nádrž na Rakovnickém potoce nad Pšovky – vliv oteplení na vztah mezi zásobním objemem a nalepšením



Obr. 116. Pokles velikosti nalepšení průtoků vyjádřený v procentech hodnoty pro původní stav klimatu v závislosti na zvýšení teploty vzduchu



Shrnutí poznatků

Součet nalepšení účinkem všech nádrží, které jsou uvedeny v *tabulce 44*, je 190 l.s^{-1} . Řešení však bylo provedeno pro jednotlivé nádrže, takže účinek celé sestavy by byl zřejmě menší. Zřízení všech nádrží patrně není reálné. I při redukovaném výběru, např. když uvažujeme nádrže na Petrovickém potoce, na Rakovnickém potoce nad Šanovem, na Řeřišském potoce a jednu nádrž na Kolečovickém potoce, činí nalepšení průtoků Rakovnického potoka nad Rakovníkem 80 l.s^{-1} .

Pro současné hydrologické podmínky tedy lze pomocí akumulčních nádrží podstatně zvětšit minimální průtoky Rakovnického potoka v Rakovníku (v obdobích hydrologického sucha v minulých letech zde klesal průtok na cca 10 l.s^{-1}). Nalepšení minimálních průtoků by také přibližně dvojnásobně zvětšilo minimální průtoky v profilu vypouštění odpadních vod z ČOV Rakovník, takže ředění odpadních vod by bylo podstatně příznivější. V obdobích hydrologického sucha v minulých letech mohl být v nejkritičtější fázi průtok odpadní vody větší než průtok v potoce nad profilem vypouštění.

Pokud by se klimatická změna v povodí Rakovnického potoka projevovала dalším oteplováním bez zvětšení atmosférických srážek, klesaly by dále přirozené i nádržemi ovlivněné minimální průtoky. Při vzestupu průměrné teploty o $2 \text{ }^\circ\text{C}$ by pokleslo nalepšení o 37 % (pro redukovanou soustavu na 50 l.s^{-1}), což by ještě režim minimálních průtoků znatelně zlepšovalo.

Pro zvýšení teploty o $4 \text{ }^\circ\text{C}$ by uvažovaná soustava nádrží poskytla nalepšení jen 37 l.s^{-1} . Vzhledem k značné nejistotě použitých řešení lze usuzovat, že pro tyto podmínky by již bylo redukovanou soustavu třeba posílit převodem vody z jiného povodí.

Výše uvedené platí, pokud by se v povodí Rakovnického potoka nezvětšovaly odběry vody pro závlahy. Podle studie Dostála et al. (2008) je velmi pravděpodobné, že další oteplování vyvolá spotřebu vody pro závlahy chmele. Pak budou odhady zvětšení minimálních průtoků nepříznivější a bude nutné řešit problémy vodohospodářské bilance převodem z Ohře.

Odhad základních charakteristik navrhovaných vodních nádrží

Metodický postup

Na šesti lokalitách, shodných s lokalitami použitými pro vodohospodářské řešení, byl připraven podrobnější návrh vodních nádrží (dále jen VN) a byly spočítány jejich charakteristiky. Vynechány byly nádrže č. a2 a č. 5, jejichž vybudování by bylo nejméně vhodné a které by byly z hlediska akumulční funkce málo efektivní.

Lokality pro VN byly zaměřeny v terénu pomocí referenčních GPS s výjimkou nádrží č. 1 a č. a3, pro něž byla použita data z databáze ZABAGED.

Celkově bylo na pěti lokalitách zaměřeno 3 235 bodů, z nichž byl metodou nepravidelných trojúhelníků (TIN) interpolován stávající vrstevnicový povrch, na kterém byla navržena tělesa hrází. Parametry sklonů a šířky koruny hrází byly pevně zvolené. Hodnoty těchto parametrů odpovídají zemní homogenní hrázi s šířkou v koruně 3,5 m, sklonem návodního svahu 1 : 3 a vzdušního svahu 1 : 2. Homogenní hráz s navrženými sklony by měla být vybudována z hlinitých písků či štěrků – kategorie zemin GM, SM (ČSN 75 2410). Šířka koruny hráze je vyhovující i pro občasný pojezd vozidel.

Pro každou nádrž byly zhotoveny výkresy profilů a řezů a byla vypočítána kubatura hrázového tělesa.

U všech nádrží byla stanovena hladina maximální (H_{\max}), která byla vždy navržena 0,6 m pod korunou hráze. Hladina normální stanovena nebyla, protože její výška závisí na volbě scénáře protierozních a agrotechnických opatření (viz část 3.6.2) a velikosti retenčního prostoru (viz posouzení pro zmírnění účinků povodní). K hladině maximální byly vztahy všechny výpočty a parametry, včetně geomorfologických ukazatelů.

Na základě vrstevnicového povrchu a navržené hráze byl spočítán průběh charakteristických čar nádrže (batygra-

fických křivek), funkčních závislostí plochy hladiny a objemu vody na hloubce vody v nádrži. Ty byly spočítány až po korunu hráze.

Navrhované nádrže zabírají v povodí plochu 116,1 ha a jejich objem po hladinu maximální je dohromady 2 743 348 m³. Nádrže jsou podle vybraných parametrů seřazeny v *tabulce 45*.

Tabulka 45. Seřazení nádrží podle hodnot vybraných parametrů (sestupně)

Objem [m ³]		Plocha [m ²]		Max. hloubka [m]		Kubatura hráze [m ³]	
č. 3	1 047 557	č. 6	316 738	č. 1	8,65	č. 3	43 932
č. 7	633 036	č. 3	294 182	č. 3	8,21	č. 2	25 071
č. 2	549 675	č. 2	250 715	č. 2	6,24	č. 7	24 572
č. 6	319 436	č. 7	246 801	č. 7	6,00	č. 1	21 917
č. a3	253 782	č. a3	147 310	č. a3	3,70	č. a3	9 479
č. 1	193 644	č. 1	52 190	č. 6	2,37	č. 6	7 990
č. 7b	26 989	č. 7b	41 523	č. 7b	1,50	č. 7b	2 279

Pro každou nádrž byly vypočteny tři geomorfologické ukazatele vztahující se k maximální hladině H_{\max} :

- Absolutní objemový součinitel (η) (ČSN 75 2410) je poměr objemu zadržené vody (V_n) ke kubatuře hráze (V_h). Optimální hodnoty jsou větší než 10, spodní hranice je 4.
- Ukazatel prostorového uspořádání vodního objemu (m) (Šálek a Mika, 1978) je setina poměru odmocniny z hodnoty plochy zátopy (S) umocněné na třetí k odpovídajícímu objemu (V) vody. Hodnoty menší než 1 mají nádrže s vertikálním uspořádáním akumulacího prostoru, větší než 1 mají nádrže s horizontálním uspořádáním prostoru (nad 5 mají ploché rybníční nádrže).

$$m = 0,01 \sqrt{\frac{S^3}{V}}$$

- Stupeň členitosti břehové čáry (E) (Cablík, 1960) je podíl skutečné délky obvodu zátopy (L_z) a obvodu kruhu s plochou odpovídající ploše zátopy (S).

Pro účely této studie se vycházelo z ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže, která platí pro nádrže s maximální hloubkou do 9 m a objemem zásobního prostoru do 2 mil. m³. Těmto kritériím vyhovují všechny nádrže, pro které byly základní charakteristiky počítány.

Pro každou nádrž byla zpracována tabulka základních charakteristik nádrže a hráze, které jsou souhrnně uvedeny v *tabulkách 46 a 47*. Dále byla pro každou nádrž připravena vrstevnicová mapa s průběhem zátop a nově navrženým tělesem hráze, podélný profil hráze a tabulka charakteristických čar ploch a objemů (batygrafie nádrže) spolu s grafickým znázorněním průběhu těchto čar. Příklady grafických výstupů jsou pro nádrž na Rakovnickém potoce nad Pšovky na *obr. 117 až 120*.

Zhodnocení výsledků

Nádrž č. 1 má relativně malý objem akumulované vody a poměrně velký objem hrázového tělesa. Absolutní objemový součinitel je pro tuto nádrž 8,84 při H_{\max} (hodnota pro H_{norm} bude ještě nižší). Na základě této hodnoty by bylo vhodné zvážit vybudování jiného typu hráze, než je v této studii použita homogenní hráz s poměrně pozvolnými svahy. Ukazatel prostorového uspořádání odpovídá nádrži s vertikálním uspořádáním akumulacího prostoru.

Pro **nádrž č. 2** je při navržené maximální hladině nutné vybudovat ochrannou hráz na severní straně zátopy, která zamezí zatopení silnice č. 228. Nádrž č. 2 má horizontální uspořádání akumulacího objemu. Absolutní objemový ukazatel je vysoký, tj. z hlediska ekonomické efektivity je navržený profil hrázového tělesa výhodně umístěn.

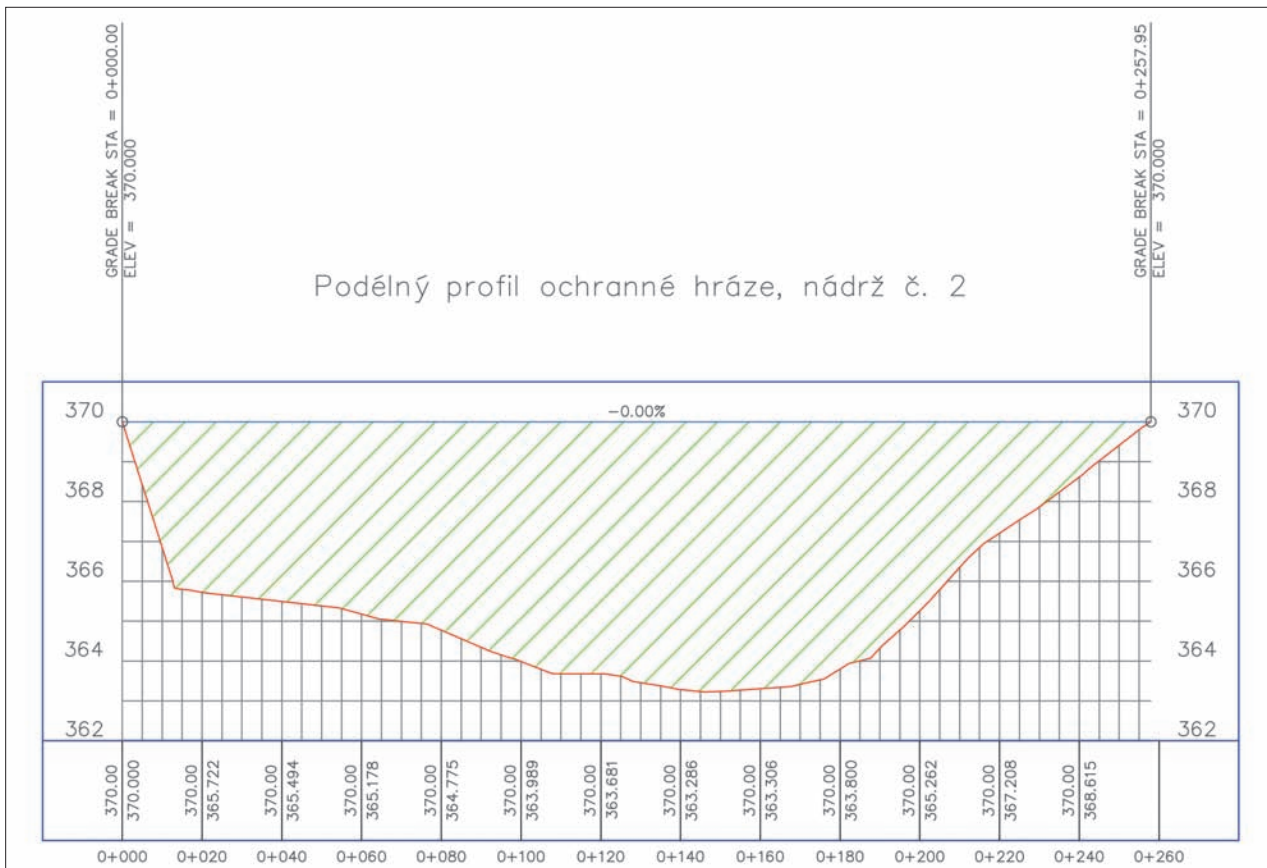
Nádrž č. 3 má horizontální uspořádání akumulacího objemu. Absolutní objemový ukazatel je vysoký, tj. z hlediska ekonomické efektivity je navržený profil hrázového tělesa výhodně umístěn.

Nádrž č. a3 má horizontální uspořádáním objemu. Absolutní objemový ukazatel má vysokou hodnotu, tj. z hlediska ekonomické efektivity je navržený profil hráze vhodně umístěn.

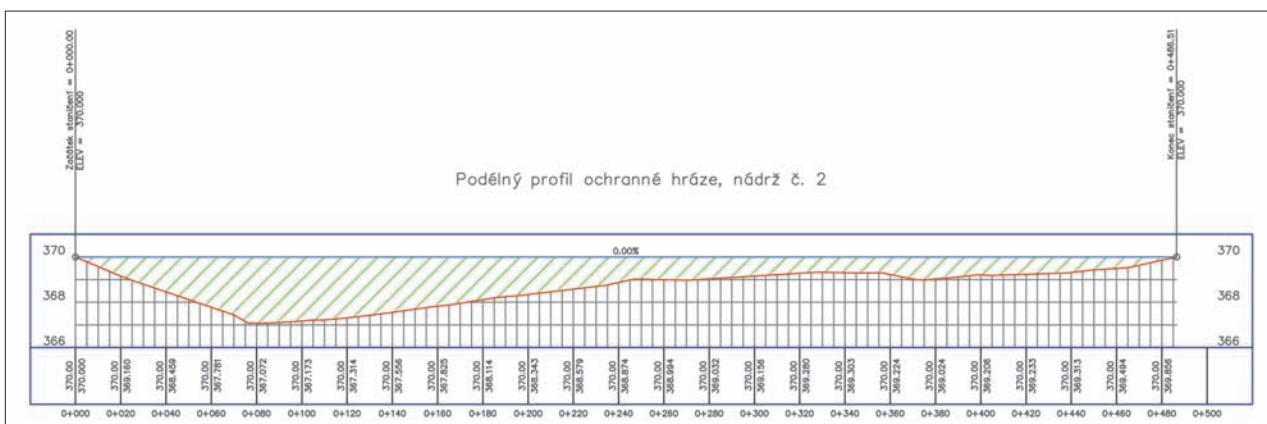
Nádrž č. 6 má největší plochu zátopy při H_{max} ze všech nádrží, ale zároveň má velmi malý objem – nádrž je mělká. Průměrná hloubka v této nádrži činí 1 m a maximální hloubka je 2,37 m. Uspořádání akumulačního objemu odpovídá ploché rybníční nádrži ($m = 5,58; m > 5$). Profil hráze byl navržen tak, aby částečně přiléhá k severnímu náspu železniční trati.

Absolutní objemový ukazatel je vysoký, zejména z důvodu relativně nízké hráze a využití stávajícího náspu železniční trati. Ekonomická efektivity této hráze je vysoká. Nádrž 6 je poměrně mělká a rozlehlá, čili je zde vyšší riziko eutrofizace.

Při návrhu **nádrže č. 7** byly uvažovány dvě varianty. První variantou (č. 7) je relativně velká nádrž s korunou hráze umístěnou na kótě 337 m n. m. Druhá varianta (č. 7b) je malá nádrž s korunou hráze umístěnou ve výšce 332 m n. m.



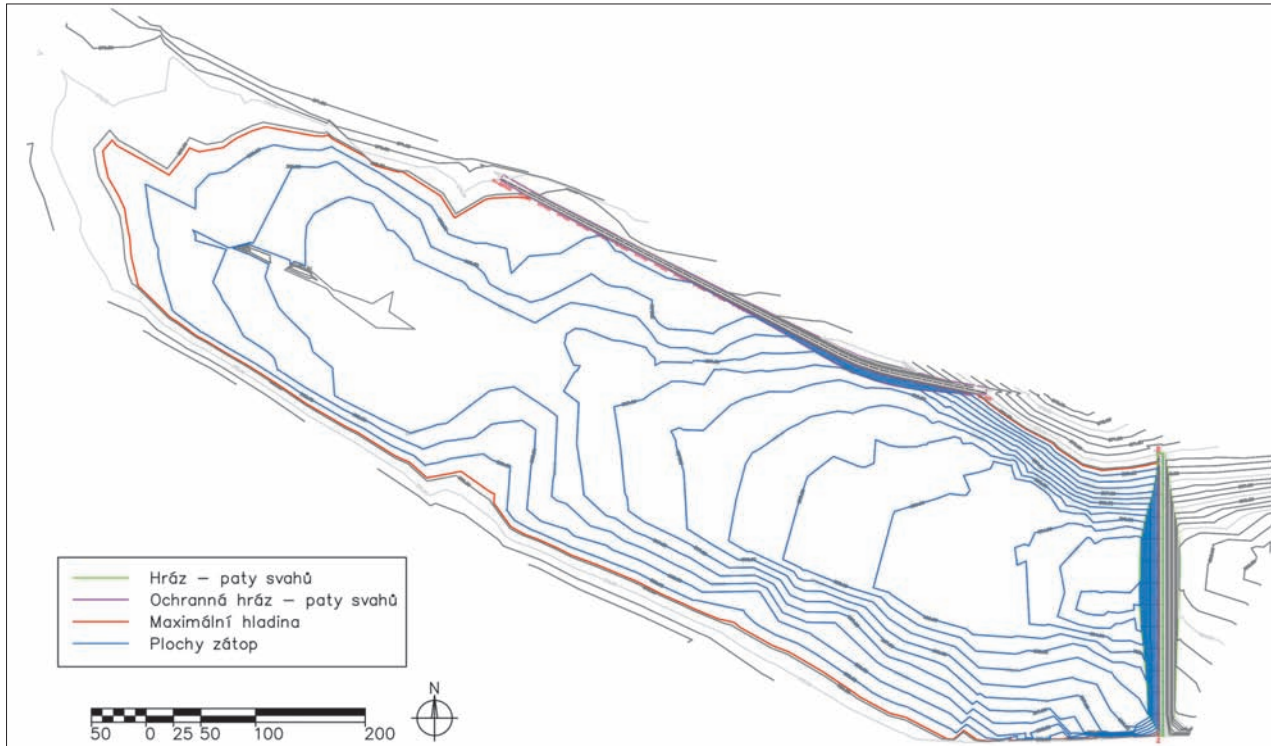
Obr. 117. Podélný profil hráze, nádrž č. 2



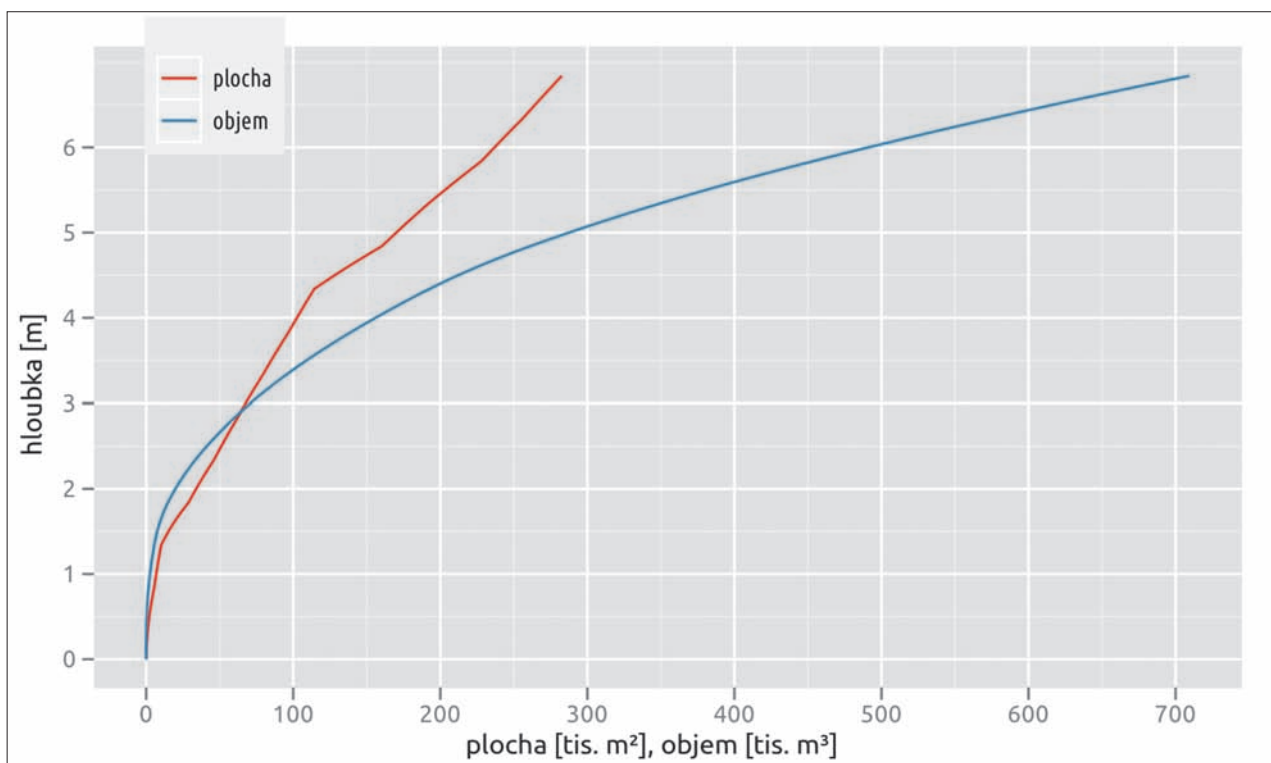
Obr. 118. Podélný profil ochranné hráze, nádrž č. 2

První varianta odpovídá nádrži s horizontálním uspořádáním objemu. Absolutní objemový ukazatel má vysokou hodnotu, čili z hlediska ekonomické efektivity je navržený profil hráze vhodně umístěn.

Druhou variantou je malá nádrž, nejmenší z navrhovaných nádrží s objemem vody po H_{max} 26 989 m³. Nádrž má horizontální uspořádání objemu a je velmi mělká, průměrná hloubka této nádrže je 0,65 m. Absolutní objemový ukazatel je větší než 10, a tak se jedná ještě o optimální umístění hrázového profilu, přestože hodnota tohoto parametru je druhá nejnižší v rámci všech navrhovaných nádrží. Vzhledem k malé hloubce vody v nádrži je pravděpodobné, že nádrž bude trpět vyšší eutrofizací.



Obr. 119. Hlavní situace, nádrž č. 2



Obr. 120. Batygrafické křivky, nádrž č. 2

Tabulka 46. Základní charakteristiky hrází navržených nádrží

Nádrž	1	2	3	a3	6	7	7b
nadmožská výška koruny hráze [m n. m.]	426,00	370,00	371,00	348,00	346,00	337,00	332,00
délka hráze [m]	139,30	258,00	352,77	263,00	450,46	325,36	241,35
max. šířka hráze [m]	50,75	36,34	48,75	23,50	14,02	35,21	12,68
max. výška hráze [m]	10,00	6,77	9,23	4,30	3,34	6,30	1,80
sklon návodního svahu	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 3	1 : 3
sklon vzdušního svahu	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2
kubatura hráze [m ³]	21 917	20 597	43 932	9 479	7 990	24 572	2 279
kubatura hráze s ochrannou hrází [m ³]		25 071					

Tabulka 47. Základní charakteristiky navržených nádrží

Nádrž	1	2	3	a3	6	7	7b
nadmožská výška maximální hladiny [m n. m.]	425,40	369,40	370,40	347,40	345,40	336,70	331,70
plocha zátopy při H_{\max} [m ²]	52 190	250 715	294 182	147 310	316 738	246 801	41 523
objem nádrže po H_{\max} [m ³]	193 644	549 675	1 047 557	253 782	319 436	633 036	26 989
max. hloubka [m]	8,65	6,24	8,21	3,70	2,37	6,00	1,50
délka zátopy [m]	521	1051	946	964	807	1266	382
max. šířka zátopy [m]	130	302	530	261	427	414	234
průměrná hloubka [m]	3,71	2,19	3,56	1,72	1,01	2,56	0,65
podélný sklon údolnice [%]	1,70	0,58	0,92	0,40	0,22	0,51	0,47
absolutní objemový ukazatel	8,84	21,93	23,85	26,77	39,98	25,76	11,84
stupeň členitosti břehové čáry	1,54	2,12	1,41	1,51	1,38	1,91	1,47
ukazatel prostorového uspořádání objemu	0,62	1,99	1,52	2,23	5,58	1,94	3,14

Posouzení technických opatření v povodí pro zmírnění účinku povodní

Při posouzení technických opatření v povodí Rakovnického potoka byly využity především navrhované nádrže, které svým objemem retenčních prostorů mohou výrazně ovlivnit kulminační průtoky. Vzhledem k zaměření práce nebyly posuzovány suché poldry, které nemají akumulační prostor a neumožňují řízené využívání vod v období sucha. Jako vstup sloužily především batygrafické křivky nádrží a údaj o maximální hladině. Jako návrhová průtoková data byly využity hodnoty vypočtené v kapitole 3.6.1, a to jak pro současný stav, tak pro situaci, kdy jsou v povodí aplikovány vybrané scénáře protierozních opatření.

Volba technických parametrů navrhovaných malých vodních nádrží

Při výpočtu transformace průtokové vlny nádrží je zásadní volba kóty přelivné hrany bezpečnostního přelivu. Při návrhových výpočtech se předpokládá, že hladina v nádrži na počátku výpočtu dosahuje právě kóty bezpečnostního přelivu, která určuje výšku normální hladiny. (Provozní hladina může být také stanovena na jiné kótě manipulačním řádem.) Za tohoto předpokladu rozděluje normální hladina celkový prostor nádrže na dva prostory – akumulační a retenční.

Akumulační objem nádrže lze stanovit jako objem vody v nádrži po normální hladinu. Tento objem se nepodílí na transformaci průtokové vlny, ale je zásadní při případných odběrech nebo při nalepšování průtoků v období sucha.

Retenční prostor nádrže je v uvažovaném případě neovladatelným retenčním prostorem a je vymezen normální a maximální hladinou. Tento prostor je využit pouze při průchodu průtokové vlny nádrží a jeho objem nelze v jiných obdobích vodohospodářsky využívat.



U jednotlivých nádrží je nutné posoudit kótu normální hladiny podle vodohospodářských požadavků v dané lokalitě. Vyšší kóta normální hladiny zvyšuje akumulaci prostoru nádrže, a tím zvyšuje i možnost využití zadržené vody v období sucha, zároveň však snižuje objem retenčního prostoru, a tím i možnou transformační funkci nádrže.

Se změnou retenčního prostoru je pro daný návrhový průtok nutné stanovit optimální délku přelivné hrany bezpečnostního přelivu tak, aby byl efektivně využit celý retenční prostor nádrže a zároveň aby nedošlo k zatopení koruny hráze. Pro nižší objemy retenčního prostoru je proto nutné navrhnout větší délku bezpečnostního přelivu, kvůli tomu se ale výrazně sníží transformační účinek nádrže. Při vyšším objemu retenčního prostoru lze navrhnout kratší délku přelivné hrany, a dosáhnout tak vyššího transformačního účinku.

Z výše uvedených důvodů byly pro jednotlivé nádrže vypočteny akumulace-transformační křivky nádrží, které vyjadřují závislost transformačního účinku nádrže na velikosti akumulacího objemu při zadaných parametrech maximální hladiny a neměnné batygrafii nádrže. Z akumulace-transformačních křivek lze zároveň pro daný návrh odečíst předpokládanou délku bezpečnostního přelivu, která umožní optimální využití retenčního prostoru při průchodu návrhového průtoku.

Metodika výpočtu transformací povodňových vln nádržemi

Výpočet transformace návrhových průtoků byl proveden zvlášť pro každou z pěti zaměřených malých vodních nádrží v povodí Rakovnického potoka. Jako návrhové průtoky pro stanovení šířky bezpečnostního přelivu při zadaných hodnotách normální a maximální hladiny byly použity výsledky z kapitoly 3.6.1 pro dobu opakování 100 let, což je doba opakování doporučená normou pro malé vodní nádrže (ČSN 75 2410) pro navrhování bezpečnostních přelivů. Návrhové průtoky byly odvozeny k profilům hrází navrhovaných nádrží. Jako základ pro posouzení byly převzaty výsledky průtoků pro současný stav, pro porovnání byly použity také průtoky vypočtené po aplikaci reálných protierozních opatření na povodí, reprezentované scénářem protierozních a agrotechnických opatření 2.

Pro usnadnění výpočtu transformace byl sestaven software SReFTraS (Small Reservoirs Floodwave Transformation Software), který modeluje transformaci průtokové vlny nádrží na základě zadaných nebo vypočtených batygrafických čar nádrže, zadané délky a typu bezpečnostního přelivu a jeho ztrátového součinitele a dalších parametrů nádrže (kóta max. a min. hloubky vody v nádrži, kóty vymezující retenční prostor nádrže). Do nádrže může vtékat více vodních toků s vlastní specifikací průtokových dat. Transformaci těchto průtokových vln nádrží lze řešit odděleně i simultánně. Výstupem z modelu je průběh transformace průtokové vlny nádrží. Další možností programu SReFTraS je výpočet akumulace-transformačních křivek nádrže, kdy se hledá optimální délka přelivné hrany pro efektivní využití retenčního prostoru nádrže v zadaném rozsahu optimalizovaných parametrů.

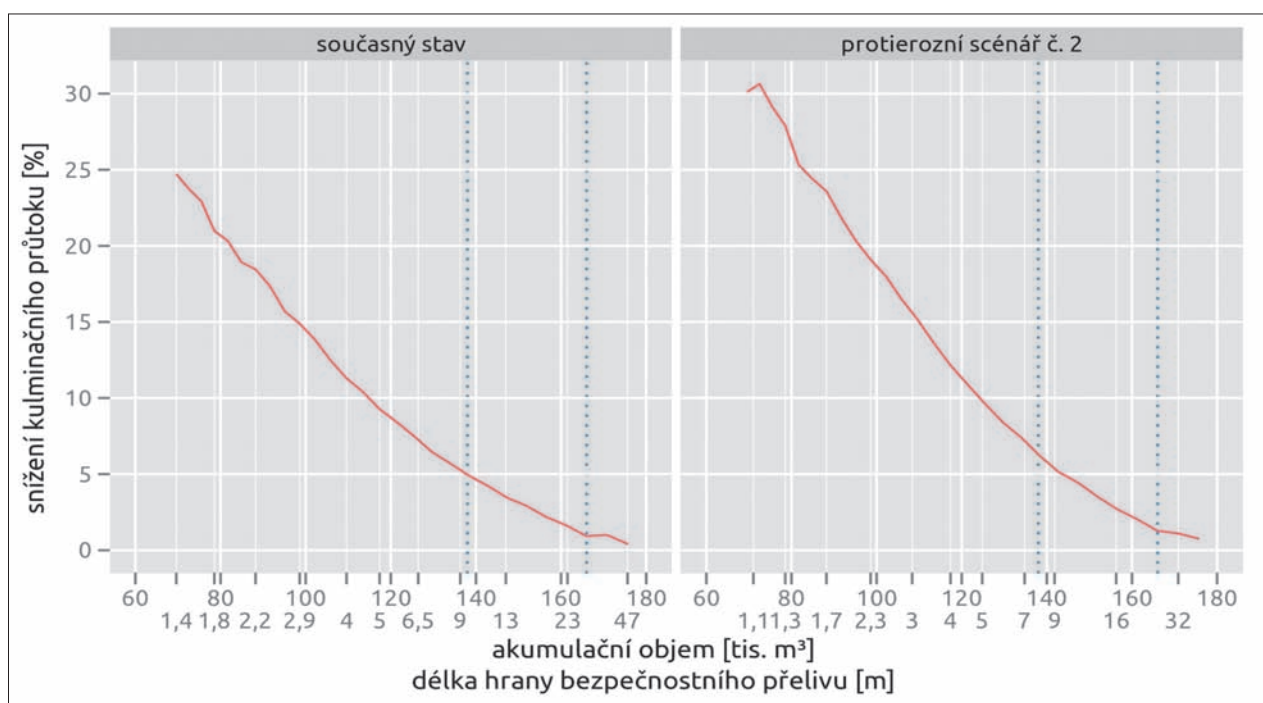
U každé z navrhovaných nádrží byly tedy stanoveny akumulace-transformační křivky a pro dva vybrané návrhové stavy byla zobrazena transformace povodňové vlny nádrží. Při výběru porovnávaných transformací byly zohledněny reálné rozměry přelivné hrany, kdy jako první varianta pro maximální transformaci byla volena hodnota výšky přepradového paprsku do 1,2 m a u varianty pro co největší objem akumulované vody v nádržích byla volena délka hrany bezpečnostního přelivu do 30 m.

Výsledky akumulace-transformačních křivek a transformací povodňových vln

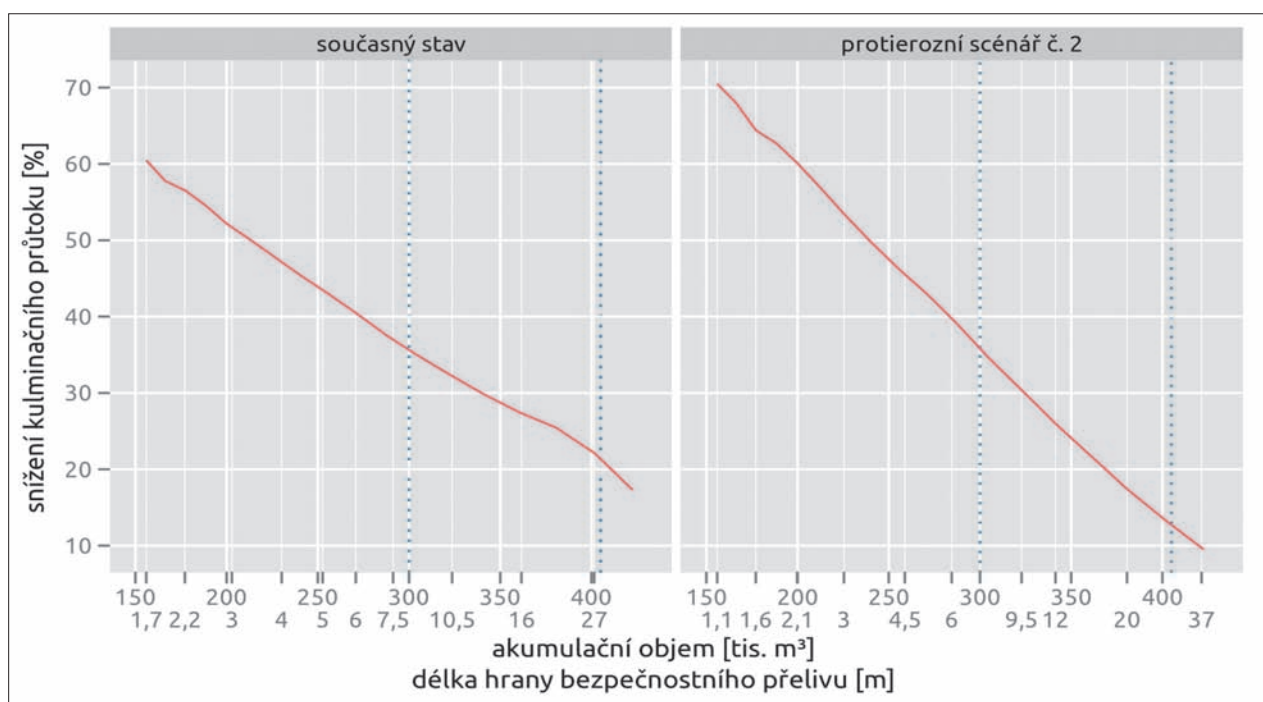
Vypočtené transformačně-akumulační křivky pro nádrž 1 jsou znázorněny na obr. 121. Z tohoto obrázku je patrné možné navýšení poměru transformačního účinku k akumulacího objemu nádrže po realizaci scénáře 2. Reálně lze uvažovat u nádrže 1 s akumulacího objemem od 138 do 166 tis. m³. Vzhledem k parametrům nádrže a její poloze v povodí nelze očekávat při průchodu povodňové vlny výrazné snížení kulminačního průtoku. Při současném způsobu hospodaření je možné snížit kulminační průtok od 0,9 % při maximalizaci akumulacího objemu nádrže (166 tis. m³) do 4,9 % při maximalizaci transformační funkce nádrže s akumulacího objemem 138 tis. m³. Při realizaci protierozních opatření podle scénáře 2 je reálné snížení kulminace o 1,3 až 6,2 % při shodných akumulacího objemech nádrže. Vypočtené délky bezpečnostního přelivu jsou pro současný stav 27,9 m pro případ maximalizace akumulacího objemu (snížení kulminace o 0,9 %) a 9,6 m pro případ maximalizace transformační funkce nádrže (4,9 %). Po realizaci protierozního scénáře 2 v povodí by bylo možné při vyšší efektivitě transformační funkce a za-

chování objemů nádrže zkrátit délky bezpečnostního přelivu na 24,8 m pro transformaci 1,3 % nebo na délku 7,9 m pro snížení kulminace o 6,2 %.

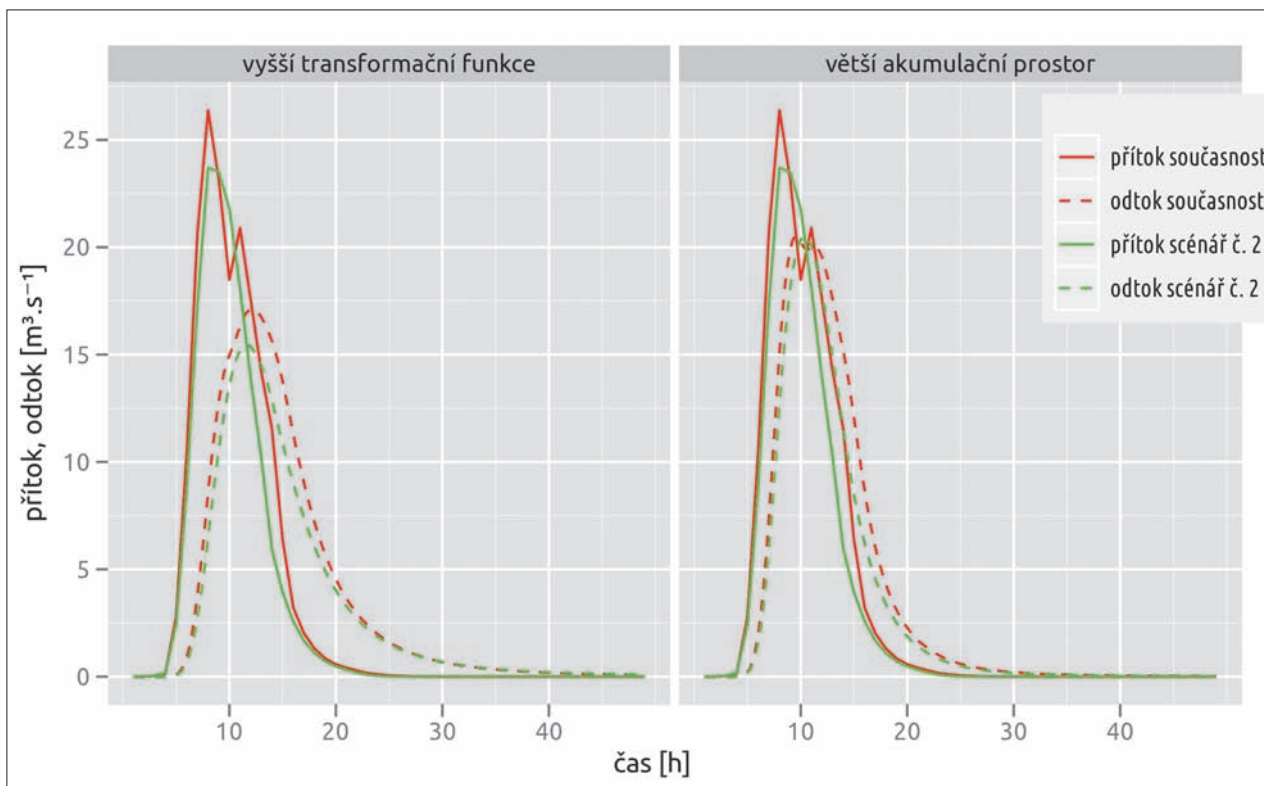
U nádrže 2 lze vzhledem k větší ploše nádrže předpokládat také vyšší transformaci povodňové vlny. Akumulační objem nádrže může dosahovat hodnot od 300 do 405 tis. m³. Pro první variantu by za současného stavu hospodaření byla kulminace snížena o 35 % a pro druhou variantu o 22 % (obr. 122 a 123). Vzhledem k charakteru návrhové průtokové vlny pro současný stav byl po aplikaci scénáře protierozních a agrotechnických opatření 2 vypočten velmi podobný transformační účinek jako za současného stavu hospodaření. Délky bezpečnostního přelivu dosahují pro první variantu cca 8 m a pro druhou variantu 27 m, a to pro současný stav i stav po realizaci scénáře 2.



Obr. 121. Akumulačně-transformační křivky nádrže 1 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulačního prostoru je od 138 do 166 tis. m³



Obr. 122. Akumulačně-transformační křivky nádrže 2 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulačního prostoru je od 300 do 405 tis. m³

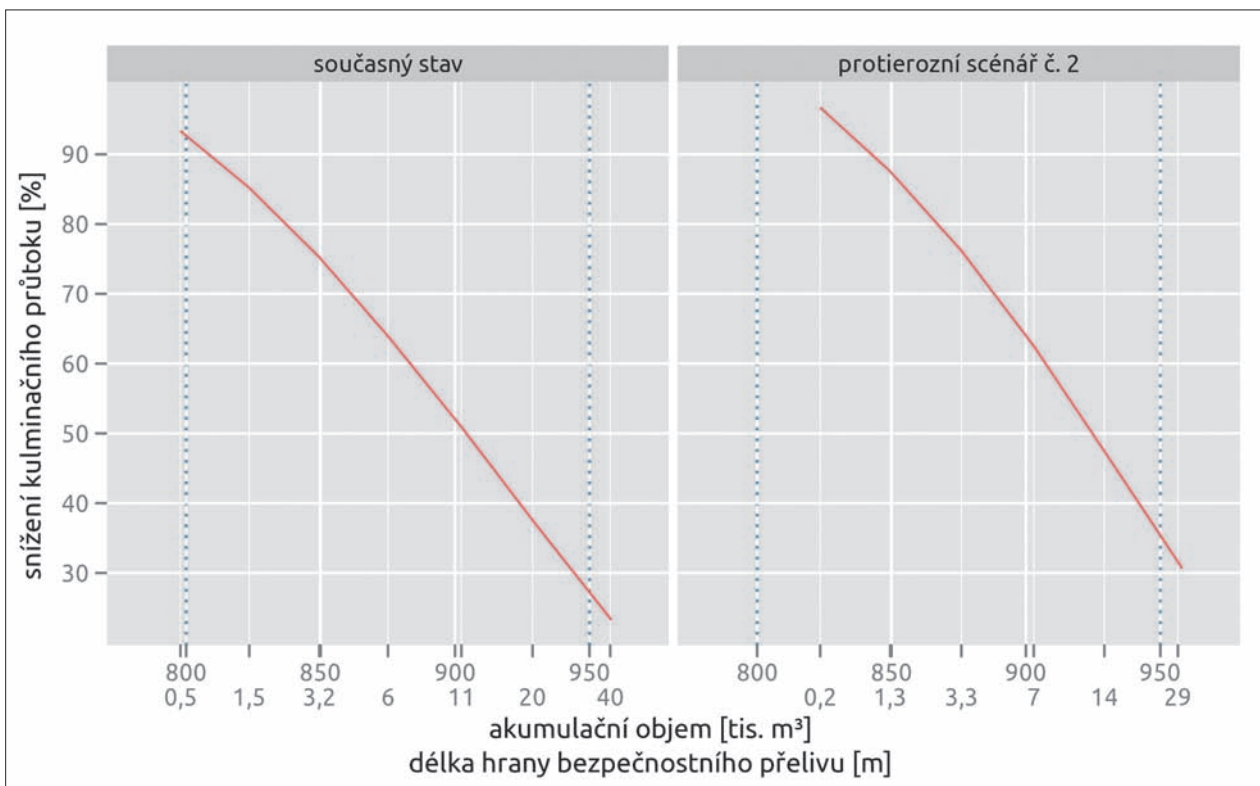


Obr. 123. Transformační účinek nádrže 2 při průtoku 100leté povodňové vlny za současného stavu a po aplikaci scénáře 2 při zvýšené transformační funkci nádrže, tj. při kratším bezpečnostním přelivu (8,6 m pro současný stav a 7,7 m pro scénář 2), a při větším akumulacím prostoru nádrže (401 tis. m³), tj. při dlouhé hraně bezpečnostního přelivu (26,9 m pro současný stav i pro scénář 2)

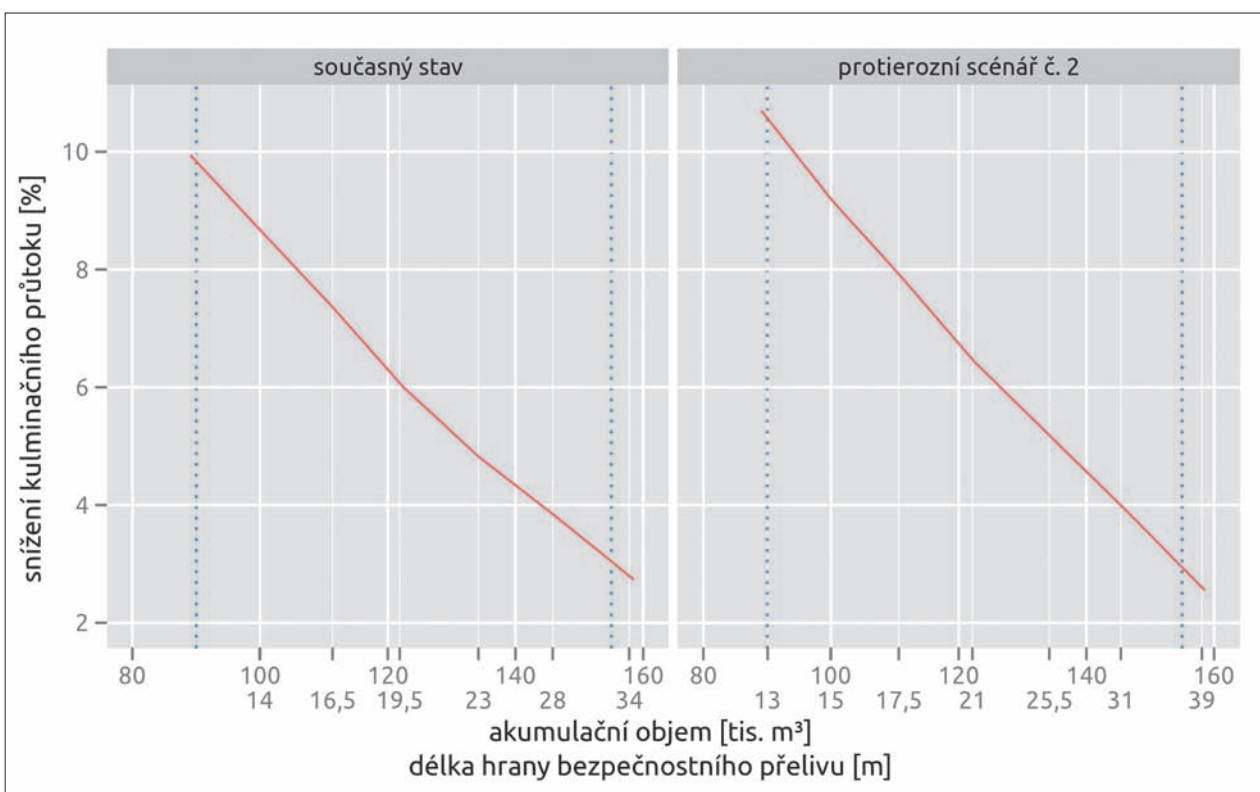
Vodní nádrž 3 má vzhledem k poměru plochy povodí k hrázi nádrže velký akumulací i retenční objem. U této nádrže je vhodné optimalizovat vodohospodářské využití nádrže na základě akumulacně-transformačních křivek (obr. 124). U této nádrže lze výrazně snížit kulminační průtok po realizaci scénáře protierozních opatření i pro současný stav. Poměrné snížení kulminace může být téměř 90% při akumulacím objemu nádrže 798 tis. m³ pro současný stav a po realizaci scénáře 2 až dokonce 823 tis. m³. Při zvýšení akumulacího objemu nádrže na 930 tis. m³ pro současný stav může být kulminační průtok snížen o 36%. Vypočtené hodnoty ukazují na další možné zvýšení akumulacího prostoru po realizaci protierozního scénáře 2 v povodí Petrovického potoka na 958 tis. m³ při stále uspokojivém snížení kulminace o 30%. V tomto případě by přelivná hrana bezpečnostního přelivu byla dlouhá 30 m. Délky bezpečnostního přelivu pro maximální transformační účinek nádrže jsou navrženy na 1 m.

U nádrže č. a3 je možné za současného stavu hospodaření uvažovat o snížení kulminace cca o 10% při délce přelivu 14 m a akumulacím objemu cca 90 tis. m³. Akumulací objem nádrže může dosahovat hodnot od cca 90 do 155 tis. m³. Při realizaci scénáře 2 dojde k určitému navýšení poměru transformačního účinku k akumulacímu objemu nádrže, avšak toto navýšení je jen minimální (obr. 125).

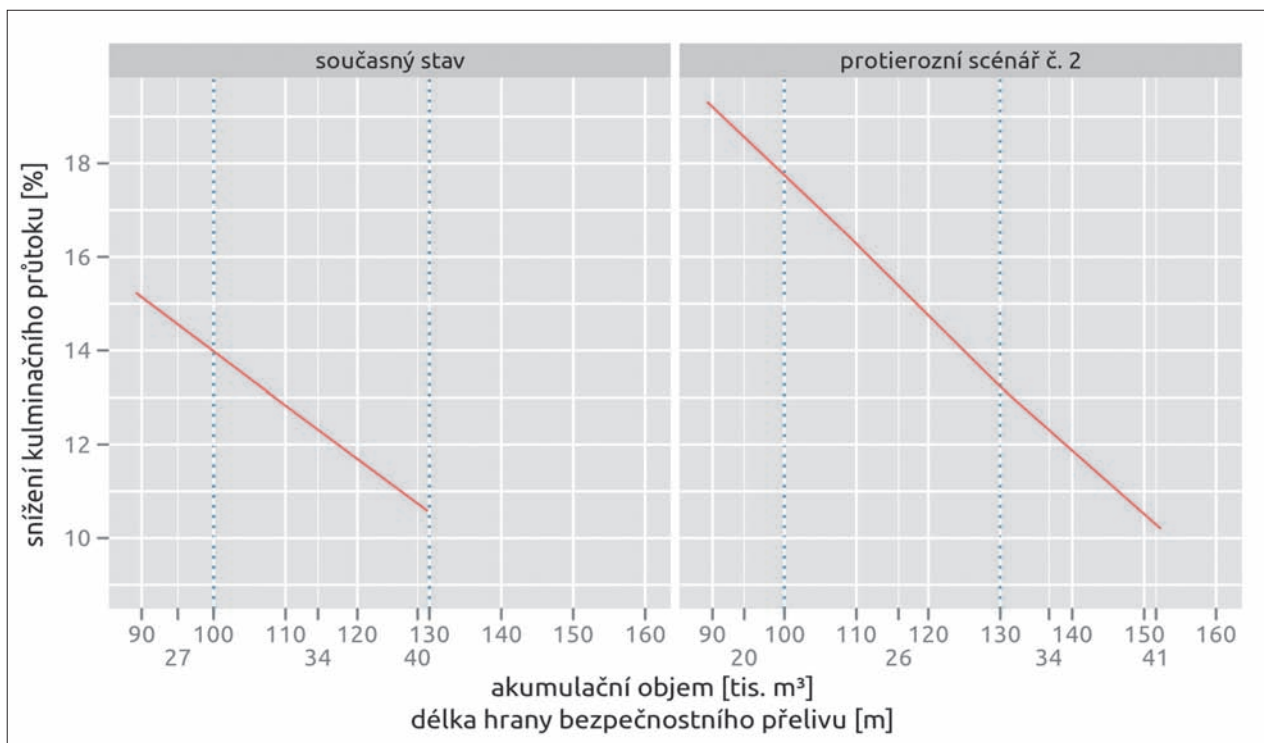
Nádrž 6 má z navrhovaných nádrží největší plochu. Oproti nádržím na Petrovickém potoce je však nesrovnatelná velikost povodí k hrázi nádrže. I relativně velký retenční prostor tak neumožňuje obdobné snížení kulminace. Při využití maximální navrhované výšky přelivného paprsku 1,2 m nelze kulminaci snížit o více než 14% při současném stavu hospodaření nebo 17% při realizaci scénáře 2 (obr. 126). Velikost přítoku do nádrže neumožňuje ani výrazné navýšení akumulacího prostoru, protože délka hrany bezpečnostního přelivu poté dosahuje extrémní délky. Při současném způsobu využití pozemků je maximální akumulací objem nádrže cca 130 tis. m³ při délce přelivné hrany 40 m a při snížení kulminace o 10%. Při realizaci scénáře protierozních opatření 2 může dojít k navýšení akumulacího objemu na 150 tis. m³ při shodné délce přelivné hrany a obdobném efektu při snížení kulminace.



Obr. 124. Akumulačně-transformační křivky nádrže 3 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulčního prostoru je od 800 do 950 tis. m³



Obr. 125. Akumulačně-transformační křivky nádrže a3 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulčního prostoru je od 90 do 155 tis. m³



Obr. 126. Akumulačně-transformační křivky nádrže 6 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulčního prostoru je od 100 do 130 tis. m³

Pro první variantu nádrže č. 7 je možné za současného stavu hospodaření uvažovat o snížení kulminace až o 54 % a pro druhou variantu až o 58 % při malé délce přelivu. Akumulační objem nádrže č. 7 může dosahovat hodnot od cca 200 do 500 tis. m³. Z obr. 127 je patrné možné navýšení poměru transformačního účinku k akumulčnímu objemu nádrže po realizaci scénáře 2, ale jen v jednotkách procent.

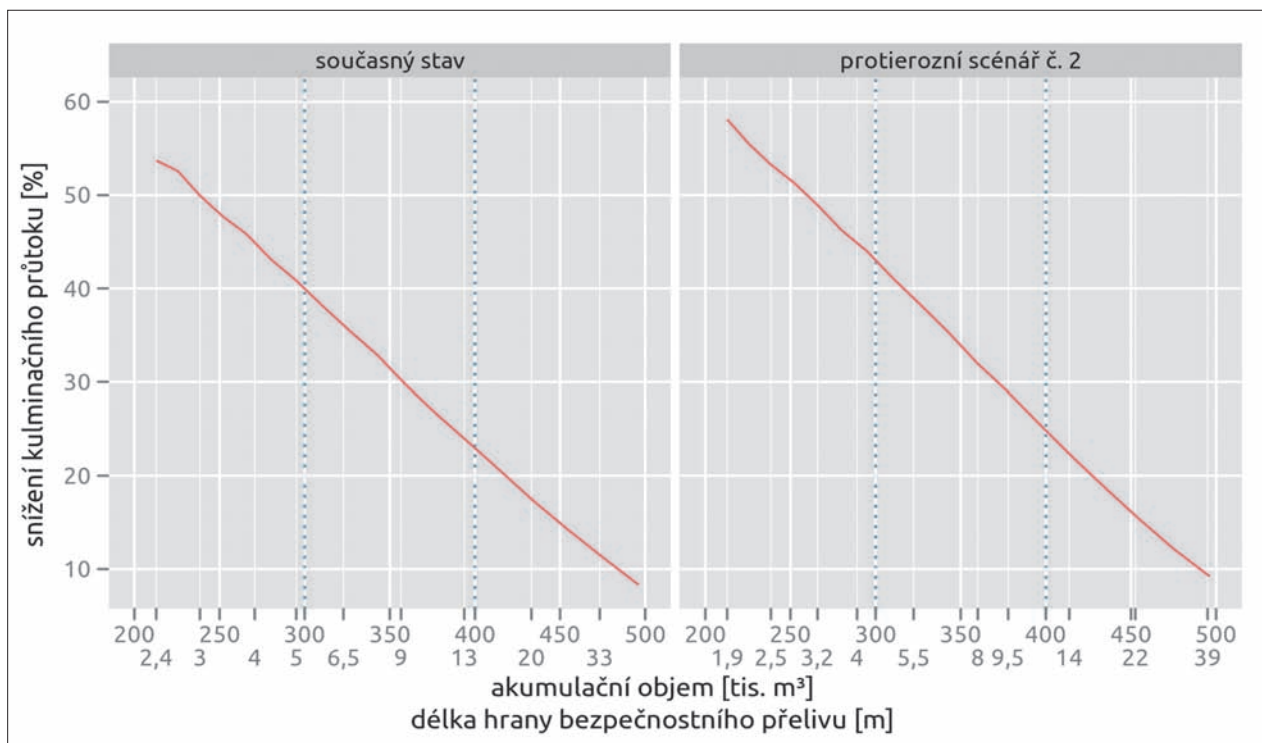
Druhá varianta nádrže (č. 7b) nemá pro svou velikost žádný potenciál pro transformování povodňové vlny. Z tohoto důvodu nebylo provedeno stanovení akumulčně-retenčních vztahů.

Diskuze k možným technickým a protierozním opatřením v povodí

Úkolem bylo posoudit možnosti technických a protierozních opatření z pohledu zmenšení kulminačních průtoků v povodí, která by měla být především důsledkem zvětšení akumulace a retence vody v krajině. Nejprve byla posuzována plošná opatření, která zvyšují infiltrační schopnosti povodí a drsnost povrchu a která obecně snižují riziko výskytu maximálních odtoků z povodí a erozních procesů na zemědělských pozemcích. Posuzované scénáře byly založeny na méně i více reálných změnách hospodaření na zemědělských pozemcích. Povodí Rakovnického potoka je z velké části intenzivně zemědělsky využíváno, a proto je případná aplikace navržených scénářů závislá na ochotě a motivaci zemědělců tyto změny zakomponovat do svého hospodaření. Největší efekt na akumulaci a retenci vody v povodí má samozřejmě výrazná změna typu krajiny z intenzivně zemědělsky využívané krajiny na krajinu s extenzivním využitím (lesy nebo louky) – to se ale jeví jako nereálné. Slouží však k posouzení možné maximální retence a akumulace vody v povodí. Ani takto zásadní změna krajiny nemůže zcela eliminovat povodňové průtoky, ale může je výrazně snížit.

Jako reálné se jeví scénáře č. 6 a 7, kde jsou pro změnu hospodaření vybrány půdy s nízkou propustností nebo pozemky v nivě říčních koryt, popř. pozemky v blízkosti intravilánu. Po zavedení těchto scénářů dojde pouze k minimálním změnám při maximálním odtoku z povodí (max. 4,7 % v snížení kulminace a 5,4 % při snížení objemu povodňové vlny). I přes relativně nízké snížení je velice důležitá zvýšená retence vody v území, která může alespoň částečně zmírnit důsledky sucha.

Větší zásahy do způsobu hospodaření povodí představují scénáře 2 a 3, kdy jsou navržena plošná opatření na všech pozemcích s ornou půdou, čímž je však snížena reálná možnost tyto změny zavést. Jedná se však pouze o změnu



Obr. 127. Akumulačně-transformační křivky nádrže 7 při současném stavu a po případné realizaci protierozních opatření podle scénáře 2, reálný objem akumulačního prostoru je od 300 do 400 tis. m³

v agrotechnických postupech, a nikoli o změnu zemědělských kultur. Realizace těchto opatření může být zvýšena řízenou podporou nových agrotechnických postupů. Navržené změny mají již velice příznivý efekt na snížení maximálních odtoků z povodí (v případě scénáře 2 efekt 15–18 % na snížení kulminačního průtoku a snížení objemu povodňové vlny, u scénáře 3 můžou být kulminace i objem sníženy o cca 4–6,5 %).

Výrazně větší zásah do způsobu hospodaření představuje scénář 1, při kterém se kombinuje možnost zatravnění svažitých pozemků a zatravnění méně propustných půd. Limitní hodnotou svažitosti pro zatravnění byl sklon svahu 4 % (tato hodnota je nereálně nízká). Tato změna se poté příznivě projeví na snížení kulminace až o 15 % na povodí Lišanského potoka, ale v rovinatějších terénech povodí potoka Kolečovického má jen minimální vliv. Navrhované změny by ale měly podpořit infiltraci a akumulaci vody právě v povodí Kolečovického potoka, kde je pro celou oblast měřen nejnížší úhrn srážek a výrazně se zde projevují dopady sucha.

Při posuzování technických opatření bylo dosaženo celkově vyššího efektu při zmírnění maximálních průtoků. Z pohledu zmírnění sucha jsou velice důležité také zásobní objemy nádrží, kde vzhledem k jejich navrhovaným parametřům je vysoká využitelná zásoba vody pro období sucha.

Jako nástroj pro rozhodování a optimalizaci akumulačních a transformačních funkcí nádrží byly sestaveny akumulačně-transformační křivky, ze kterých lze jednoduše odečíst zmenšení akumulačního prostoru v závislosti na zvýšení efektu při snižování zmenšování průtoku a naopak. Vysokého efektu pro akumulaci i transformaci (mnohem vyššího než u plošných opatření) bylo dosaženo u nádrže na Petrovickém potoce, která má velký zásobní prostor a relativně malou plochu zdrojového povodí. Vzhledem k velikosti nádrží je však nutné zvážit možnosti samotného napuštění tak velkého zásobního objemu. U nádrží 2 a 6 bylo také dosaženo vyšší efektivity při snížení kulminačního průtoku v porovnání s agrotechnickými opatřeními. Efektu srovnatelného s opatřeními v zemědělské krajině bylo dosaženo u nádrže 1.

Z výsledků je patrné, že nejvyššího efektu při snížení maximálních průtoků a tím i zvýšení akumulace a retence vody v krajině lze dosáhnout kombinací obou typů opatření. Díky kombinaci lze zvýšit akumulační prostory ve vodních nádržích, a tím také zvýšit možnost využití vody v zásobním prostoru pro nalepšování průtoků či pro pokrytí zvýšených odběrů vody v období sucha; zároveň se sníží náklady na vybudování technických objektů na nádržích.

3.6.4 Návrh a posouzení možných převodů vody

Nedostatek vody na povodí Rakovnického potoka byl také důvodem k posouzení využití zdrojů vody mimo jeho území nebo zhodnocení možnosti vícenásobného využití vody na samotném povodí. V rámci studie byly posuzovány dvě varianty převodu vody z řeky Ohře do Hájevského a následně Kolečovického potoka a možná varianta převodu vody z Lišanského potoka do nově navrhované nádrže na dolním toku Kolečovického potoka.

První posuzovanou variantou byl převod vody z vodního díla Nechanice do Hájevského potoka v severní části povodí Rakovnického potoka. Výhodou této varianty je odběr vody z vodního díla Nechanice, které bylo zbudováno mimo jiné také pro účely závlah a odběrů vody. Při výstavbě tedy není nutné budovat rozsáhlejší odběrný objekt a v průběhu odběrů je zajištěno dostatečné množství vody. Nevýhodou je dlouhá trasa dopravního vedení do zájmového území (cca 28 km) s celkovým stoupáním přibližně 200 m.

Jako druhá varianta bylo posuzováno možné převádění vody z Ohře pod přítokem Blšanky (u Zálužic u Žatce) do Hájevského potoka. U této varianty je dopravní vedení kratší přibližně o 10 km, na trase ale překonává výrazně větší převýšení. Celkové stoupání je přibližně 290 m. V místě plánovaného odběru vody je při této variantě nutné vybudovat na vodním toku odběrný objekt.

V dalších posuzovaných variantách byly hodnoceny možnosti převádění vody v rámci povodí Rakovnického potoka, a to z Lišanského potoka před ústím do Rakovnického potoka do navrhované vodní nádrže na dolním toku Kolečovického potoka. Pro provedení tohoto převodu byly uvažovány dvě varianty. V první variantě bylo posuzováno dopravní potrubí obcházející Rakovník ze severní strany. U této varianty je délka potrubí 8,5 km a celkové stoupání přibližně 100 m. Druhá varianta počítá s vedením jižně od Rakovníka, kdy délka potrubí je přibližně 7 km a celkové stoupání obdobné s variantou severní. U jižní varianty je však nutné na dvou místech překročit Rakovnický potok, což zvyšuje nároky na technické řešení.

Při posuzování technického řešení byly kromě rozdílných tras posuzovány varianty pro dva průměry dopravního potrubí D200 a D315 a tři možná dopravní množství vody: 20, 40 a 60 l.s⁻¹. Materiál potrubí byl zvolen z PVC. Pro každou variantu zvlášť byly posuzovány tlakové poměry v potrubí a na základě tohoto hodnocení byl zvolen počet čerpadel. U každého čerpadla bylo počítáno s umístěním zásobní jímky o objemu 10 m³, kam je vyústěno potrubí z níže položeného čerpadla a která slouží jako zdroj vody pro další čerpadlo. V této jímce zároveň dochází k přirozenému odvětrání potrubí. Jímka je přístupná revizní šachtou a je umístěna pod povrchem terénu. V těsné blízkosti této jímky je menší prostor o objemu cca 5 m³ pro umístění čerpadla, který je také přístupný revizní šachtou a umožňuje údržbu zařízení. Od čerpadla je vedeno tlakové potrubí do další zásobní jímky. Některé úseky potrubí je možné díky konfiguraci terénu brát jako gravitační, na jejich začátku a konci jsou umístěny pouze zásobní jímky. Dalším zohledněným nákladem na vybudování dopravního potrubí je položení elektrického a komunikačního kabelu do výkopu potrubí.

Porovnání navrhovaných variant převodu vody z řeky Ohře je uvedeno v *tabulce 48*. Porovnání jižní a severní varianty převodu vody z Lišanského do Kolečovického potoka je uvedeno v *tabulce 49*.

Tabulka 48. Porovnání navrhovaných variant dopravního potrubí pro převod vody z řeky Ohře

Varianta	Potrubí	Průtok	Odhad nákladů
Nechanice	D200	20 l.s ⁻¹	101 mil. Kč
Nechanice	D200	40 l.s ⁻¹	105 mil. Kč
Nechanice	D200	60 l.s ⁻¹	111 mil. Kč
Nechanice	D315	40 l.s ⁻¹	125 mil. Kč
Nechanice	D315	60 l.s ⁻¹	127 mil. Kč
Zálužice	D200	20 l.s ⁻¹	67 mil. Kč *
Zálužice	D200	40 l.s ⁻¹	71 mil. Kč *
Zálužice	D200	60 l.s ⁻¹	76 mil. Kč *
Zálužice	D315	40 l.s ⁻¹	82 mil. Kč *
Zálužice	D315	60 l.s ⁻¹	84 mil. Kč *

* u varianty Zálužice nebyly zahrnuty náklady na výstavbu odběrného objektu

Tabulka 49. Porovnání variant možných tras pro převod vody z Lišanského do Kolečovického potoka

Varianta	Potrubí	Průtok	Odhad nákladů
severní	D200	20 l.s ⁻¹	32 mil. Kč
severní	D200	40 l.s ⁻¹	34 mil. Kč
severní	D200	60 l.s ⁻¹	36 mil. Kč
severní	D315	40 l.s ⁻¹	40 mil. Kč
severní	D315	60 l.s ⁻¹	41 mil. Kč
jižní	D200	20 l.s ⁻¹	27 mil. Kč *
jižní	D200	40 l.s ⁻¹	28 mil. Kč *
jižní	D200	60 l.s ⁻¹	30 mil. Kč *
jižní	D315	40 l.s ⁻¹	33 mil. Kč *
jižní	D315	60 l.s ⁻¹	34 mil. Kč *

* u jižní varianty nebyly zahrnuty náklady na dva přechody přes Rakovnický potok

Při vzájemném porovnání navrhovaných variant je zřejmé, že hlavní roli ve výši nákladů na realizaci převodu vody má vzdálenost. U kratších variant jsou odhadované náklady nižší, a to i v případě vyššího celkového stoupání (varianta Zálužice). Počet zařazených čerpacích stanic již řádově neovlivňuje celkovou kalkulaci nákladů. Vzhledem k charakteru projektu nebylo možné zohlednit přesné trasování potrubí (majetkové poměry apod.), a tím i další detaily, které mohou změnit celkovou výši nákladů. Dále nejsou v kalkulaci zahrnuty provozní náklady při případné realizaci, jako např. spotřeba elektrické energie, náklady na údržbu a obsluhu apod.

Přesto lze odhadnout, že přečerpávání vody na území Rakovnického potoka lze realizovat s přibližně třetinovými náklady, než je převod vody z řeky Ohře, kde je ale v současné době zaručeno dostatečné množství vody pro realizaci tohoto opatření.

3.6.5 Posouzení revitalizace toků

V rámci povodí byly posouzeny rámcové možnosti revitalizace hlavních vodních toků, vybraných extravilánových úseků Rakovnického a Lišanského potoka. Toky v řešené oblasti povodí Rakovnického potoka jsou ze značné části upraveny do antropomorfních tvarů, vesměs výrazně kapacitnějších, než je průtočnost přirozených koryt. Napřímení toků, které prakticky bezvýhradně kopíruje údolnici, urychluje odtok z povodí. Za povodňových situací, kdy značná část průtoku prochází samotným korytem, dochází k jeho namáhání a zvýšené erozi dna a není v optimálním rozsahu využito transformačního potenciálu nivy. Ačkoliv koryta jeví známky samovolné renaturace, můžeme konstatovat, že není dosaženo optimálního propojení toku a jeho nivy.

Metodika řešení

Digitální model terénu (DMT) byl zpracován na základě dat ZABAGED a společně se zaměřením několika charakteristických profilů toku je vstupem pro orientační sestavení jednorozměrného hydraulického modelu HEC-RAS 4.0.

Hydrologické parametry pro posuzování jednotlivých úseků byly odečteny z Hydrologických poměrů III (1970) z toho důvodu, že jiná hydrologická data nebyla k dispozici. V návaznosti na zjištěné trendy hydrologických veličin (v kap. 3.2) lze konstatovat snížení odtokové výšky, potažmo průměrného ročního průtoku prakticky na polovinu. Obdobně se lze domnívat, že současné hodnoty m-denních průtoků budou nižší než ve schematických výpočtech kapacity stávajících koryt.

Na základě topografických, hydraulických a hydrologických dat byly vypočteny úrovně hladin pro rozsah průtoků $Q_{364d} - Q_{100}$.

V dalším kroku byla provedena analýza trendů geomorfologického vývoje podle Metodiky odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkých opatření (Věstník Ministerstva životního prostředí 11/2008). Trend geomorfologických procesů pro jednotlivé úseky vychází ze sklonu údolnice a průměrného ročního průtoku. Z výsledného morfologického typu koryta byl odvozen návrh revitalizace toku a nivy mimo zastavěná území.



Popis řešených toků

Rakovnický potok

První úsek zkoumané části Rakovnického potoka (R1) začíná nad zástavbou Rakovníka a končí soutokem s levostranným přítokem – Kolečovickým potokem. Tok je napřímen a prakticky kopíruje údolnici. V dolní části 1. úseku jsou břehové porosty poměrně zachovalé a celkově tvoří pás široký přibližně 25 m, na břehové porosty navazují částečně zatravněné plochy, v horní části je vegetační doprovod řídký. Kapacita koryta v průměru dosahuje Q_2 (obr. 128).

Druhý řešený úsek Rakovnického potoka (R2) je vymezen horním okrajem zástavby obce Senomaty a končí pod obcí Pšovlky.

Kapacita stávajícího koryta mírně přesahuje Q_2 , tok je napřímen, ale na rozdíl od nižšího úseku je širší okolí toku bez intenzivnějšího zemědělského využití, inundace je ve větší míře využívána jako louky, lesy, popř. rozptýlená zeleň (obr. 129).



Obr. 128. Typická ukázka nivy vodního toku v úseku R1 podle ortofotomapy



Obr. 129. Typická ukázka nivy vodního toku v úseku R2 podle ortofotomapy





Třetí úsek (R3) je zdola vymezen přibližně horním okrajem Pšovlk a je ukončen pod spodním okrajem obce Oráčov. Kapacita koryta především díky vyššímu sklonu údolnice a hydraulicky hladšímu korytu s nižší hustotou dřevinných porostů mírně přesahuje Q_5 , na břehovou hranu prakticky bezprostředně navazuje orná půda (obr. 130).



Obr. 130. Typická ukázka nivy vodního toku v úseku R3 podle ortofotomapy

Lišanský potok

Prvním úsekem Lišanského potoka (L1) je tok od ústí do Rakovnického potoka až po soutok s Čistým potokem. Tok prochází poměrně plochou nivou, která je využívána jako louky, popř. jako polopřírodní zamokřené travnaté porosty s rozptýlenou dřevinnou vegetací (obr. 131).



Obr. 131. Typická ukázka nivy vodního toku v úseku L1 podle ortofotomapy



Druhým úsekem (L2) je Lišanský potok od přítoku Čistého potoka po křížení se silnicí E48. Spodní část, přibližně 4 km dlouhá, prochází z větší části travnatými, místy zamokřenými lokalitami s výskytem břehových a doprovodných porostů. Pod obcí Lišany přechází tok do užšího přímého pásu, niva je zorněná a do toku jsou zaústěny četné meliorační příkopy, až na drobné výjimky si tok uchovává podobný charakter až ke konci úseku – silnici E48 (obr. 132).



Obr. 132. Typická ukázka nivy vodního toku v úseku L2 podle ortofotomapy

Možnosti technického řešení

Při vývoji toků bez zásahu člověka se toky přirozeně formují podle charakteristik lokality, ve které se nacházejí. Tvary koryta i trasy toku jsou ovlivněny především sklonitostními poměry, srážko-odtokovými poměry a typem hornin a půd. Základní klasifikace geomorfologických typů přírodních koryt rozlišuje čtyři kategorie toků – toky přímé, divočící, meandrující a stabilně větvené. Cílem revitalizace je navrácení upraveného toku do co možná nejpřirozenějšího stavu. Základem pro návrh nové trasy a tvaru koryta je tedy vyhodnocení geomorfologické kategorie toku na základě dat popisujících dané území.

Z trendů geomorfologických korytotvorných procesů vyplývá, že přirozeným typem je plně meandrující koryto (obr. 133). V rámci řešených toků se přirozený typ tohoto koryta nevyskytuje, což je dáno intenzivním zemědělským využíváním nivy a proběhlými úpravami vodních toků.

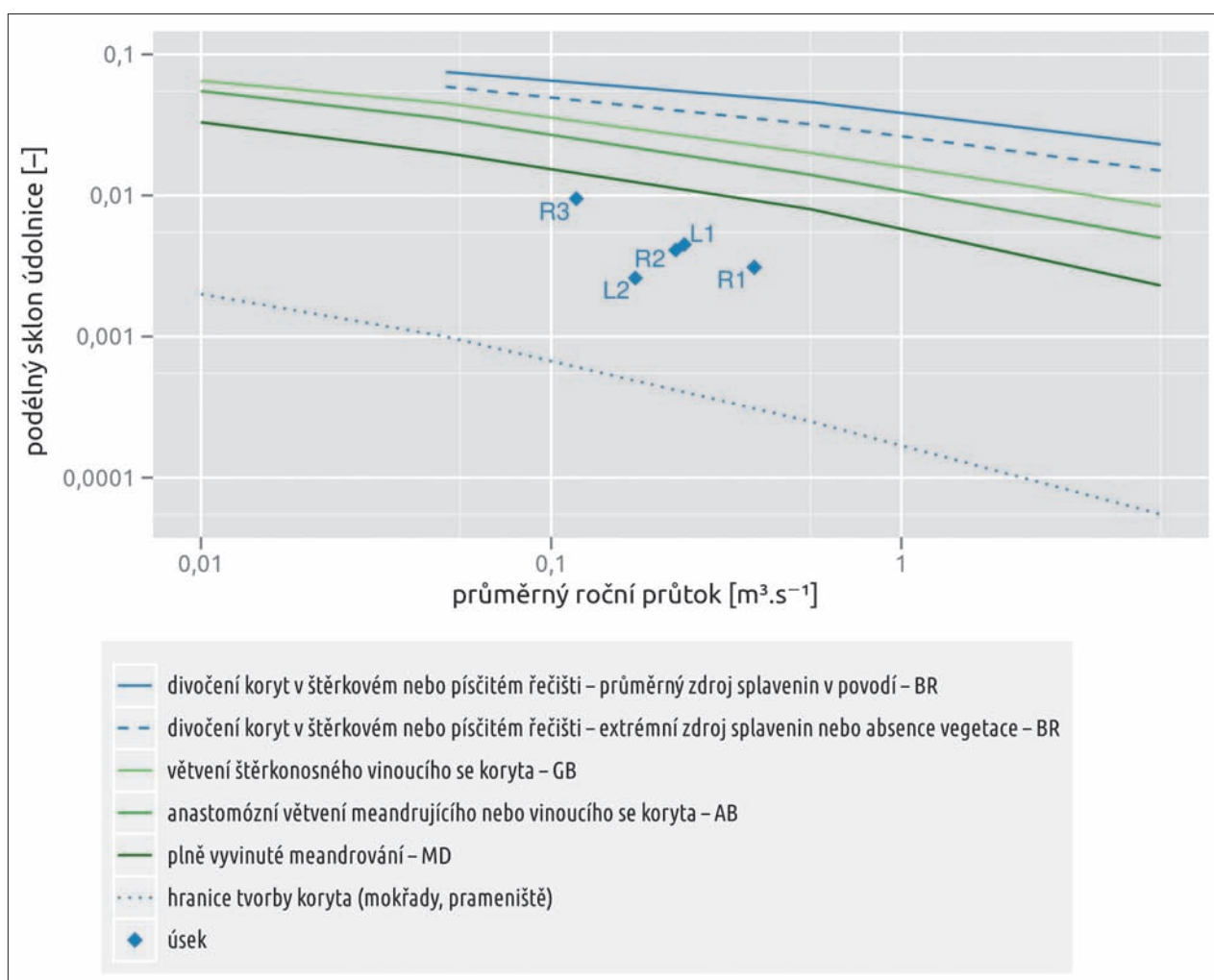
Meandrující koryta jsou charakteristická pro úseky s mírným sklonem, širším údolím a s jemnozrnným složením materiálu dna a břehů. Je pro ně charakteristická výrazně zakřivená trasa, s parametrem vinutí (poměr délky osy koryta a délky údolnice) 1,5 a více. Bezprostředně s tím souvisí charakter proudění, které je výrazně prostorové a proudnice v meandrech mají tvar šroubovice. U konkávního břehu se tak setkáváme se svislými složkami rychlostí. Vlivem toho zde dochází k erozi jemnozrnného materiálu, který je prouděním u dna transportován ke konvexnímu břehu, kde se ukládá. V obloucích má proto meandrující koryto asymetrický tvar příčného průřezu. Vývoj koryta závisí na rychlosti eroze konkávních břehů oblouků, změny se proto týkají zejména posunu břehových linií u konkávních břehů a postupným zanášením břehů konvexních. Zamezení výrazné břehové eroze lze docílit výsadbou vhodné doprovodné vegetace.

Revitalizace

Cílem revitalizace je uvést tok do přirozeného stavu, tedy do stavu, v jakém by se nacházel, pokud by člověk neprovedl žádný zásah. V ideálním případě se revitalizace provádí podle historických záznamů, které popisují tok před úpravou. Pro návrh nové trasy toku je vhodné vycházet například z historických nebo katastrálních map, ve kterých je ně-

kdy původní koryto zaneseno, nebo je patrné z tvaru hranic současných pozemků. V případě historických mapových podkladů (ortofotomapa z 50. let, II. vojenské mapování, otisky stabilního katastru) lze konstatovat, že toky kulturní krajiny Rakovnicka byly z velké části směrově upraveny již před hlavní etapou úprav toků ve 2. polovině 20. století. Koncept návrhu vybraných úseků vychází z pravidel uvedených v následujících bodech podle Justa et al. (2005):

- Miskovitý tvar příčného profilu, široký a mělký, se sklonem svahů cca 1 : 3. V místech oblouků může být profil nesymetrický, svah u konkávního břehu je poté prudší než u konvexního břehu.
- Nízká průtočná kapacita, návrh na průtok Q_{30d} až Q_1 , která podporuje rozlivy do nivy při vyšších vodních stavech.
- Větší poměr hloubky a šířky koryta – pro toky střední velikosti je ideální poměr 1 : 8 až 1 : 10, pro velmi malé toky může být až 1 : 4.
- Absence těžkého nepoddajného opevnění, koryto je v případě nutnosti možné stabilizovat pouze pohozy z místního kamene.
- Nejednotný podélný sklon.
- Přítomnost tůní, větších balvanů v toku, popř. dalších rozčleňujících objektů, podporující oživení toku, popř. i samočisticí schopnosti.
- Šířka meandračního pásu bývá 10 až 14násobkem šířky koryta.
- Poloměr oblouků bývá 2 až 3násobkem šířky koryta.
- Vzdálenost mezi obloukem a následujícím brodem bývá 5 až 7násobkem šířky koryta.



Obr. 133. Trendy geomorfologických korytotvorných procesů pro úseky řešených toků

Tabulka 50. Vyhodnocení množství povrchové vody ve stávajícím toku, v navrhované revitalizaci a vyhodnocení změn (vše v $m^3 \cdot m^{-1}$ toku)

Objem vody stávající [$m^3 \cdot bm^{-1}$]										
úsek	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	0,91	1,34	0,66	0,41	0,17	13,08	18,43	28,49	41,48	78,49
R2	0,5	0,72	0,36	0,22	0,11	9,42	10,8	16,29	31,46	60,17
R3	0,31	0,42	0,24	0,16	0,08	4,25	4,88	6,08	12,7	21,54
L1	0,64	0,91	0,48	0,3	0,16	10,86	13,94	22,52	34,85	59,16
L2	0,46	0,66	0,33	0,2	0,1	11	12,9	15,33	23,52	41,83
Objem vody revitalizace [$m^3 \cdot bm^{-1}$]										
úsek	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	2,46	4,75	1,98	1,51	1,08	37,89	43,23	51,5	63,07	97,81
R2	1,51	3,38	1,3	1,06	0,92	32,28	36,52	44,17	55,66	80,55
R3	1,18	2,91	1,09	1	0,9	10,94	13,96	18,52	21,85	31,57
L1	1,59	3,57	1,37	1,13	0,96	25,8	30	35,64	45,83	68,28
L2	1,41	3,29	1,24	1,05	0,92	18,14	21,1	24,77	32,32	50,42
Změna objemu [$m^3 \cdot bm^{-1}$]										
úsek	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	1,55	3,41	1,32	1,1	0,91	24,81	24,8	23,01	21,59	19,32
R2	1,01	2,66	0,94	0,84	0,81	22,86	25,72	27,88	24,2	20,38
R3	0,87	2,49	0,85	0,84	0,82	6,69	9,08	12,44	9,15	10,03
L1	0,95	2,66	0,89	0,83	0,8	14,94	16,06	13,12	10,98	9,12
L2	0,95	2,63	0,91	0,85	0,82	7,14	8,2	9,44	8,8	8,59

Tabulka 51. Vyhodnocení množství povrchové vody ve stávajícím toku, v navrhované revitalizaci a vyhodnocení změn v absolutním množství

Celkový objem vody stávající [m^3]											
úsek	délka [m]	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	2 500	2 275	3 350	1 650	1 025	425	32 700	46 075	71 225	103 700	196 225
R2	4 500	1 250	1 800	900	550	275	23 550	27 000	40 725	78 650	150 425
R3	1 800	775	1 050	600	400	200	10 625	12 200	15 200	31 750	53 850
L1	1 800	1 600	2 275	1 200	750	400	27 150	34 850	56 300	87 125	147 900
L2	9 200	1 150	1 650	825	500	250	27 500	32 250	38 325	58 800	104 575
celkem	7 050	10 125	5 175	3 225	1 550	121 525	152 375	221 775	360 025	652 975	
Celkový objem vody revitalizace [m^3]											
úsek	délka [m]	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	2 500	6 150	11 875	4 950	3 775	2 700	94 725	108 075	128 750	157 675	244 525
R2	4 500	3 775	8 450	3 250	2 650	2 300	80 700	91 300	110 425	139 150	201 375
R3	1 800	2 950	7 275	2 725	2 500	2 250	27 350	34 900	46 300	54 625	78 925
L1	1 800	3 975	8 925	3 425	2 825	2 400	64 500	75 000	89 100	114 575	170 700
L2	9 200	3 525	8 225	3 100	2 625	2 300	45 350	52 750	61 925	80 800	126 050
celkem	20 375	44 750	17 450	14 375	11 950	312 625	362 025	436 500	546 825	821 575	
Celková změna objemu [m^3]											
úsek	délka [m]	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
R1	2 500	3 875	8 525	3 300	2 750	2 275	62 025	62 000	57 525	53 975	48 300
R2	4 500	2 525	6 650	2 350	2 100	2 025	57 150	64 300	69 700	60 500	50 950
R3	1 800	2 175	6 225	2 125	2 100	2 050	16 725	22 700	31 100	22 875	25 075
L1	1 800	2 375	6 650	2 225	2 075	2 000	37 350	40 150	32 800	27 450	22 800
L2	9 200	2 375	6 575	2 275	2 125	2 050	17 850	20 500	23 600	22 000	21 475
celkem	13 325	34 625	12 275	11 150	10 400	191 100	209 650	214 725	186 800	168 600	

Rámcový odhad nákladů

Rámcový odhad nákladů vychází z Metodiky odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodně blízkých opatření (MŽP, 2008), zároveň byly náklady konfrontovány s Ceníkem AOPK, který stanovuje náklady obvyklých opatření. Ceny uvedené v Metodice OOV (pro kategorii vodnosti toku Q_a 0–2 m³.s⁻¹ se cena pohybuje v rozmezí 2 000–8 000 Kč.m⁻¹ koryta) byly upraveny s ohledem na charakter nivy a velikost toku.

Tabulka 52. Rámcové stanovení nákladů podle metodiky OOV a ceníku AOPK pro náklady obvyklých opatření

Délka [m]	Šířka nivy [m]	Úsek	Cena podle metodiky OOV MŽP [Kč.m ⁻¹]	Celková cena podle metodiky OOV MŽP [Kč]	Limitní náklady OPŽP [Kč.m ⁻² nivy]	Limitní náklady [Kč]
2 500	42	R1	4 500	11 250 000	150	15 750 000
4 500	35	R2	4 000	18 000 000	150	23 625 000
1 800	25	R3	3 500	6 300 000	150	6 750 000
1 800	35	L1	4 000	7 200 000	150	9 450 000
9 200	30	L2	3 500	32 200 000	150	41 400 000
celkem				74 950 000		96 975 000

Tabulka 53. Efektivita revitalizace toku a nivy vztažená na změnu objemu vody pro navrhovaný revitalizovaný stav oproti stávajícímu pro rozsah průtoků Q_{364d} – Q_{100} v Kč.m⁻³

Délka [m]	Úsek	Q_a	Q_{30d}	Q_{180d}	Q_{330d}	Q_{364d}	Q_1	Q_2	Q_5	Q_{20}	Q_{100}
2 500	R1	2 903	1 320	3 409	4 091	4 945	181	181	196	208	233
4 500	R2	7 129	2 707	7 660	8 571	8 889	315	280	258	298	353
1 800	R3	2 897	1 012	2 965	3 000	3 073	377	278	203	275	251
1 800	L1	3 032	1 083	3 236	3 470	3 600	193	179	220	262	316
9 200	L2	13 558	4 897	14 154	15 153	15 707	1 804	1 571	1 364	1 464	1 499

Závěr

Z tabulek 50 a 51 vyplývá, že při průtocích $\leq Q_a$ je v souvislosti s revitalizací toku dosahováno navýšení zejména vytvořením průtočných a neprůtočných tůní, u nichž byl uvažován objem 0,8 m³.bm⁻¹ koryta. Při průtocích od Q_{30d} výše je uvažováno s naplněním objemu tůní, kdy je zvažován objem 2,4 m³.bm⁻¹ koryta. Objem tůní je ovšem obtížně vyčíslitelný a podléhá dynamickému vývoji a zazemňování.

Nejvyššího absolutního rozdílu objemu vody je dosahováno při kapacitách odpovídajících průtočnosti stávajícího koryta, tj. vesměs při hodnotách průtoků Q_2 – Q_5 . V rozsahu těchto průtoků se v největší míře projevuje vliv rozlivu a transformačního potenciálu nivy vzhledem k její vyšší uvažované drsnosti oproti stávajícímu využití území. V těchto průtokových scénářích dochází k největším změnám zaplavené plochy.

S ohledem na geologické a pedologické vlastnosti však mají zdejší nivní půdy převážně nižší, popř. střední rychlosti infiltrace – převážná část nivy Lišanského potoka spadá do hydrologické skupiny půd C (0,05–0,10 mm.min⁻¹), podobně jako niva Rakovnického potoka kromě přibližně 1 km dlouhé spodní části úseku č. 1. Infiltrační schopnost půd niv je převážně nižší střední, kromě spodní části úseku č. 1 Rakovnického potoka, kde je infiltrační schopnost střední. S ohledem na dostupné podklady, různorodost a složitost zájmového území nebyla řešena změna objemu příporchové zvodně, ale v souvislosti se zvýšením nivelety dna koryta o 0,7–1,1 m lze očekávat zvýšení jejího objemu.

V tabulce 52 byly rámcově stanoveny náklady opatření pro revitalizaci toku a nivy, které vycházely z používaných metodik a nákladů obvyklých opatření. Na jejich základě byla v tabulce 53 stanovena celková efektivita v Kč vztažená na 1 m³ zadrženo objemu vody oproti stávajícímu stavu pro průtoky v rozmezí Q_{364d} – Q_{100} .

Z výsledků lze vyvodit závěr, že náklady na 1 m³ zadrženo vody jsou pro revitalizace vodních toků řádově vyšší než náklady na výstavbu retenčních prostorů vodních nádrží, popř. suchých nádrží. Vliv na přìpovrchovou zvodně lze pokládat za významný, ale stěží kvantifikovatelný.

4 ZÁVĚR – SHRUTÍ POZNATKŮ

Charakteristika zájmového území

Povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem leží v nadmořských výškách cca 315–600 m n. m., sklony terénu jsou na většině povodí malé, průměrně 7 %. Významná je velká míra zemědělského využití povodí a nerovnoměrné rozmístění zalesněných částí povodí; 59 % plochy povodí je využito jako orná půda, 18 % je zalesněno.

Většina povodí leží v permokarbonské rakovnické pánvi, do horní části povodí Rakovnického potoka zasahují magmatity čistecko-jesenického masivu. V povodí se vyskytují denundační reliktové sedimenty křídla a terciéru, povrch je pokryt sedimenty kvartéru. Detailní geologická i hydrogeologická stavba území je poměrně pestrá. Z podrobných průzkumů v jímacím území nad Rakovníkem vyplývá, že střídání průlino-puklinových kolektorů a izolátorů je značně chaotické, dominantní vliv na proudění podzemní vody má tektonika. V rozsáhlejších oblastech je proto možno racionálně hodnotit pohyb podzemní vody jen s použitím velmi zjednodušeného přístupu, kdy se horninové prostředí uvažuje jako kvazihomogenní.

V povodí Rakovnického potoka se vyskytují především půdy se střední rychlostí infiltrace ($0,06\text{--}0,12\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$), v povodí Lišanského potoka jsou významně zastoupeny i půdy s vysokou rychlostí infiltrace (více než $0,12\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). Půdy s malou infiltrační schopností $0,02\text{--}0,06\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ se vyskytují jen ojediněle, zejména v povodí Kolečovického potoka.

V povodí Rakovnického potoka nad Rakovníkem se nachází cca 85 malých vodních nádrží, jejich celková výměra je zhruba 143 ha. Z toho připadá 44 ha na Velký jesenický rybník, který však není běžně zcela napouštěn, odhad jeho skutečné rozlohy je asi 15 ha. Reálná plocha rybníků je tedy cca 114 ha, tj. 3,8 % plochy povodí. Přibližně 70 % rybníků má plochu menší než 1 ha. Rybníky, které vytvářejí na horním toku Rakovnického potoka jesenickou soustavu, jsou vypouštěny jednou či dvakrát za 2 roky, většinou na podzim, popř. na jaře. Pokud vypouštění začne v září, může přispět ke zkrácení období minimálních průtoků na Rakovnickém potoce, při plnění rybníků však je vypouštěn jen předepsaný minimální průtok a průtoky jsou znatelně zmenšovány. Vzhledem k tomu, že jesenická rybníční soustava je spojena s odběry vody v Jesenicích, není pro zlepšování průtoků Rakovnického potoka vhodná. Zásobní objem několika dalších relativně významných malých vodních nádrží v povodí nad městem Rakovník je asi 250 tis. m^3 . Jejich teoretická schopnost navýšit průtoky při polovičním vypouštění je cca $24\text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ po dobu dvou měsíců, účel nádrží však je jiný.

Klimatické poměry a trendy klimatických veličin

Rozhodující veličinou, která v našich přírodních podmínkách ovlivňuje velikost odtoku, jsou atmosférické srážky. Plošná proměnlivost dlouhodobých úhrnů srážek není na povodí Rakovnického potoka zanedbatelná. Rozmezí ročních úhrnů srážek je 484–584 mm. Srážkové úhrny jsou nejnižší v severozápadní části povodí, zejména na subpovodích Kolečovického potoka. Naopak v jižní části povodí dosahují výšky srážky na jednotlivá subpovodí hodnot nad 510 mm. Subpovodí Kounovského a Krušovického potoka při severovýchodním okraji povodí mají roční výšky srážek nejvyšší – až nad 530 mm.

Z hlediska dlouhodobého kolísání srážek nedošlo v řadě počínající rokem 1876 k žádným významným změnám. Nepatrně klesající trend srážek v období 1931–2008 není podstatný a dlouhodobý režim je z hlediska průměru ročních úhrnů srážek stacionární. Nicméně ve stanici Kounov je klesající trend v období 1960–2008 natolik významný, že převáží nevýrazné trendy z ostatních stanic, takže trend průměrných výšek srážek na povodí je klesající průměrně o 0,68 mm za 1 rok, tj. 33 mm za 49 let. Klesající trend v období 1960–2008 je výraznější než v řadě 1931–2008. Kolísání srážek po roce 1984 je odlišné od období 1961–1983, maxima jsou menší. Z porovnání čar překročení měsíčních výšek srážek z období 1960–1984 a 1985–2008 vyplývá, že v pozdějším období se zmenšila četnost i velikost srážek v oblasti hodnot větších než 50 mm za měsíc. V ročním chodu se největší pokles srážek projevuje v dubnu, patrný je však i v následujících měsících květnu a červnu a také v říjnu. Největší vzestup srážek se vyskytuje v červenci, mírně stoupají srážky i v srpnu a září. Od listopadu do března jsou změny srážek malé.



V souhrnu tedy lze konstatovat, že i když roční úhrny srážek klesají jen velmi mírně, jejich rozdělení se poněkud změnilo. Podstatně ubylo srážek s velkými výškami na povodí, důležitý je také pokles srážek v tříměsíčním jarním období od dubna do června.

Řada teplot vzduchu z období 1901–1950 také nemá žádný dlouhodobý trend, v řadě 1960–2008 je však trend vzestupu teploty významný, za 49 let je zvýšení 1,4 °C. Přitom převážná část vzestupu teploty vzduchu nastala až v období po roce 1980. V ročním chodu se od prosince až po srpen teploty výrazně zvyšují, vzestup je zřetelně menší pouze v dubnu a v červnu. Maximum zvýšení je v lednu. Od září do listopadu se průměry teplot téměř nemění.

Zjištěný lineární trend relativní vlhkosti vzduchu v období 1960–2008 odpovídá mírnému poklesu měsíčních relativních vlhkostí vzduchu za 49 let o 0,94 %. Převážná část poklesu nastala až v období po roce 1998. Charakter ročního chodu s maximy od října po leden a minimy od dubna po červen se nijak výrazně nemění.

Hydrologické poměry a trendy hydrologických veličin

Pro rozbor dlouhodobého kolísání a trendů průtoků na povodí je k dispozici pouze řada z vodoměrné stanice Rakovník. Při předběžných analýzách a pokusech modelovat hydrologickou bilanci povodí nad touto stanicí se některé části řady jeví jako problematické. Jelikož je tato řada pro řešení hydrologických poměrů v povodí Rakovnického potoka nejdůležitějším podkladem, rozhodli jsme se ověřit věrohodnost vyčíslení průtoků a následně vyčíslení celé řady rekonstruovat. Postup podrobně dokumentuje Kašpárek (2009). Další analýzy vycházejí z této rekonstruované řady.

Z analýzy rekonstruované řady průtoků Rakovnického potoka ve stanici Rakovník, kde je k dispozici pozorování od roku 1960, vyplývá, že gradient poklesu průtoků řady je značný. Trend přepočítaný na pokles za jeden rok je 1,85 % z průměru 0,611 m³.s⁻¹. Odpovídající pokles za období délky celé řady 43 let je 0,487 m³.s⁻¹.

Charakter průtokové řady se změnil v období po roce 1983. V úseku řady 1976–1981 byly průtoky zvětšené, na konci tohoto úseku řady se v roce 1981 vyskytla velká povodeň. Od té doby je výskyt velkých průměrných měsíčních průtoků podstatně méně častý a ani při povodni v roce 2002 nedosáhly velikosti extrému z roku 1981.

Z rozboru ročního chodu změn vyplývá, že poklesy na jaře a v létě jsou větší než na podzim, nejméně klesají průtoky v zimě. Při porovnání dat z období 1966–1987 a 1988–2008 se ukázalo, že v případě mediánů průměrných měsíčních průtoků je nejmenší pokles cca 6 % v lednu, největší přibližně 60 % v srpnu. Ostatní hodnoty poklesů jsou v rozmezí cca 20 až 40 %.

Při zkoumání minim průměrných měsíčních průtoků je v pozdějším období jen prosincové minimum poněkud větší, ani pokles lednové hodnoty není výrazný. Minima ve všech ostatních měsících poklesla obdobně jako mediány o cca 40 až 60 %.

Plošná proměnlivost odtoku z povodí Rakovnického potoka je značná. Byla posouzena v hydrologickém roce 2009 na základě 171 hydrometrických měření provedených v závěrových profilech 18 dílčích povodí.

Největších hodnot dosáhly roční výšky odtoku v jižní části povodí Rakovnického potoka, tj. u jeho pravostranných přítoků. Obdobně velkých hodnot cca 40 mm dosáhly také v povodí Červeného potoka. Nejmenší roční odtokové výšky byly vyčísleny pro dílčí povodí, která vytvářejí pás na severozápadním okraji povodí Rakovnického potoka od horní části Kolečovického potoka (6 mm) až po povodí Kounovského potoka (12 mm). Výjimkou je pouze povodí Novodvorského potoka. Na celé zbývající ploše povodí Rakovnického potoka jsou odtokové výšky v rozmezí 15–20 mm.

V dolní části mezipovodí Kolečovického potoka v roce 2009 vyšla bilance průtoků záporná. Zřejmě zde nastává průsak do podzemní vody. Je velmi pravděpodobné, že oblast, ze které podstatná část vody neodtéká vodními toky, nýbrž cestou podzemního odtoku a vodárenského využití, zabírá podstatně větší plochu.

Podle předběžného výpočtu nebyl z hlediska srážek rok 2009 nijak extrémně suchý. Z hydrologického hlediska však jde o rok s minimálními průtoky. V období od července do září téměř zanikl odtok z povodí Kolečovického potoka, průtok Rakovnického potoka v Rakovníku poklesl až na úroveň cca 10 l.s⁻¹ (ze 163 km²). V tomto období tedy

zbytkový průtok ovlivněný odběry vody představoval cca čtvrtinu vypouštění vody z ČOV Rakovník. I když v profilu vypouštění je průtok zvětšen o příspěvek z Lišanského potoka, vypouštění z ČOV je rovnocenné, nebo i převyšuje průtok v potoce nad profilem vypouštění.

Užívání vod

Rozbor údajů o užívání vod v povodí Rakovnického potoka z období 1979–2008 ukázal, že nejpodstatnější jsou odběry z podzemních vod. Jejich součet v druhé polovině osmdesátých let přesáhl 100 l.s^{-1} , po poklesu na minima v roce 1998 a 1999 se zvětšoval, v roce 2008 byl cca 85 l.s^{-1} . Největší díl z něj (cca 46 l.s^{-1}) připadá na vodárenské zásobení Rakovníka, významný je i odběr pro pivovar Krušovice (cca $7,9 \text{ l.s}^{-1}$) a RAKO-LUPKY (cca $10,9 \text{ l.s}^{-1}$). Součet odběrů povrchové vody z hodnoty cca 22 l.s^{-1} v roce 1979 soustavně klesal až do roku 2004 na současnou úroveň méně než 2 l.s^{-1} . Do povodí se nepřivádí voda z vnějších zdrojů, ani se z něj voda neodvádí, takže jej lze z hlediska užívání vod považovat za uzavřený systém. Svědčí o tom i bilance odběrů a vypouštění. Součet vypouštění byl v roce 2008 o cca 1,6 l menší než součet odběrů podzemní i povrchové vody, což je méně než 2 % součtu odběrů vody. Bilanční ztráta vody při jejím užívání je tedy řádově menší než pokles průtoků Rakovnického potoka a nemůže ji vysvětlit.

Podzemní vody

Z průzkumu odtoku podzemní vody ve vztahu k celkovému odtoku a odběrům podzemní vody vyplynuly tyto závěry:

Odtok podzemní vody se podílí na celkovém odtoku více než polovinou, má klesající trend. Ten je potvrzen i klesajícím trendem výšky hladiny podzemní vody v pozorovacích vrtech ČHMÚ. Průběh kolísání hladiny ve vrtu VP1637 Rakovník odpovídá tomu, že poklesový trend hladiny podzemních vod je způsoben změnou klimatu, zmenšení vodárenských odběrů od devadesátých let jej nezměnilo. Dosud uvažované velikosti přírodních zásob podzemní vody, odvozené na základě dat z období 1971–1990, jeví při použití dat z období 1988–2006 pokles o 23,5 %.

Oddělení hlubších zvodní málo propustnými sedimenty způsobuje, že vodárenské odběry neovlivňují průtoky Rakovnického potoka ve vlastní jímací oblasti, vytvářejí však poměrně rozsáhlou oblast deprese. Odběry z dolů RAKO depresi ještě prohlubují, vzhledem k tomu, že jsou „ve stínu“ vodárenských odběrů. Voda čerpaná z dolů RAKO je vypouštěna do Jalového potoka, který do Rakovnického potoka ústí pod Rakovníkem. Bude vhodné ověřit, zda by její vypouštění do Černého potoka, který ústí nad městem, nemohlo zvýšit průtoky v období extrémních průtokových minim.

Na poklesu celkového odtoku se podílí vývoj důlní těžby v oblasti Kounov, Mutějovice, Hředle. Minimálně od počátku dvacátého století do uzavření posledních dolů koncem šedesátých let byly průtoky Červeného potoka zlepšovány čerpanou důlní vodou. V současné době vlivy zaniklých dolů spolu s přirozenými hydrogeologickými podmínkami převádějí část vody z povodí Červeného potoka, zejména z povodí Kounovského potoka, do povodí Ohře. Týká se to jen cca 3 % plochy povodí Rakovnického potoka po vodoměrnou stanici Rakovník, takže podíl na celkovém poklesu není zásadní.

Vzhledem k tomu, že hydrogeologické poměry v povodí Rakovnického potoka jsou komplikované, pokusili jsme se přispět k jejich objasnění tím, že jsme v roce 2011 pozorovali výšku hladiny ve 37 objektech a vydatnosti sedmi pramenů. Příznivou okolností bylo, že po předcházejícím dlouhodobém hydrologickém suchu se v období od konce července 2010 vyskytly nadprůměrné srážky, půda se nasýtila vodou, takže při tání sněhové zásoby v lednu 2011 se vyskytly dotace podzemní vody v podstatné míře.

Průběh hladin podzemní vody se v řadě případů podstatně odlišuje i u nepříliš vzdálených objektů. Vliv hloubky vrtu, resp. hloubky sledované zvodně na charakter kolísání je zřejmý jen u některých mělkých studní. Většina pozorování má však obdobný charakter. Když porovnáme průměrné kolísání ve vrtech s průběhem základního odtoku vypočteného podle srážek modelem BILAN, shledáme dobrou shodu. Zajímavé také je, že výška hladiny podzemní vody i v hlubokých vrtech reaguje na dotace ze srážek bez významného zpoždění.



Získané poznatky bylo a bude možno využít při návrhu rozšířeného pozorování podzemních vod, který je požadován vodoprávním orgánem při povolení zvětšených odběrů v Rakovníku (projednán odběr pro pivovar), avizováno zvětšení odběrů pro firmu Procter and Gamble.

Zhodnocení dopadu změn klimatu

Rozbor meteorologických a hydrologických pozorování v povodí Rakovnického potoka ukázal, že i když roční úhrny srážek nijak významně nepoklesly, způsobilo významné oteplení, které nastalo zejména po roce 1980, spolu se zmenšením četnosti a velikosti vydatných srážek a zmenšením jarních srážek v období po roce 1981, velmi podstatné změny odtoků z povodí. Pokles průtoků o 40 až 60 % nastal téměř v celém jejich rozsahu. Největší poklesy se projeví v jarních měsících a také v srpnu, kdy je v tomto povodí nejčastější výskyt minimálních průtoků.

Rozbor ukázal, že odtok z povodí s průměrným ročním úhrnem srážek cca 500 mm velmi citlivě reaguje na probíhající zvyšování teplot vzduchu.

Z dosud provedených rozborů vyplývá, že pokles celkového odtoku je způsoben z rozhodující části poklesem základního odtoku vlivem klesající dotace podzemních vod. Podstatná část dotace podzemní vody nastává v únoru a zejména v březnu. K jejímu poklesu přispívají dvě skutečnosti. Prvou je, že se buď vůbec nevytváří, nebo je velmi malá zásoba vody ve sněhu, další spočívá v tom, že v lednu a zejména v únoru se zvětšuje územní výpar. Následkem těchto změn dochází častěji k tomu, že ani na konci zimy není půda zcela nasycena vodou a srážky neprosakují půdou, ale jen doplňují zásobu vody v půdě. Pro vývoj hydrologické bilance v následujících měsících je nepříznivé, že zejména dubnové, ale i květnové a červnové srážky mají klesající trend.

Pomocí modelu BILAN byly vypočteny řady průtoků odpovídající několika vybraným scénářům klimatické změny.

Na základě výsledků projektu PRUDENCE byly pro ČR připraveny dva regionální scénáře klimatické změny, využívající výsledků modelu RCAO a modelu HIRHAM, v obou případech použitých pro předpokládaný vývoj emisí CO₂ podle scénářů IPCC SRES A2 a B2 a časovou úroveň 2071–2100.

V rámci projektu Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření byly připraveny regionální scénáře klimatické změny využívající modelu ALADIN-CLIMATE/CZ. Model je řízen francouzským modelem globální cirkulace ARPEGE, používá prostorové rozlišení 25 km × 25 km, pro scénář emisí SRES A1B byly zpracovány řady meteorologických veličin pro časové úseky 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099.

Z provedených modelových výpočtů vyplynulo, že i při použití obdobných emisních scénářů mají odhady dopadu na průtokový režim nezanedbatelný rozptyl. Při porovnání poklesu průměrného odtoku vztaženého ke zvýšení teploty vzduchu se ukázalo, že modely, u kterých vychází významnější pokles průtoků, jsou bližší dosavadnímu vývoji. Souvisí to zřejmě s tím, že v povodí Rakovnického potoka se srážky v posuzovaném období (do roku 2008) nezvětšovaly, spíše nevýznamně klesaly.

Podstatné také je, že podle modelových výpočtů se při oteplování mění skladba celkového odtoku, zvětšuje se podíl rychlého přímého odtoku na celkovém odtoku, a to i při nezměněných srážkách. Relativní pokles základního odtoku je jen nevýznamně větší než pokles odtoku celkového.

Vzhledem k nejistotám odhadu budoucího vývoje srážek jsme pro další výpočty vycházeli z výsledků zpracovaných za předpokladu nezměněných srážek a uvažovali jen efekt oteplování.

Poznatky o povodních

Pro povodí Rakovnického potoka byl proveden průzkum historických povodní. Nejstarší nalezený záznam se týká povodně z roku 1496, identifikována a rámcově odhadnuta byla velikost řady povodní. Výrazně převažují letní případy povodní v květnu, červnu a červenci. Jedná se přitom, pokud jde o příčinu, často o přívalové deště krátkodobého trvání (např. 1603, pravděpodobně 1698, 1852, 1872), ale i vydatné trvalé deště (např. v r. 1537, 1694) nebo jejich



kombinace. Významné zimní povodně jsou zaznamenány jen v letech 1595 a 1845, i když můžeme předpokládat i jiné roky.

Mnoho informací bylo získáno o povodni z května 1872, bylo možné rekonstruovat její časový průběh i rozsah záplavy v Senomatech, Rakovníku i v Křivoklátě. Tato povodeň měla charakter katastrofy, výška záplavy v Rakovníku však byla ještě větší při povodni z roku 1496.

Z přehledu historických povodní a odhadů průtoků Rakovnického potoka za povodně roku 1872 vyplývá, že za posledních cca 600 let se zde vyskytly dvě extrémní povodně, několikanásobně překračující průtok s dobou opakování 100 let. To svědčí o neobvykle strmém gradientu zvětšování N-letých průtoků s narůstající dobou opakování, což odpovídá i tomu, že N-leté průtoky malých dob opakování jsou naopak velmi malé.

Na základě získaných podkladů (nově vyčíslené kulminační průtoky ve vodoměrné stanici Rakovník, výsledky průzkumu historických povodní, rekonstrukce řady kulminačních průtoků 1900–1926 v Křivoklátě) byly ve spolupráci s ČHMÚ revidovány N-leté průtoky pro profil vodoměrné stanice Rakovník na Rakovnickém potoce.

Možnosti adaptačních opatření

Účinek změny využití pozemků na zvětšení průtoků

Podle poznatků, které vyplývají z výsledků pozorování v experimentálních povodích, a ze statistických analýz výsledků dlouhodobého systematického pozorování prvků hydrologické bilance lze usuzovat, že reálně použitelnými změnami využití pozemků (pokud vyloučíme drastické zásahy jako trvalé odstranění vegetačního krytu, půdy nebo zřízení nepropustných ploch) prakticky nelze trvale znatelně změnit dlouhodobou průměrnou výšku odtoku z povodí.

Vyrovnanost průtoků závisí především na velikosti povodí, dlouhodobé velikosti odtoku a hydrogeologickém typu povodí. Vliv zalesnění, které přispívá k menší rozkolísanosti průtoků, je statistickou analýzou prakticky neprokazatelný.

Rozdílné využití pozemků se projevuje při povodních. U lokálních povodní z krátkodobých intenzivních dešťů má podstatný vliv, který se zmenšuje u povodní z několikahodinových extrémních dešťů, kdy výška srážky přesáhne významně retenční schopnost půdy. U povodní z extrémních regionálních dešťů je pak vliv využití pozemků řádově slabší v porovnání s významem příčinné srážky. U všech povodní je samozřejmě z hlediska eroze a ochrany půdy příznivější, když je povrch povodí pokryt travou, buřením nebo lesem v porovnání se zemědělskými plodinami.

Podstatné také je, že změny využití pozemků, které vedou ke zvětšení retenční schopnosti krajiny například zalesněním, jsou sice vhodné z hlediska redukce povodní z krátkodobých přívalových srážek, ale na povodích s menšími průměrnými srážkami se mohou projevit znatelným zmenšením celkového odtoku, a tedy i zmenšením množství vody dostupné pro zásobování. Pro zlepšení akumulační schopnosti povodí můžeme využít zásob vody v půdě, zásob podzemní vody nebo akumulace vody v nádržích.

Při posuzování, jaký účinek lze předpokládat při změně využití pozemků v povodí, které zvětší infiltraci do půdy (nebo obdobných opatření v povodí), je nezbytné posoudit, jaké množství vody a jak velké plochy povodí můžeme ovlivnit.

Při uvážení toho, na jaké části povodí lze posuzovaná opatření uskutečnit (orná půda zaujímá 58,8 % plochy povodí a jen na její menší části je reálné opatření prosadit), zjistíme, že efekt posuzovaných opatření při reálně odhadnutých možnostech změn užívání zemědělské půdy je velmi malý, řádově jen několik procent celkové dotace podzemních vod. Také výzkum účinků agrotechnických opatření na zmenšení kulminačních průtoků a objemů povodňových vln ukázal, že pro reálně proveditelná opatření na zemědělských pozemcích je účinek relativně malý, v řádu několika procent.

I přes relativně malý účinek protierozních opatření na změnu výšky základního odtoku nebo snížení kulminace povodňové vlny je vhodné tato opatření zavádět. Jejich aplikací se mění přístup k obhospodařování pozemků i hospodaření s vodou v povodí. Primárním efektem je snížení eroze půdy na zemědělských pozemcích a snížení rizika



možné degradace půd, která dále prohlubuje problémy v obdobích sucha. Následně prodlužuje životnost a snižuje náklady na údržbu u vodních nádrží a revitalizovaných vodních toků. Dalším efektem je zvýšení infiltračního potenciálu území, a tím zvýšení možnosti dalšího využití přírodních srážek v dané lokalitě. Zvýšením drsnosti povrchu, vlhkosti ornice a snížením degradace vrchních částí půdního profilu se také snižuje riziko větrné eroze, které roste právě v obdobích sucha, a její podíl na snižování mocnosti orničního horizontu postupně narůstá.

Výrazně většího vlivu na průtoky ve vodních tocích v porovnání s aplikací protierozních opatření lze dosáhnout využitím retence v několika vodních nádržích. Jako nejvhodnější se pro zmenšení kulminačních průtoků jeví kombinace účinku vodních nádrží a agrotechnických opatření.

Z uvedeného rozboru vyplývá, že v povodí Rakovnického potoka a zřejmě i v povodích s obdobným režimem srážek lze za účinný prostředek zvětšení akumulace vody v povodí, využitelné pro zmírnění účinků hydrologického sucha, považovat akumulaci vody v nádržích se zásobní funkcí, popřípadě posílení vodních zdrojů nebo průtoků převodem vody z jiného povodí.

Akumulace vody v nádržích umožňuje zachytit průtok generovaný z hypodermického odtoku a i část přímého odtoku z intenzivních dešťů a akumulovanou zásobu použít v době, kdy to je potřeba, zejména v době agronomického a hydrologického sucha.

Možnosti akumulace vody v nádržích a nalepšování průtoků

Na základě publikace „Jak je to s rybníky na Rakovnicku“ z roku 1964 a s využitím historických map byly identifikovány lokality zrušených rybníků. Následně byl proveden terénní průzkum s cílem nalézt hráze zrušených rybníků nebo jejich zbytky. Pro každou lokalitu byla posouzena případná možnost obnovy. Celkem bylo nalezeno 12 lokalit, v několika případech existují zachované hráze. Získané informace byly využity jako jeden z podkladů při vyhledání možných lokalit pro akumulační prostory v povodí.

Podle informací Zemědělské vodohospodářské správy Rakovník jsou v povodí Rakovnického potoka čtyři nové malé vodní nádrže ve stavu projektové dokumentace, další dvě jsou naplánovány v dlouhodobém výhledu. Z projektovaných nádrží je největší v Kněževsi s objemem 19 700 m³, celkový objem všech čtyř nádrží je 26 600 m³, takže jejich vodohospodářská a retenční funkce je minimální. Obě výhledové nádrže mají plochu menší než 2 ha, takže o nich platí totéž.

Pomocí prostředků GIS byly vyhledány lokality potenciálně vhodné pro zřízení nových akumulačních nádrží. Výběr byl proveden pouze z hlediska morfologie terénu a využití území (v budoucích zátopách až na výjimky není zástavba, souvislý les, silnice, železnice). Na základě 171 hydrometrických měření provedených v závěrových profilech 18 dílčích povodí bylo posouzeno rozdělení odtoku na ploše povodí v hydrologickém roce 2009 a analogií k průtokům ve vodoměrné stanici Rakovník byly pro profily potenciálních nádrží odvozeny průtokové řady.

Na základě provedených průzkumů a posouzení zejména z hlediska velikostí průtoků bylo pro další úvahy a posuzování vybráno osm lokalit, ve kterých přichází v úvahu výstavba malých vodních nádrží s akumulační funkcí. Nádrže jsou uvažovány na Rakovnickém potoce i jeho hlavních přítocích tak, aby bylo možné ovlivňovat odtok z podstatné části celého povodí. Součet maximálních, morfologicky omezených objemů všech nádrží je cca 6 mil. m³. Pro akumulaci a nalepšování průtoků by bylo z tohoto objemu možné využít jen část, nádrže by měly mít i objem stálého nadržení, do úvahy přichází i možnost využití části celkového objemu pro ochranu před povodněmi.

Pro uvažované lokality bylo provedeno základní rámcové vodohospodářské řešení zásobní funkce pro současné hydrologické poměry i pro průtokové řady odpovídající klimatickým scénářům. Součet nalepšení účinkem všech posuzovaných nádrží pro současné hydrologické podmínky je 190 l.s⁻¹. Předpokládat, že budou všechny uvažované nádrže současně zřízeny, není reálné. I při redukováném výběru, např. když uvažujeme jen čtyři větší nádrže v povodí nad Rakovnickem, lze zajistit nalepšení Rakovnického potoka v Rakovníku cca 80 l.s⁻¹. Pro současné hydrologické podmínky tedy lze pomocí akumulačních nádrží podstatně zvětšit minimální průtoky Rakovnického potoka v Rakovníku. Nalepšení minimálních průtoků by také přibližně dvojnásobně zvětšilo minimální průtoky v profilu vypouštění odpadních vod z ČOV Rakovník, takže ředění odpadních vod by bylo podstatně příznivější.



Pokud by se klimatická změna v povodí Rakovnického potoka projevovала dalším oteplováním bez zvětšení atmosférických srážek, klesaly by dále přirozené i nádržemi ovlivněné minimální průtoky. Pro období, ve kterém by průměrná teplota stoupla proti výchozímu stavu o 2 °C, by pokleslo nalepšení o cca 37 %, tj. pro uvedenou redukovanou soustavu na 50 l.s⁻¹, což by ještě znatelně režim minimálních průtoků zlepšovalo. Pro zvýšení teploty o 4 °C by uvažovaná sestava nádrží poskytla nalepšení jen 37 l.s⁻¹. Když uvážíme značnou nejistotu všech použitých řešení, můžeme usuzovat, že pro tyto podmínky by již redukována soustava patrně nepostačovala a bylo by třeba ji posílit, patrně převodem vody z jiného povodí.

Uvedené poznatky vyplynuly ze studie změn hydrologické bilance s využitím scénářů klimatické změny. Nepočítalo se však s tím, že by se v povodí Rakovnického potoka podstatně zvětšovaly odběry vody pro závlahy. Pokud by tuto spotřebu vody další oteplení vyvolalo, byly by odhady zvětšení minimálních průtoků nepříznivější.

Vybrané lokality pro vodní nádrže byly zaměřeny v terénu, převážně pomocí referenčních GPS. Z naměřených bodů byl interpolován stávající vrstevnicový povrch, na kterém byla navržena tělesa hrází. Parametry sklonů a šířky koruny hrází byly pevně zvolené. Pro každou nádrž byly zhotoveny výkresy profilů a řezů a byla vypočítána kubatura hrázového tělesa.

U všech nádrží byla stanovena hladina maximální (H_{max}), která byla vždy navržena 0,6 m pod korunou hráze. Hladina normální stanovena nebyla, protože její výška závisí na volbě scénáře a velikosti retenčního prostoru. K hladině maximální byly vztaženy všechny výpočty a parametry, včetně geomorfologických ukazatelů.

Na základě zhotoveného povrchu a navržené hráze bylo možné spočítat průběh charakteristických čar nádrže (batygrafických křivek), tj. závislostí plochy a objemu vody na hloubce vody v nádrži. Navrhované nádrže zabírají v povodí plochu 116,1 ha.

Jako podklad pro další návrh nádrží a přelivů byly pro jednotlivé nádrže vypočteny akumulčně-transformační křivky nádrží, které vyjadřují závislost transformačního účinku nádrže na velikosti akumulčního objemu při zadaných parametrech maximální hladiny a neměnné batygrafie nádrže. Z akumulčně-transformačních křivek lze zároveň pro daný návrh odečíst předpokládanou délku bezpečnostního přelivu, která umožní optimální využití retenčního prostoru při průchodu návrhového průtoku.

Jako základ pro posouzení byly převzaty výsledky průtoků odvozených pro současný stav na povodí. Pro porovnání byly použity také průtoky vypočtené po aplikaci reálných protierozních opatření na povodí. Vypočtené hodnoty průtoků z modelu HEC-HMS byly z hodinového kroku upraveny lineární interpolací na čtvrt hodinový krok.

Pro usnadnění výpočtu transformace byl sestaven software SReFTraS (Small Reservoirs Floodwave Transformation Software).

Možnosti převodů vody

Reálnou alternativou k výstavbě akumulčních nádrží je posílení vodohospodářské bilance převodem vody z jiného povodí. Posouzeny byly varianty využívající převod vody z Ohře, buď z nádrže Nechranice, nebo z profilu pod přítokem Blšanky. Odhadnuté investiční náklady pro převod 60 l.s⁻¹ jsou cca 125 mil. Kč a jsou srovnatelné s náklady na odpovídající zajištění nalepšení průtoků soustavou navrhovaných nádrží (cca 150 mil. Kč). Další možností, v projektu již neposouzenou, je převod vody z nádrže Nechranice společný pro povodí Blšanky (kde je situace obdobná jako v povodí Rakovnického potoka) a Rakovnického potoka.

Pro řešení problémů vznikajících při téměř nulovém průtoku Rakovnického potoka v Rakovníku v období hydrologického sucha byla posouzena i možnost převodu („recyklace“) vody uvnitř povodí Rakovnického potoka – z dolní části Lišanského potoka nad Rakovník. Investiční náklady by byly cca 30–40 mil. Kč. Jeden ze zásadních problémů – nedostatečné ředění vod vypouštěných z ČOV Rakovník v době hydrologického sucha – by pouze pomocí tohoto převodu nebylo možné vyřešit, určitého efektu by bylo možno dosáhnout kombinací s akumulční nádrží, např. v dolním úseku Kolečovického potoka, do které by se voda čerpala.





Doporučení prioritních opatření

Z uvedených poznatků vyplývá, že pro zlepšení vodohospodářské bilance v povodí Rakovnického potoka je možné využít zejména akumulační nádrže nebo převod vody z povodí Ohře. Výhodou řešení pomocí nádrží je, že je lze zřízovat postupně, v reakci na to, zda pokles odtoku z povodí vlivem změny klimatu bude pokračovat. Nevýhodou je z hydrologického hlediska zvětšení rizika, že extrémní povodeň (jaká se v tomto povodí již v historii dvakrát vyskytla) může způsobit protržení rybníků a zvětšení povodňových průtoků.

Převod vody z povodí Ohře by byl bezpečnějším řešením v případě, že by odtok z povodí Rakovnického potoka dále silně poklesl, nevýhodou je, že jej nelze realizovat postupně, má i vyšší provozní náklady. Převod vody z Ohře by byl reálnou alternativou při zvýšení teploty vlivem změny klimatu nad 2 °C a při realizaci projektů závlahy chmele, která by byla za těchto okolností nutným adaptačním opatřením.

V případě, že by byla zvolena varianta akumulačních nádrží, doporučujeme jako první zřídit nádrž na Rakovnickém potoce nad Šanovem, která by byla schopna zachytit vodu vypouštěnou z jesenické rybníční soustavy při jejím vypouštění v souvislosti s výlovem.

Uvedená opatření by zajistila vodu pro zvětšení minimálních průtoků i pro závlahy, podzemní vody by neovlivnila. Na konci hydrologického sucha v roce 2009 a v první polovině roku 2010 byla hladina podzemní vody průměrně o 0,8 m pod úrovní, na kterou vystoupala po významné dotaci počátkem roku 2011. Z hlediska dlouhodobého zabezpečení zdrojů podzemní vody v povodí Rakovnického potoka považujeme za potřebné doplnit stávající pozorování ČHMÚ o monitoring, který umožní sledovat vývoj v celém povodí a při případném rozšiřování odběrů využívat institut minimální hladiny podzemních vod. Za podstatné pro případné rozšiřování odběrů považujeme také pokračovat v pozorování průtoků Lišanského potoka.

Jako doplňkové, relativně nenákladné opatření pro mírné zvětšení průtoků Rakovnického potoka v Rakovníku v období minimálních průtoků doporučujeme vypouštět vodu čerpanou z podzemí v dolu RAKO-LUPKY do Černého potoka.

Dalším doporučením je zavedení protierozních opatření při obhospodařování zemědělských pozemků, které zvyšují infiltrační a retenční potenciál povodí, a tím i další možné využití přírodních srážek. Snižují také riziko degradace půd, především orničního horizontu, jehož vlastnosti jsou velice důležité při udržení zemědělské produkce v dané oblasti, především v obdobích s nižším úhrnem srážek.

Pokud jde o sledování vývoje vodohospodářské bilance, je zřejmé, že při umístění stávajícího bilančního profilu až pod místo vypouštění odpadních vod výsledky bilance neposkytují reálný popis stavu na Rakovnickém potoce, kde je o odběry podzemní vody bilance ochuzena. Doporučujeme stávající bilanční profil nahradit dvěma profily – Rakovnického a Lišanského potoka nad jejich soutokem, které poskytnou věrohodné informace o vodohospodářské bilanci.

SUMMARY

Elimination of climate change impacts by increasing of storage capacity in the Rakovnický brook basin

The book results from a research project on possible adaptation to recently experienced negative impacts of climate change with respect to water resources in the Rakovnický brook basin. The case study in this basin supports the application of the guidance document aimed at the design of adaptation measures in catchments with similar problems, which was developed within the project.

The analysis of trends revealed that air temperature has increased significantly since 1980s. This increase is reflected by the increase in actual evapotranspiration and since the precipitation amount remains stable, the catchment runoff decreases significantly, especially in spring and summer. This is in contrast with the rest of the Czech Republic, where the increase in actual evapotranspiration is compensated by the increase of precipitation.

Present hydrological conditions at a sub-basin level were assessed using existing data in combination with extensive measurements of stream discharges and groundwater well levels and inspection of old mines or assessment of the interaction between river flows and groundwater. Water balance was modelled for present and several scenario conditions, considering outputs of climate models for different time horizons in the 21st century.

Several adaptation measures were designed and their effectiveness was estimated using hydraulic and hydrological modelling in combination with expert judgement, especially with respect to the potential increase of river discharge or groundwater recharge and flood wave transformation.

The agriculture measures, characterized by changes in land-use and farming techniques, would improve soil conservation and ecological state, but have no substantial effect on catchment water storage. The same applies to river restoration.

The next considered measure was represented by a set of eight small reservoirs. This option would have significant effect and has advantage in operative building of reservoirs according to changing climate, but it would not be sufficient in the case of very high temperatures or in the case of increased water demand, especially for irrigation purposes.

Transfer of water from adjacent catchment is supposed to be the most reliable measure, its costs are comparable with the costs of the whole system of reservoirs. Alternatively, water could be transferred within the catchment.

LITERATURA

- AOPK (2011) Ceník AOPK ČR. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. Dostupné online: <<http://www.dotace.nature.cz/res/data/001/000211.pdf>>
- Baloun et al. (1959) Průzkum kamenného uhlí Hředle. Geologický průzkum, Praha, závod Tuchlovice.
- Blažek, J. (1996) Geologická mapa ČR. List 12–13 Jesenice. Měřítko 1 : 50 000. Český geologický ústav.
- Bossard, M., Feranec, J., and Otahel, J. (2000) CORINE land cover technical guide – Addendum 2000. EEA Tech. Rep. no. 40, European Environmental Agency, Copenhagen.
- Bouda, L. a Cikánek, A. (1964) Přehled obcí Rakovnicka s popisem rybníků, vodoteče, vodních zdrojů atd. In *Jak je to s rybníky na Rakovnicku*, s. 23–34.
- Cablík, J. (1960) Základy stavby rybníků a hospodářských nádrží. Praha: SZN.
- Černá, J., Holanová, J. a Kolman, F. (1977) Zhodnocení čerpací zkoušky Lhota pod Džbánem. Vodní zdroje, Praha.
- ČSN 75 2410. Malé vodní nádrže. 1997.
- ČSN 75 7221. Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. 1998.
- Dostál, T. et al. (2008) Posouzení disponibilních vodních zdrojů pro závlahu chmelařských oblastí Žatecko, Ústěcko a Tršicko. České vysoké učení technické v Praze, Praha.
- Dratva, A. (1943) Mapa normálních ročních isohyet 1876–1925. Státní ústav hydrologický a hydrotechnický v Praze, 1943.
- Eckhardt, K. (2005) How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, vol. 19.
- Hanel, M., Buishand, T.A., and Ferro, C.A.T. (2009) A non-stationary index-flood model for precipitation extremes in transient regional climate model simulations. *Journal of Geophysical Research*, vol. 114.
- Hanel, M., Buishand, T.A. (2011) Multi-model analysis of RCM simulated 1-day to 30-day seasonal precipitation extremes in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, in press.
- Hanel, M. et al. (2012) Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.
- Horčíčka, L. (2000) Klasifikace a kategorizace poddolovaných ploch po těžbě černého uhlí v rakovnické části kladenské pánve. Geologické služby, s. r. o., Chomutov.
- Hrazdíra, P. (1994) Hydrogeologická mapa ČR. List 12-13 Jesenice. Měřítko 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha.
- Hrazdíra, P. (1993) Hydrogeologická mapa ČR. List 12-14 Rakovník. Měřítko 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha.
- HMÚ (1961) Podnebí ČSSR. Hydrometeorologický ústav, Praha.
- HMÚ (1970) Hydrologické poměry ČSSR – díl III. Hydrometeorologický ústav, Praha.
- Holeček, V. (1992) Příčina u Rakovníka – vodní zdroj – hydrogeologický průzkum. Aquatest – Stavební geologie, a.s., Praha.
- Chval, D., Čapek, A., Kokošková, L., Krupková, H. a Matoušková, Z. (1982) Rakovník – Lišanský potok. Vyhodnocení vrtů R-1, R-2, R-3. Dílčí zpráva. Vodní zdroje, Praha.
- Janeček, M. et al. (2005) Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha: ISV nakladatelství.
- Just, T., Matoušek, M., Dušek, M., Fischer, D. a Karlík, P. (2005) Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Český svaz ochránců přírody, Praha.



- Kačura, G. (1992) Hydrogeologická mapa ČR. List 12-12 Louny. Měřítko 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha.
- Kamberský, K. (1967) Rakovník – zpráva o provedení pozorovacích vrtů R-1 a R-2. Vodní zdroje, Praha.
- Kašpárek, L. (2007) Shrnutí poznatků o vlivu fyzicko-geografických charakteristik povodí na základní charakteristiky průtoků. In Blažková, Š. *Vybrané výsledky projektu Labe IV 2003–2006, Hydrologická tematika se zaměřením na retenci vody v povodí*. ČSVTS, Praha, s. 2–9.
- Kašpárek, L. (2009) O možnostech rekonstrukce vyčíslení řad průtoků. *VTEI*, vol. 51, mimořádné číslo, s. 13–16.
- Kille, K. (1970) Das Verfahren MoMNOQ – Ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, Sonderheft Hydrogeologie und Hydrochemie, Hannover.
- Kněžek, M. et al. (1993) Optimalizace odtoku podzemních vod v jímacích oblastech. Výzkumná zpráva, VÚV Praha.
- Kozubek, M. (2006) Jímací území Rakovnického potoka – Doprůzkum. Závěrečná zpráva. Aquatest, a.s., Praha.
- KPOP (2009) Pedologická mapa 1 : 100 000. Katedra pedologie a ochrany půdy ČZU Praha, [on-line, cit. 15. 12. 2009], dostupné z <http://geoportal.cenia.cz>.
- Krásný, J. (1969) Posouzení možnosti odběru podzemní vody ze zatopeného dolu Lužná v katastru obce Lužná, okr. Rakovník. Výzkumná zpráva. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Krásný, J. et al. (1982) Odtok podzemní vody na území Československa. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Křivková, J. (2001) Povodeň 1872 v povodí Berounky a Blšanky. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, .
- Kuklík, J. et al. (2004) Analýza rizika jímacího území Rakovnického potoka. Závěrečná zpráva. Aquatest, a.s., Praha.
- Kulasová, B., Šercl, P. a Boháč, M. (2004) Projekt QD1368 – Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Lůžek, B. (1979) Ohře a lidé. In Kynčil, J., a Lůžek, B. *Historické povodně v povodí Ohře a Bíliny*. Povodí Ohře, státní podnik, Chomutov.
- Melichar, F. (1890) Paměti okresu Unhošťského. Melichar, Praha.
- Mísař, Z. et al. (1983) Geologie ČSSR I. Český masív. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- MZe (1998) Vyhláška MZe 327/1998, kterou se stanoví charakteristika bonitovaných půdně ekologických jednotek a postup pro jejich aktualizaci. Sbírka zákonů České republiky, částka 108 ze dne 31. 12. 1998.
- MŽP (2008) Metodika odboru ochrany vod, která stanovuje postup komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodních blízkých opatření. Ministerstvo životního prostředí, Praha. Dostupné online: < [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni_postupy/\\$FILE/OOV-Vestnik_MZP_11_2008-20101122.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/pracovni_postupy/$FILE/OOV-Vestnik_MZP_11_2008-20101122.pdf)>
- Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. ze dne 18. července 2007, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Sbírka zákonů České republiky, částka 73, příloha č. 3, s. 2807–2811.
- Němeček, J. et al. (2001) Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita v Praze a Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, Praha.
- Olmer, M. et al. (2006) Hydrogeologická rajonizace České republiky. Česká geologická služba, Praha.
- Pretel, J., et al. (2011) Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (V). Závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za období 2007–2011, Český hydrometeorologický ústav, Praha.





Scharffenberg, W.A. and Fleming, M.J. (2010) Hydrologic Modeling System HEC-HMS. User's Manual. US Army Corps. of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2008/105/ES ze dne 16. prosince 2008 o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky, změně a následném zrušení směrnic Rady 82/176/EHS, 83/513/EHS, 84/156/EHS, 84/491/EHS a 86/280/EHS a změně směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES. Příloha I, část A. Normy environmentální kvality (NEK). Úřední věstník Evropské unie, 2008, L 348/92.

Spousta, Z. (2003) Závěrečná zpráva zajištění starého důlního díla František – těžní jáma. Energie – stavební a báňská, a. s., Kladno.

Šálek, J. a Mika, Z. (1978) Rybníky a účelové nádrže. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

Šamaj, F., Valovič, Š. a Brázdil, R. (1985) Denné úhrny zrážek s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava.

Šercl, P. (2008) Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, vol. 2.

Štembera, M.D. (1839) Místopis královského města Rakovníka. Praha: Václav Špínka.

Tallaksen, L. and van Lanen, H. (eds.) (2004) Hydrological drought – Processes and estimation methods for stream-flow and groundwater. Amsterdam.

Tolasz, R. et al. (2007) Atlas podnebí Česka. Praha: Český hydrometeorologický ústav.

Tyráček, J. (1991) Geologická mapa ČR. List 12-12 Louny. Měřítko 1 : 50 000. Ústřední ústav geologický, Praha.

Václavek, V. (1966) Čerpací zkouška z dolu „František“ v Mutějovicích. Vodní zdroje, Praha.

Valín, F. (1991) Geologická mapa ČR. List 12-14 Rakovník. Měřítko 1 : 50 000. Český geologický ústav, Praha.

Vlnas, R. (2010) Stanovení základního odtoku automatickou separací hydrogramu. In *Hydrologické dny 2010*, 7. národní konference českých a slovenských hydrologů a vodohospodářů, Hradec Králové.

VÚV TGM (2006) Vodohospodářská bilance současného a výhledového stavu množství povrchových vod v oblasti povodí Berounky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.

Záporožec, A. (1965) Zpráva o hydrogeologickém průzkumu pro závlahu chmelnic v okolí Kněževse u Rakovníka. Inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum, n. p., Žilina, Praha.

Zoubek, V. (1990) Geologická mapa ČR. Mapa předčtvrtohorních útvarů. Měřítko 1 : 200 000. List Teplice – Annaberg-Buchholz. Ústřední ústav geologický, Praha.



Redakční rada:

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Ing. Václav Bečvář, CSc., Ing. Šárka Blažková, DrSc., Ing. Petr Bouška, Ph.D., RNDr. Blanka Desortová, CSc., Ing. Jana Hubáčková, CSc., RNDr. Josef Fuksa, CSc., Ing. Eva Kajanová, Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., RNDr. Hana Mlejnková, Ph.D., Ing. Věra Očenášková, Mgr. Libuše Opatřilová, Ing. Dagmar Sirotková, RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D., Ing. Václav Šťastný, Ing. Naďa Wannerová, Mgr. Aleš Zbořil

Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulční schopnosti v povodí Rakovnického potoka

Ing. Stanislav Horáček, Ing. Ladislav Kašpárek, CSc., a kolektiv

Vydal: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, v roce 2011

Grafická úprava: Martin Černožský

Odpovědný redaktor: Mgr. Josef Smrťák

Tisk: Gaudeo tiskárna, s. r. o.

Vydání první

Počet stran: 164

9,4 AA (text), 3,1 AA (obrázky)

Náklad: 200

ISBN 978-80-87402-14-6