



Navrhování adaptačních opatření pro snižování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR

**Magdalena Mrkvičková, Roman Kožín, Martin Hanel, Adam Beran,
Jan Brabec, Oldřich Novický, Renata Fridrichová**

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Praha 2012

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.

Lektorovali

RNDr. Jan Pretel, CSc.

Ing. Petr Máca, Ph.D.

Podstatná část poznatků prezentovaných v této publikaci byla získána v rámci řešení projektu vědy a výzkumu financovaného Ministerstvem zemědělství QH81331 „Výzkum adaptačních opatření pro eliminaci dopadů klimatické změny v regionech České republiky“.

© Magdalena Mrkvičková et al., 2012

ISBN 978-80-87402-25-2

Obsah

1	Úvod	5
2	Popis pilotních povodí	9
2.1	Povodí Orlice	9
2.2	Povodí Chrudimky	19
2.3	Povodí Blšanky	25
3	Posuzování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci	33
3.1	Přehled dat potřebných pro posouzení dopadů klimatické změny	34
3.2	Pozorované změny hydrologického režimu a identifikace jejich příčin	35
3.2.1	Analýza trendů meteorologických a hydrologických veličin	37
3.2.2	Analýza užívání vody v povodí	41
3.2.3	Modelování hydrologické bilance	42
3.3	Očekávané změny ve složkách hydrologické bilance ve výhledovém období	43
3.3.1	Metody tvorby scénářů klimatické změny	43
3.3.2	Modelování dopadů klimatické změny na hydrologický režim	45
3.3.3	Modelování dopadů klimatické změny na vodní zdroje s uvážením požadavků na užívání vody	52
3.4	Analýza rizika	59
3.5	Hodnocení rizika	60
4	Navrhování adaptačních opatření	67
4.1	Rozdělení adaptačních opatření	68
4.2	Výběr vhodné varianty adaptačního opatření	69
4.2.1	Hodnocení variant podle ekonomické výhodnosti	69
4.2.2	Hodnocení očekávané účinnosti adaptačního opatření	70
4.2.3	Hodnocení citlivosti adaptačního opatření vůči nejistotám	70
4.2.4	Zajištění souladu opatření s platnou legislativou, se strategickými dokumenty a územním plánováním	71
4.3	Monitoring účinnosti zavedených adaptačních opatření	72

5	Vybraná adaptační opatření ve vodním hospodářství	73
5.1	Preventivní opatření	73
5.1.1	Přehodnocení využitelných zásob podzemní vody	73
5.1.2	Operativní řízení nádrží	78
5.1.3	Plán pro zajištění bezpečnosti pitné vody „Water Safety Plans“	82
5.1.4	Doplnění monitoringu ve zranitelných oblastech	82
5.2	Opatření pro zvyšování odolnosti systému	83
5.2.1	Umělá infiltrace	83
5.2.2	Propojování vodárenských systémů	97
5.2.3	Realizace nového vodního zdroje v lokalitě chráněné pro výhledovou akumulaci povrchových vod	107
5.2.4	Úprava účelu funkce nádrže a její optimalizace	113
5.2.5	Realizace nové malé vodní nádrže	115
5.2.6	Převod vody	118
6	Závěr	121
6.1	Závěry a doporučení pro pilotní povodí Orlice a Chrudimky	122
6.2	Závěry a doporučení pro pilotní povodí Blšanky	124
7	Summary	127

1 Úvod

Existují v podstatě dva základní přístupy, jak je možné reagovat na skutečnost, že vývoj množství skleníkových plynů v atmosféře s nejvyšší pravděpodobností způsobuje globální změnu klimatu. První z nich vede cestou odstraňování vlastní příčiny problému. Jedná se o tzv. proces mitigační, nebo-li zmírňování příčin klimatické změny. Za mitigační opatření mohou být považována všechna opatření, která mají za cíl snižování produkce skleníkových plynů, např. podpora výroby elektrické energie z alternativních zdrojů, zvyšování efektivity výroby energie z fosilních zdrojů atd.

Druhý základní přístup, jak se vypořádat s měnícím se klimatem, představuje proces adaptace na dopady klimatické změny nebo též přizpůsobení se. Vzhledem ke skutečnosti, že i kdyby se podařilo v dohledné době zavádět mitigační opatření na celosvětové úrovni, je s ohledem na dlouhotrvající odezvu klimatického systému Země pravděpodobně nevyhnutelné, že k určitým nepříznivým dopadům klimatické změny stejně dojde. Z toho důvodu jsou adaptační opatření neméně důležitým nástrojem pro zvládnání následků klimatické změny. Za adaptační opatření lze považovat veškeré aktivity, jež snižují zranitelnost vůči stávajícím nebo očekávaným dopadům klimatické změny na přijatelnou úroveň a jež umožňují využívat příležitosti, které s klimatickou změnou souvisejí. Zranitelnost je možné chápat jako míru rizika, že nebude možné zvládat účinky extrémního počasí a měnícího se klimatu bez škod na životním prostředí, majetku nebo lidských životech. Adaptační strategie tedy představuje nástroj pro lepší zvládnání tohoto rizika.

K tématu zavádění adaptačních opatření vznikla na mezinárodní úrovni celá řada doporučujících dokumentů, které uvádějí postupy vhodné pro zajištění včasné a dostatečné připravenosti na dopady klimatické změny, např. tzv. Bílá kniha s názvem „Přizpůsobení se změně klimatu: směrování k evropskému akčnímu rámci“ vydaná Evropskou komisí (White Paper, 2009) nebo „Metodika adaptace na klimatickou změnu ve vodním hospodářství“ vydaná Evropskou hospodářskou komisí OSN (ECE, 2009). Na národní úrovni by měl být v roce 2013 vydán první koncepční dokument věnovaný otázce adaptace na klimatickou změnu s názvem Strategie přizpůsobení se klimatické změně v podmínkách ČR.

Přestože již existuje řada podrobných studií věnovaných dopadům klimatické změny na hydrologickou bilanci a vodní zdroje v Evropě a v České republice (např. Novický et al., 2009; Kašpárek et al., 2009a nebo Pretel, 2010), proces navrhování a implementace adaptačních opatření se stává součástí vodohospodářské praxe pouze velmi pomalu. Z výsledků průzkumu provedeného mezi vodohospodáři v ČR vyplynulo, že možnou příčinou, jež limituje širší využití dostupných informací o vývoji klimatu, je stále značné rozpětí výsledků projekcí klimatických modelů, které jsou získány při uvážení různých zdrojů nejistot (Slámová et al., 2010), a rovněž skutečnost,

že nepříznivé dopady klimatické změny se v současné době projevují v ČR spíše regionálně. Ve vnímání lidí tak nepatří adaptace na dopady klimatické změny mezi prioritní problémy k řešení v rámci procesu dlouhodobého plánování. Další významnou překážkou, která brání širšímu uplatnění adaptačních opatření, jsou nedostatečné finanční zdroje.

Uvedené překážky byly identifikovány i na celoevropské úrovni a byly zohledněny při přípravě víceletého finančního rámce Evropské unie pro období 2014–2020. V návrhu je uvažováno vyčlenit až 20 % rozpočtu EU na podporu zapracování problematiky změny klimatu do politik EU a na podporu zavádění adaptačních opatření v oblasti vody (EC-b, 2012).

Cílem předložené publikace je vytvořit jeden z prvních metodických dokumentů, který by představoval podpůrný nástroj pro organizace, jež považují problematiku adaptace na dopady klimatické změny za prioritní a chtějí optimálně využívat dostupné finanční zdroje a přispívat tak k procesu adaptace. Publikace je určena především pro organizace zapojené do procesu plánování v oblasti vod, organizace podílející se na zajištění vodohospodářských služeb a organizace působící v sektorech, které jsou vývojem klimatu ovlivněny (např. energetika, doprava, zemědělství aj.). Popsané metodické postupy jsou zaměřeny na opatření, která řeší otázku změny v dlouhodobé hydrologické bilanci a změny v rozdělení jednotlivých složek hydrologické bilance v ročním chodu. Prezentované metodické postupy respektují řídicí principy uvedené v doporučujícím dokumentu Evropské komise, jenž vznikl v rámci Společné implementační strategie Rámcové směrnice pro vodní politiku (River Basin Management in Changing Climate, Guidance No. 24; EC-a, 2009).

Publikace je rozdělena na jednu úvodní a čtyři hlavní kapitoly. Druhá kapitola obsahuje základní popis pilotních povodí, na kterých byly testovány popsané metodické postupy a pro která byla navrhována adaptační opatření. Kapitola 3 přibližuje kroky potřebné pro posouzení dopadů klimatické změny a následnou identifikaci rizik souvisejících s pozorovanými a očekávanými dopady klimatické změny a základní vyhodnocení těchto rizik. K jednotlivým analýzám zahrnutým do procesu posuzování dopadů klimatické změny jsou uvedeny příklady z aplikace na pilotních povodích. Kapitola 4 je věnovaná problematice vlastního navrhování adaptačních opatření ve vodním hospodářství. Kapitola 5 pak představuje vybraná adaptační opatření ve vodním hospodářství s konkrétními příklady opatření navržených v pilotních povodích Orlice, Chrudimky a Blšanky.

Publikace vychází z projektu Výzkum adaptačních opatření pro eliminaci dopadů klimatické změny v regionech České republiky, který byl řešen ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i., v letech 2008–2012. Cílem projektu bylo navrhnout a na pilotních aplikacích ověřit postupy pro návrh efektivních adaptačních opatření pro eliminaci dopadů klimatické změny na vodní zdroje v ČR. Projekt byl zaměřen především technická opatření na vodohospodářské infrastrukturu. Publikace neobsahuje adaptační opatření využívající ekonomické nástroje ani opatření v ploše povodí na zemědělské půdě.

Základní rámec procesu adaptace

V dokumentu Evropské hospodářské komise Spojených národů (ECE, 2009) byly identifikovány v podstatě dvě možné cesty směrem k zajištění lepší připravenosti na dopady klimatické změny ve vodním hospodářství. První přístup využívá pro navrhování adaptačních opatření informace ze scénářů klimatické změny, které jsou především postaveny na projekcích klimatických modelů.

Výhodou tohoto přístupu je, že využívá nejlepší dostupné informace o vývoji klimatu, na druhou stranu i přes intenzivní vývoj v oblasti modelování klimatu jsou projekce klimatických modelů stále zatíženy značnou nejistotou a široký rozptyl výsledků simulací limituje jejich využití v praxi.

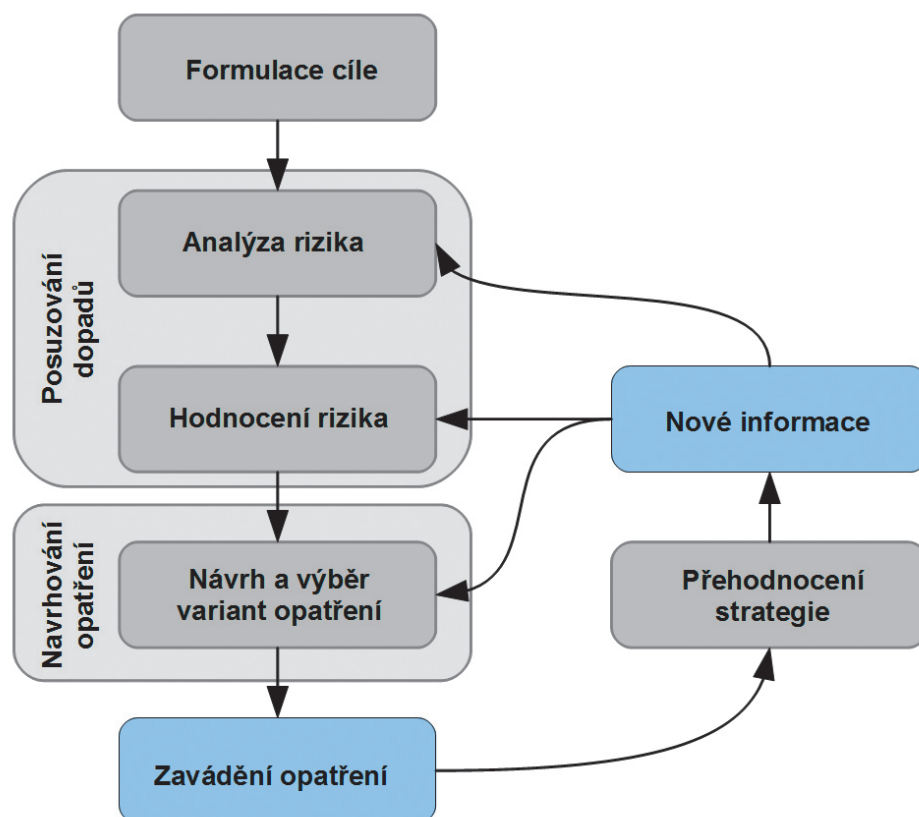
Druhý přístup popsany v dokumentu ECE (2009) pracuje s nejistotou budoucího stavu klimatu a pro návrh adaptačních opatření využívá principy hodnocení a řízení rizika. Dostupné informace o očekávaných dopadech klimatické změny jsou využity pro identifikaci nebezpečí, která mohou působit na sledovaný systém. Identifikovaná nebezpečí jsou dále hodnocena z hlediska jejich pravděpodobnosti výskytu a závažnosti. Výhodou přístupu je především možnost zohlednit při identifikaci nebezpečí nejen přímé dopady klimatické změny na stav vod, ale i nepřímé dopady související např. s reakcí společnosti na probíhající změny. Přístup však vyžaduje provést hodnocení pravděpodobnosti výskytu daného nebezpečí, což je v nestacionárních klimatických podmínkách nelehký úkol.

Metodika posuzování dopadů klimatické změny a návrhu adaptačních opatření ve vodním hospodářství, která je prezentována v předložené publikaci, představuje kombinaci obou výše popsaných přístupů. Rámec procesu přípravy adaptační strategie tvoří metody analýzy a managementu rizika. Pro identifikaci nebezpečí souvisejících s dopady klimatické změny a pro posuzování účinnosti adaptačních opatření jsou využívány především scénáře klimatické změny. Podobný kombinovaný přístup navrhuji např. Johnstone et al. (2009) nebo Prudhomme et al. (2010).

Proces přípravy adaptační strategie je schematicky znázorněn na obrázku 1.1. Prvním krokem je formulace rámcového cíle, kterého má být pomocí adaptační strategie dosaženo. V oblasti vodního hospodářství se jedná především o snížení zranitelnosti vodních zdrojů a chráněných ekosystémů vůči dopadům klimatické změny, stabilizaci hydrologického režimu v povodí a zajištění dostatečné účinnosti opatření navrhovaných v rámci Programů opatření v plánech povodí i s výhledem do budoucnosti.

Při formulování cíle adaptační strategie je třeba vymezit daný systém, pro který mají být adaptační opatření navržena (např. povodí, oblast zásobovaná vodárenskou společností atd.), a dále stanovit výhledový časový horizont, ke kterému budou identifikována nebezpečí související s klimatickou změnou. Plány povodí jsou ve druhém kole připravovány pro období 2015–2021. Cíle Rámcové směrnice pro vodní politiku mají být naplněny nejpozději do konce roku 2027, kdy končí třetí plánovací období. Při posuzování vlivů a dopadů lidské činnosti na stav vodních útvarů je tedy časový rámec daný těmito termíny. Životnost opatření navrhovaných v rámci Programů opatření však zpravidla přesahuje konec plánovacího období. Vzhledem k tomu, že pro jejich realizaci bude zapotřebí investovat značné finanční prostředky, je rozumné při jejich navrhování uvážit změny, které jsou očekávány ve výhledovém období, jež odpovídá konci životnosti daného opatření, a posoudit jejich účinnost a ekonomickou návratnost pro takto změněné podmínky.

Vlastní příprava adaptační strategie vychází z výsledků analýzy rizik souvisejících s očekávanými dopady klimatické změny pro daný systém. Jedná se o aktivitu, která se skládá z procesu identifikace potenciálních nebezpečí souvisejících s přímými i nepřímými dopady klimatické změny a z analýzy rizika pro sledovaný systém. Termín riziko zde vyjadřuje kombinaci pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události a jejích následků (ČSN IEC 300-3-9, 1997). Cílem analýzy rizika je získat odpověď na otázku, jaká konkrétní nebezpečí hrozí v zájmové oblasti na daném vodním zdroji v souvislosti s klimatickou změnou, jaká je jejich pravděpodobnost a možné následky. Podrobněji je proces posuzování dopadů klimatické změny a analýzy rizika popsán v kapitole 3.



Obr. 1.1 Rámec procesu navrhování adaptačních opatření

Klíčovým bodem při sestavování adaptační strategie je vlastní návrh různých variant opatření na minimalizaci prioritních rizik a výběr výsledných opatření, která se stanou součástí adaptační strategie. Přístupy vhodné pro identifikaci vhodných adaptačních opatření a porovnání jednotlivých variant jsou obsahem kapitoly 4. Výsledná strategie by měla zahrnovat opatření různého charakteru (opatření v krajině, organizační opatření, legislativní opatření, technická opatření aj.). Neměla by být zaměřena jednostranně na posilování vodních zdrojů, nebo pouze na omezování odběrů.

Adaptační strategie musí zůstat relevantní s měnícími se přírodními podmínkami a měnícími se požadavky. Proto je třeba, aby měla dynamický charakter. Pro zajištění zpětné vazby se provádí monitorování účinnosti opatření a jejich pravidelná revize. Proces adaptace na klimatickou změnu je třeba chápat jako kontinuální aktivitu, která nekončí vlastní realizací zvolených opatření. Vzhledem k nejistotám, které provázejí celý proces, je třeba účinnost opatření monitorovat, vyhodnocovat podle předem zvolených kritérií a adaptační proces podle potřeby upravovat.

2 Popis pilotních povodí

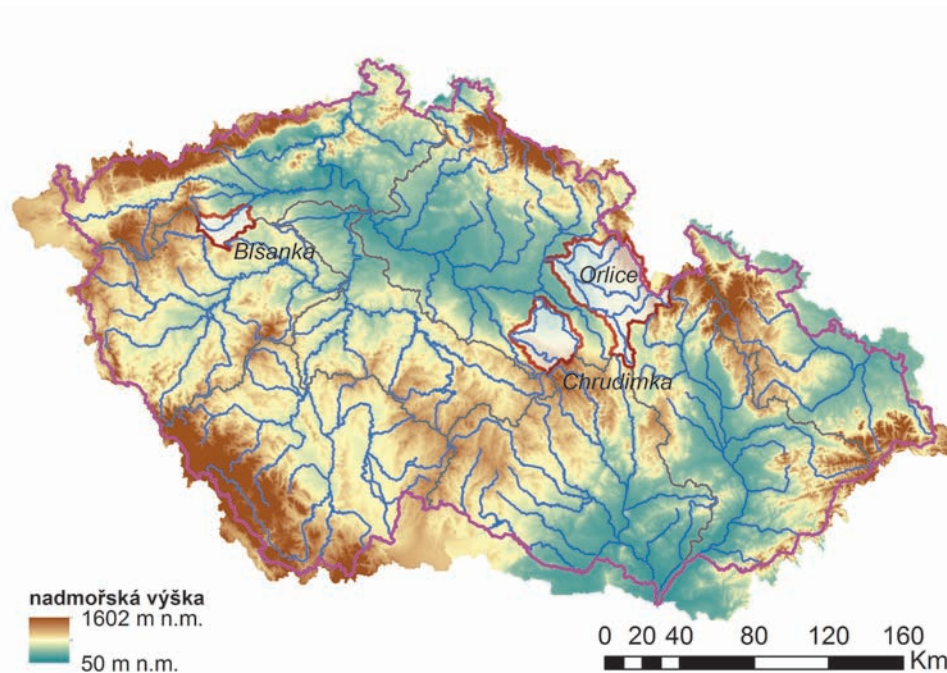
Pro odvození a testování navržených metodických postupů byla vybrána tři pilotní povodí v České republice – povodí Orlice a povodí Chrudimky ve východních Čechách a povodí Blšanky v severozápadních Čechách (viz obrázek 2.1). Jedná se o povodí s různými hydrologickými a hydrogeologickými poměry, s různou vodohospodářskou infrastrukturou, různou mírou zranitelnosti vůči dopadům klimatické změny a s různými možnostmi adaptace na pozorované a výhledové dopady klimatické změny. Tato kapitola je věnována stručnému představení vybraných pilotních povodí a popisu změn v pozorovaných řadách klimatických a hydrologických veličin.

2.1 Povodí Orlice

Povodí Orlice leží ve východních Čechách na území Královéhradeckého a Pardubického kraje. Povodí Orlice je subpovodím dílčího povodí Horního a středního Labe a je spravováno podnikem Povodí Labe, s.p. Správa drobných vodních toků je zajišťována především Lesy České republiky, s.p., a dalšími subjekty. Povodí Orlice zaujímá celkovou plochu 2 038 km², z toho je 1 965 km² (tj. 96 % rozlohy) na území České republiky, necelá 4 % leží v Polsku. Soutokem Divoké Orlice, která pramení na polském území v Orlických horách v nadmořské výšce 790 m n. m., a Tiché Orlice, pramenící v Hanušovické vrchovině, vzniká řeka Orlice, která se zleva vlévá do Labe v Hradci Králové v nejnižší nadmořské výšce povodí 228 m n. m. Povodí Orlice tvoří téměř 49 % plochy dílčího povodí* Labe na jejich soutoku. Průměrná nadmořská výška povodí činí přibližně 448 m n. m.

Plocha povodí Divoké Orlice činí 778 km² (tj. 38 % povodí celé Orlice) a její délka od pramene k soutoku s Tichou Orlicí činí 101,5 km. Při nadmořské výšce soutoku obou Orlic 248 m n. m. je průměrný sklon Divoké Orlice 5,2 ‰. Významným pravostranným přítokem Divoké Orlice jsou vodní toky Zdobnice a Bělá s přítokem Kněžná. Tichá Orlice pramení na západním svahu hory Jeřáb v Hanušovické vrchovině v nadmořské výšce 760 m n. m. Plocha povodí Tiché Orlice činí 758 km² (tj. 37 % povodí celé Orlice) a délka toku dosahuje rovněž 101,5 km. Průměrný sklon toku odpovídá 5,0 ‰. Nejvýznamnějším přítokem je Třebovka vlévající se do Tiché Orlice

*Termínem dílčí povodí je dále v publikaci označováno území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí vodních toků a případně i jezer do určitého místa vodního toku, termín neoznačuje konkrétní správní oblast.



Obr. 2.1 Vybraná pilotní povodí

z levé strany u Ústí nad Orlicí. Významným pravostranným přítokem spojené Orlice je tok Dědina. Plocha povodí Dědiny činí 333 km² a délka toku je 59 km.

Vodárenské systémy v povodí Orlice jsou infrastrukturně propojeny s vodárenskými systémy využívajícími vodní zdroje v povodí Metuje a Chrudimky. Dohromady tvoří tzv. Vodárenskou soustavu východní Čechy. Deficitní oblasti Pardubicka a Královéhradecka jsou zásobovány ze zdrojových oblastí Chrudimska a Náchodska. Schéma soustavy znázorňuje obrázek 2.2. Na provozu vodárenské soustavy se podílejí společnosti Vodovody a kanalizace Náchod, s.r.o., Královéhradecká provozní, a.s., Vodovody a kanalizace Pardubice, a.s., a Vodárenská společnost Chrudim, a.s. Soustava umožňuje technicky a ekonomicky optimální využití stávajících zdrojů pitné vody v celé oblasti a zastupitelnost vodních zdrojů při haváriích. V současné době soustava zajišťuje zásobování pitnou vodou pro přibližně 470 tisíc obyvatel. Mezi nejvýznamnější vodní zdroje soustavy patří především zdroje podzemních vod z oblasti polické křídové pánve (povodí Metuje) a podorlické křídové pánve – Litá (povodí Dědiny). Významným zdrojem povrchových vod je vodárenský tok Chrudimka, záložním zdrojem povrchových vod je řeka Orlice.

Jímací území Litá je intenzivně vodárensky využíváno od druhé poloviny 70. let a v současné době činí odběr vody pro úpravu na vodu pitnou přibližně 200 l/s. Zároveň se zde nachází evropsky významná lokalita Natura 2000 „Zbytka“, která patří mezi poslední lokality v České republice, kde se zachovala slatinná rostlinná společenstva vázaná na vývěry alkalických podzemních vod. Dochází tak zde ke střetům zájmů ochrany přírody a zájmů vodárenských společností zajišťujících dodávku pitné vody pro obyvatelstvo v regionu (Hrkal, 2010). Pro snížení dopadů odběrů podzemní vody na chráněné ekosystémy byl pro jímací území zaveden institut minimální hladiny podzemní vody v období od 21. března do 15. června, kdy jímání nesmí způsobit pokles hladiny

ve vybraném monitorovacím vrtu pod stanovenou úroveň. Toto opatření vede k výraznému omezení odběrů v daném období. Pro zajištění požadavků na vodní zdroje tak dochází k obnovení provozu úpravní vody v Hradci Králové, která využívá jako zdroj surové vody řeku Orlici.

Vzhledem k napjaté bilanci požadavků na odběry pitné vody a dostupných vodních zdrojů především v období platnosti institutu minimální hladiny podzemní vody pro jímací území Litá je pro pilotní povodí Orlice klíčovým cílem adaptační strategie identifikace potenciálních nových vodních zdrojů, které by byly využitelné pro lidskou spotřebu. Uvážíme-li možné dopady klimatické změny na vydatnost stávajících vodních zdrojů a na jakost odebírané vody, potřeba zajištění dalších vodních zdrojů získává na významu. Povodí Orlice tak reprezentuje příklad povodí, kde již v současnosti dochází ke střetu zájmů ochrany přírody a zájmů zajištění dodávky pitné vody. Je možné, že s prohlubujícím se vlivem dopadů klimatické změny bude k analogickým problémům docházet i v dalších regionech ČR.

Hydrogeologické poměry

Území povodí Orlice je budováno zejména sedimenty, dále metamorfity a z malé části i magmatity. V severovýchodní části povodí převažují horniny orlicko-kladského krystalinika. Do jihovýchodní části povodí zasahují permské sedimenty podorlické brázdy a denudační relikty mořských neogenních sedimentů. Naprostou většinu povodí však zaujímají sedimenty svrchní křídly české křídové pánve, které tvoří jeho západní a střední část. Jsou tvořeny zejména pískovci, slínovci a jílovci. Vlivem významných tektonických pohybů jsou křídové sedimenty lokálně zastoupeny i v horních částech povodí (kralický prolom, Orlické Záhoří ap.). Povrch je kryt kvartérními sedimenty, které mají větší mocnost ve spodní a střední části povodí, kde jsou zastoupeny zejména fluvialními sedimenty říčních teras, vátými písky a sprašemi (Mísař et al., 1983).

Povodí Orlice zasahuje na území několika hydrogeologických rajonů základní vrstvy – na severovýchodě tvoří povodí rajon 6420 Krystalinikum Orlických hor, na jihovýchodě se vyskytuje rajon 5211 Poorlický perm – severní část. Většina povodí je tvořena křídovými rajony, a to 4360 Labská křída, 4270 Vysokomytská synklinála, 4222 Podorlická křída v povodí Orlice, 4231 Ústecká synklinála v povodí Orlice, 4261 Kyšperská synklinála v povodí Orlice a 4291 Kralický prolom – severní část. V dolní části povodí je vymezen rajon svrchní vrstvy 1110 Kvartér Orlice (Olmer, 2006). Z hlediska zásobování pitnou vodou jsou klíčové zejména propustnější sedimenty svrchní křídly a kvartérní sedimenty říčních teras v dolní části povodí.

Klimatické a hydrologické poměry

Dlouhodobé průměry teploty vzduchu, srážek a průtoků byly stanoveny na základě denních nebo měsíčních hodnot poskytnutých Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Pro pochopení pozorovaných změn ve vybraných veličinách bylo provedeno porovnání statistických charakteristik odvozených pro období 1961–1990, které považujeme za období neovlivněné dopady klimatické změny, a pro období 1991–2009, které reprezentuje současný stav.



Obr. 2.2 Schéma Vodárenské soustavy východní Čechy, zdroj: Vodárenské soustavy v ČR

Hodnoty průměrné teploty vzduchu v ploše povodí Orlice byly vyhodnoceny pro klimatologické stanice uvedené v tabulce 2.1. Na základě lineárního regresního vztahu mezi nadmořskou výškou stanice a teplotou vzduchu pro období 1961–1990 byly odvozeny hodnoty průměrné teploty vzduchu pro dílčí povodí vodoměrných stanic a jsou uvedeny v tabulce 2.3. Pro dílčí povodí Divoké Orlice činí průměrná teplota vzduchu přibližně 6,4 °C, pro dílčí povodí Tiché Orlice 6,9 °C a pro povodí od soutoku obou Orlic po ústí do Labe dosahuje odhad průměrné teploty vzduchu 7,8 °C. Ve všech stanicích došlo mezi obdobími 1961–1990 a 1991–2009 k nárůstu teploty vzduchu. Nejnižší zaznamenaný rozdíl průměrné teploty vzduchu činí 0,69 °C a byl zaznamenán ve stanici Rokytnice v Orlických horách a nejvyšší dosahuje 1,31 °C ve stanici Deštné v Orlických horách.

Průměrné atmosférické srážky pro vybrané srážkoměrné stanice na povodí Orlice jsou uvedeny v tabulce 2.2. Pro stanice, kde existuje kontinuální řada pozorování od roku 1961 do současnosti, platí, že srážky se změnilly mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010 v rozsahu od +2,5 % do -3,5 %. Tabulka 2.3 uvádí hodnoty průměrných ročních srážkových úhrnů na dílčích povodích stanovené pomocí orografické interpolace. Interpolační metoda zohledňuje vliv orografie terénu na plošné rozdělení srážek a popsal ji Šercl (2008). Odhad ročního srážkového úhrnu pro období 1961–1990 na dílčím povodí Divoké Orlice dosahuje 907 mm/rok, pro povodí Tiché Orlice 792 mm/rok a pro dílčí povodí od soutoku obou Orlic po ústí do Labe činí odhad ročního srážkového úhrnu 671 mm/rok.

Mapa na obrázku 2.4 znázorňuje rozložení specifického odtoku v povodí Orlice. Z mapy je patrný vliv Orlických hor s vyšší nadmořskou výškou a vyšším srážkovým úhrnem na tvorbu odtoku z povodí. Na dílčích povodích Divoké Orlice, Zdobnice a Bělé v Orlických horách jsou dosahovány hodnoty specifického odtoku až 20 l/s/km². V dílčím povodí Dědiny a Orlice v dolní části povodí specifický odtok klesá k hodnotě 6 l/s/km². V tabulce 2.4 je uvedeno porovnání průměru, mediánu a koeficientu variace průtokových řad spočtených pro období 1961–1990 a dále pak pro současné období 1991–2009. Rozdíly v průměrném denním průtoku mezi zvolenými periodami pro stanice 0240 Klášterec nad Orlicí, 0250 Nekoř (Divoká Orlice), 0270 Slatina nad Zdobnicí, 0290 Kvasiny (Bělá), 0380 Chábory (Dědina) se pohybují v rozsahu do +10 % hodnoty z období 1961–1990. Ve stanicích 0300 Rychnov nad Kněžnou, 0310 Častolovice (Bělá), 0390 Mitrov (Dědina) v rozsahu do -10 % hodnoty z období 1961–1990. Pro stanice 0360 Malá Čermná (Tichá Orlice) a 0370 Týniště nad Orlicí byl zaznamenán rozdíl -15 %. Lze tedy vysledovat mírný nárůst průměrného dlouhodobého průtoku v horních částech dílčích povodí a naopak mírný pokles průměrných dlouhodobých průtoků v dolní části povodí. Ve všech sledovaných stanicích došlo k nárůstu koeficientu variace.

Vypozorované změny průtoků pravděpodobně souvisejí především se změnami ve srážkových úhrnech, přestože z analyzovaných srážkových úhrnů pro povodí Orlice nelze podobný závěr učinit vzhledem k relativně omezenému množství použitých dat. Kyselý (2009), který provedl podrobný rozbor trendů v časových řadách indikátorů průměrných a extrémních srážkových úhrnů pro celé území ČR, potvrdil rostoucí trendy v časových řadách srážkových extrémů spíše v horských a podhorských oblastech, zatímco v nížinách byly identifikovány trendy klesající nebo nebyla identifikována žádná změna v časové řadě. Kyselý (2009) dále zachytil rostoucí trend v řadách indikátorů extrémních srážek v zimě v západní polovině republiky. Poklesový trend byl naopak identifikován v jarních měsících, a to především v časové řadě průměrných srážkových úhrnů.

Kromě celkové roční změny velikosti průtoku byly vyhodnoceny i změny v ročním chodu. Relativní změna mediánu průtoku v daném měsíci pozorovaná mezi periodami 1961–1990 a 1991–2009 v profilech vodoměrné sítě povodí Orlice je znázorněna na obrázku 2.3. Změna mediánu listopadových průtoků není jednoznačná, prosinec se vyznačuje poklesem mediánu průtoků téměř ve všech stanicích. V měsících leden až březen téměř ve všech stanicích došlo ke zvýšení mediánu průtoků. Pro měsíc duben platí, že ve stanicích na horních částech toků (0240 Klášterec nad Orlicí, 0250 Nekoř, 0380 Chábory) ještě převažuje rostoucí tendence, zatímco ve stanicích na dolních částech toků již dochází k poklesu mediánu průtoků. Měsíce květen a červen se vyznačují poklesovou tendencí téměř ve všech stanicích. Červencové mediány zůstávají zpravidla zachovány. Mediány v měsících srpen až říjen zůstávají ve stanicích na horních částech toků

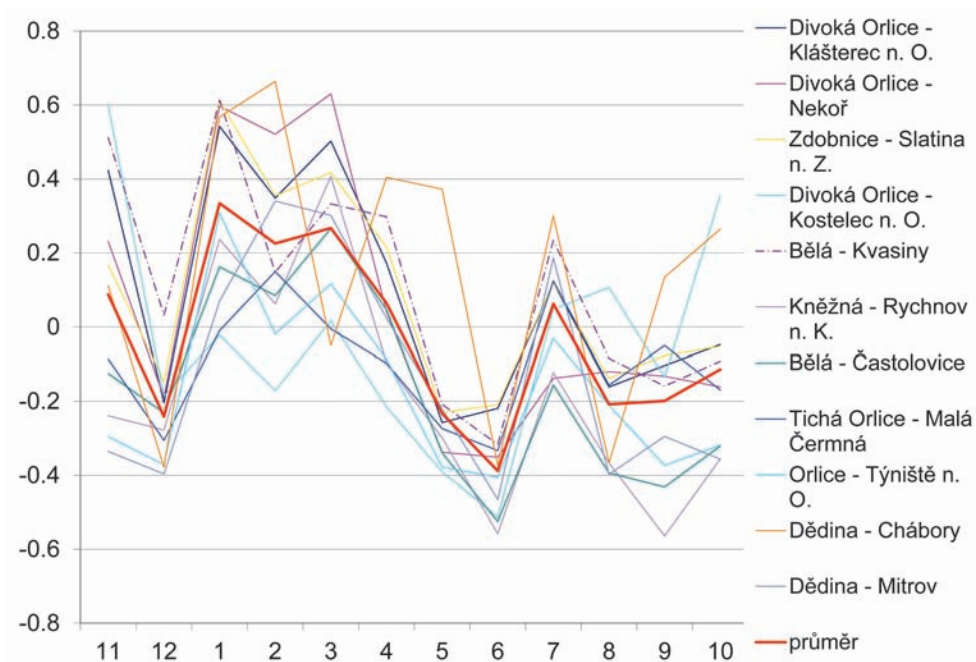
Tab. 2.1 Průměrná teplota vzduchu pozorovaná na klimatických stanicích v oblasti povodí Orlice a její změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2009

Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr pro celé obd. [°C]	61–90	91–09	Rozdíl [°C]
Deštné v Orlických h.	1961–2009	650	5,63	5,12	6,43	+1,30
Nekoř	1981–2005	478	6,99	–	7,14	–
Rokytnice v Orlických h.	1961–2009	569	6,89	6,63	7,32	+0,69
Rychnov nad Kněžnou	1981–2009	336	8,46	–	8,64	–
Ústí nad Orlicí	1961–2009	361	7,48	7,09	8,14	+1,05
Hradec Králové	1960–2009	249	8,82	8,48	9,36	+0,88

na stejné úrovni, ve stanicích na dolních částech toků dochází k poklesu mediánu průtoků (stanice 0390 Mitrov, 0370 Týniště nad Orlicí, 0310 Častolovice). Sledované změny v ročním chodu průtoků korespondují se změnami ročního chodu srážek, které byly popsány výše. Nárůst průtoků v zimních a jarních měsících, který je střídán poklesem v pozdním jaře, je pravděpodobně možné rovněž přičíst vlivu rostoucí teploty vzduchu, jež způsobuje průběžné odtávání sněhové pokrývky a dřívější nástup jarního tání. Pokles průtoků v pozdním létě může souviset s poklesem vydatnosti základního odtoku v této části roku.

Změny pozorované v ročním chodu průtoků v povodí Orlice zapadají do výsledků analýzy trendů vybraných charakteristik minimálních průtoků, která byla součástí řešení projektu „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrh adaptačních opatření“ (Pretel, 2010). V řadách průměrných denních průtoků pozorovaných na přibližně 150 relativně neovlivněných vodoměrných stanicích z celého území ČR byly zjišťovány trendy vybraných charakteristik průtoků (průměrných ročních, průměrných měsíčních po jednotlivých měsících v roce, průměrných minimálních sedmidenních průtoků a vybraných kvantilů m-denních průtoků: Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d}) za období pozorování 1961–2005. Z výsledků vyplynulo, že dlouhodobé průměrné měsíční průtoky zpracované po jednotlivých měsících vykazují statisticky významný rostoucí trend v lednu, únoru a březnu (pro 15–30 % stanic, většinou v horských a podhorských oblastech). Naopak měsíce květen a červen vykazují statisticky významný trend klesající (více než 50 %, resp. 90 % stanic). V druhé polovině roku nelze charakteristický trend identifikovat. V červenci a srpnu byly detekovány ještě klesající trendy, v září byl trend nalezen jen ojediněle. V říjnu až prosinci byly zaznamenány rostoucí i klesající trendy v různých stanicích, příčiny však lze jen obtížně vysvětlit. Trendy minimálních sedmidenních průtoků ani průtoků Q_{330d} , Q_{355d} a Q_{364d} nebyly ve většině stanic identifikovány.

Pro povodí Orlice byly dále vyhodnoceny změny v hodnotách m-denních průtoků stanovených z denních dat pro obě zvolené periody. Bylo zjištěno, že na většině stanic dochází k nárůstu průtoků Q_{30d} až Q_{90d} . Výjimkou jsou pozorování ve stanicích 0360 Malá Čermná na Tiché Orlici, 0280 v Kostelci nad Orlicí a 0370 v Týništi nad Orlicí, které zaznamenaly pokles u všech hodnot m-denních průtoků. Pokles m-denních průtoků je pozorován u všech stanic pro hodnoty Q_{240d} až Q_{364d} a činí až 15 %. Z výsledků vyplývá, že mezi zvolenými periodami dochází ke zvýšení průtoků s nižší hodnotou pravděpodobnosti překročení, a naopak k poklesu malých průtoků s vysokou hodnotou pravděpodobnosti překročení. Výsledek indikuje možné zvýšení pravděpodobnosti výskytu hydrologického sucha.



Obr. 2.3 Relativní změny průměrných měsíčních průtoků pozorované mezi periodami 1961–1990 a 1991–2009 v jednotlivých vodoměrných stanicích na povodí Orlice

Tab. 2.2 Průměrné roční srážkové úhrny ve srážkoměrných stanicích v oblasti povodí Orlice a jejich změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2009

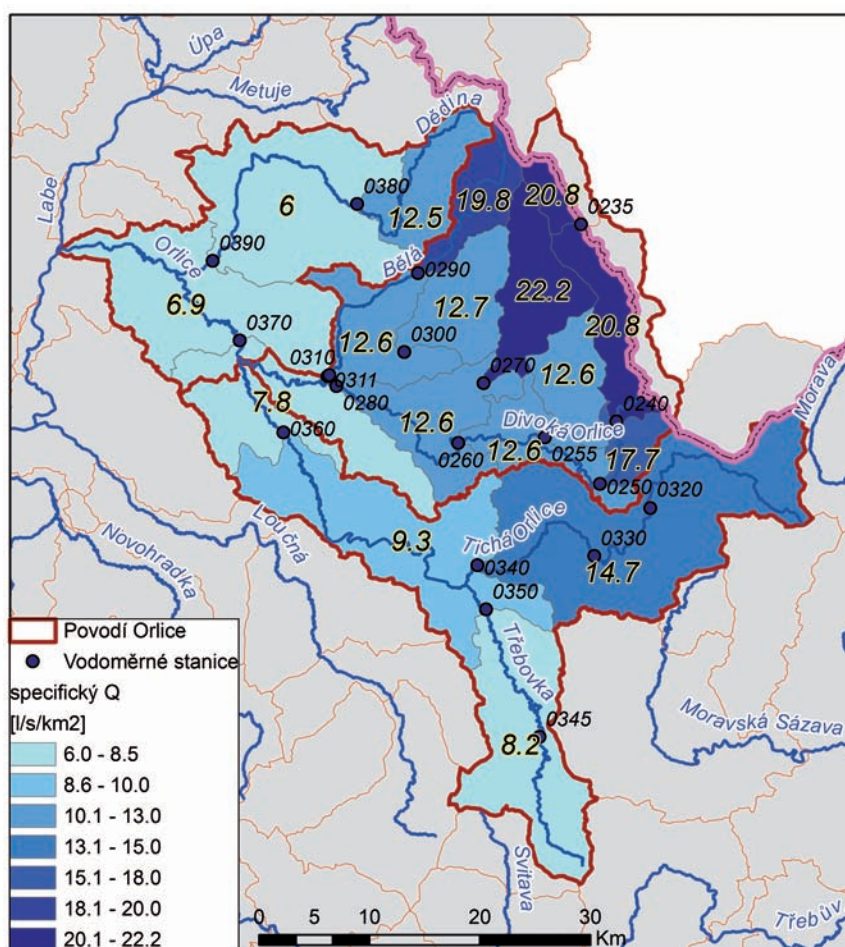
Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr celé obd. [mm/rok]	61–90	91–09	Rel. změna [%]
Borohrádek	1985–2009	259	670	–	671	–
Deštné v Orlických h.	1961–2009	650	1 177	1 193	1 150	-3,6
Nekoř	1961–2005	478	834	839	824	-1,8
Rokytnice v Orlických h.	1961–2009	569	927	919	941	+2,3
Rychnov nad Kněžnou	1981–2009	337	705	–	729	–
Ústí nad Orlicí	1961–2009	394	758	763	752	-1,4
Žamberk	1980–2009	432	778	–	784	–
Hradec Králové	1961–2009	249	612	617	603	-2,2

Tab. 2.3 Srážky, odtokové výšky a teplota vzduchu pro dílčí povodí Orlice pro období 1961–1990

DBC	Dílčí povodí k vodoměrné stanici	Srážky [mm/rok]	Odtok [mm/rok]	Teplota [°C]	Nadm. výška [m n. m.]
0240	Klášterec nad Orlicí-Divoká Orlice	1 220	648	5,6	720
0270	Slatina nad Zdobnicí-Zdobnice	1 192	702	5,7	721
0290	Kvasiny-Bělá	1 193	628	4,8	707
0300	Rychnov nad Kněžnou-Kněžná	881	417	7,0	500
0370	Týniště nad Orlicí-Orlice	861	400	6,9	474
0380	Chábory-Dědina*	849	393	6,0	550
0390	Mitrov-Dědina	725	243	6,8	369
	*data pro období 1969–1990				

Tab. 2.4 Porovnání statistických charakteristik průměrných denních průtoků pro období 1961–1990 a 1991–2009

DBC	Název stanice	Průměr [m ³ /s]		Medián [m ³ /s]		Cv	
		61–90	91–09	61–90	91–09	61–90	91–09
0240	Klášterec nad Orlicí-Divoká Orlice	3,19	3,52	2,07	2,01	1,13	1,35
0250	Nekoř-Divoká Orlice	3,70	3,74	2,28	2,06	1,09	1,25
0270	Slatina nad Zdobnicí-Zdobnice	1,87	2,00	1,16	1,20	1,11	1,22
0280	Kostelec nad Orlicí-Divoká Orlice	8,37	7,91	5,40	4,54	1,03	1,26
0290	Kvasiny-Bělá	1,07	1,17	0,71	0,71	1,12	1,31
0300	Rychnov nad Kněžnou-Kněžná	0,95	0,92	0,55	0,49	1,37	1,42
0310	Častolovice-Bělá	2,70	2,59	1,78	1,45	1,19	1,40
0360	Malá Čermná-Tichá Orlice	7,89	6,76	5,32	4,37	1,04	1,26
0370	Týniště nad Orlicí-Orlice	20,21	17,45	13,60	10,40	1,02	1,16
0380	Chábory-Dědina	0,93	0,99	0,52	0,54	1,33	1,39
0390	Mitrov-Dědina	2,24	2,09	1,44	1,15	1,43	1,58



Obr. 2.4 Specifický odtok z povodí Orlice v l/s/km² (průměr za období 1961–1990)

Užívání vody v povodí

Základním podkladem pro analýzu užívání vody v povodí byla data, která přesahují hodnotu 6 000 m³ za rok nebo 500 m³ za měsíc, jež musí být podle § 22 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách, ve znění pozdějších předpisů, (dále jen vodní zákon) jednou ročně reportována správci povodí. Údaje jsou dále archivovány v databázi HEIS (Hydroekologický informační systém), kterou spravuje VÚV TGM, v.v.i. Data jsou evidována od roku 1979 a jsou podkladem pro vyhodnocení vodohospodářské bilance. Dalším podkladem o užívání vody v povodí Orlice byly materiály poskytnuté Magistrátem města Hradec Králové a plány rozvoje vodovodů a kanalizací Královéhradeckého a Pardubického kraje.

V povodí Orlice bylo v období 1998–2008 průměrně odebíráno přibližně 22 mil. m³/rok, z toho zhruba 93 % činí voda podzemní. Odběry vody nejsou rozloženy rovnoměrně po povodí. Zatímco krystalinický rajon Orlických hor neumožňuje realizovat významnější odběry podzemních vod, hydrogeologický rajon Podorlická křída je intenzivně vodárensky využíván. Nachází se zde jímací území Litá, které představuje jeden z hlavních zdrojů vody Vodárenské soustavy východní Čechy. Mezi nejvýznamnější odběratele podzemních vod v povodí Orlice patří vodárenské společnosti Vodovody a kanalizace Hradec Králové, a.s. (180 l/s), Aqua, a.s., Rychnov nad Kněžnou (113 l/s), Vodovody a kanalizace Jablonné nad Orlicí, a.s. (115 l/s) a Orlická vodárenská společnost Česká Třebová, s.r.o. (53 l/s). Mezi nejvýznamnější odběratele povrchových vod patří především průmyslové podniky. Až do roku 1997 byla významným odběratelem povrchových vod rovněž úpravná vody v Hradci Králové, která odebírá surovou vodu z Orlice. Postupně byl tento zdroj vody nahrazen kvalitnější podzemní vodou z oblasti jímacího území Litá. Úpravná vody v Hradci Králové tak v současné době plní funkci záložního vodního zdroje a od roku 2008 je obnovován její provoz v období platnosti institutu minimální hladiny podzemní vody v jímacím území Litá.

Průměrné evidované vypouštění v období 1998–2008 na celém povodí Orlice dosahovalo hodnoty 17 mil. m³/rok. Nejvýznamnější vypouštění představují čistírny odpadních vod v České Třebové (98 l/s), v Ústí nad Orlicí (78 l/s), v Týništi nad Orlicí (39 l/s), v Letohradě (25 l/s), v Chocni (19 l/s), v Dobrušce (18 l/s) a v Králíkách (13 l/s). Mezi významná průmyslová vypouštění patří strojírna Elitex v Týništi nad Orlicí (13 l/s), potravinářský podnik Integral Vrchovina u Chocně (9 l/s) a cukrovar v Českém Meziříčí (5 l/s).

Množství vody odebrané nebo vypuštěné za rok v dílčích povodích Orlice je uvedeno v tabulkách 2.5 a 2.6. Jedná se o průměr za období 1998–2008. Přibližnou míru současného využití vodních zdrojů na daném dílčím povodí vyjadřuje poměr mezi hodnotou celkového uskutečňovaného odběru nebo vypouštění a hodnotou průtoku Q_{355d} . Vyšší podíl vypouštěných vod může způsobovat pokles kvality vody v toku především v období malých průtoků. Tabulka dále uvádí bilanci odběrů a vypouštění v dílčích povodích a pro celé povodí Orlice. Nejvyšší záporná hodnota bilance odběrů a vypouštění byla zjištěna v povodí Dědiny k vodoměrné stanici Mitrov, kde se projevuje vliv odběrů podzemní vody v jímacím území Litá.

Výsledná bilance užívání vody v povodí od roku 1979 do roku 2008 je vykreslena na obrázku 2.5. Množství vody odebrané z podzemních vod pokleslo o 40 % vzhledem k maximální hodnotě zaznamenané v roce 1988. Ještě výrazněji pokleslo množství vody odebírané z povrchových vod, kdy průměrné množství odebírané v letech 2004–2008 činí přibližně desetinu původního množství. Množství evidovaného vypouštění vzrostlo během hodnoceného období přibližně o 16 %

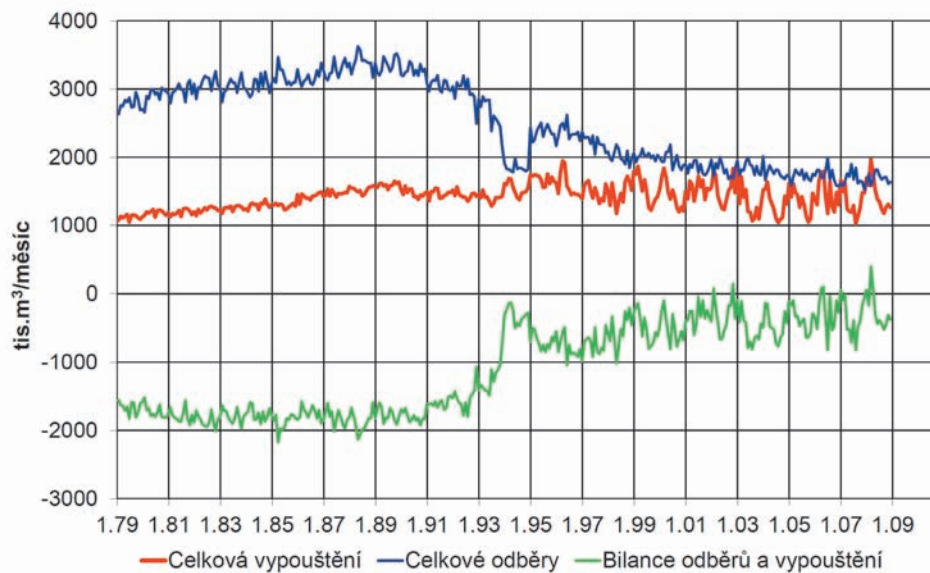
Tab. 2.5 Množství vody odebrané z povodí Orlice (POD – odběr z podzemních vod, POV – odběr z povrchových vod) – průměr za období 1998–2008

DBC	Název stanice	Q_{355d} [m ³ /s]	POD [tis. m ³ /rok]	POV [tis. m ³ /rok]	suma [tis. m ³ /rok]	suma/ Q_{355d} [%]
240	Kláštrec n. O.-Div. Orlice	0,54	96	4	100	0,6
250	Nekoř-Div. Orlice	0,83	117	4	121	0,5
270	Slatina nad Zdobnicí-Zdobnice	0,28	8	162	169	1,9
280	Kostelec nad Orlicí-Div. Orlice	1,43	1 921	653	2 574	5,7
290	Kvasiny-Bělá	0,17	39	34	73	1,4
300	Rychnov nad Kněžnou-Kněžná	0,06	141	10	151	8,0
310	Častolovice-Bělá	0,29	1 229	238	1 467	16,0
340	Dolní Libchavy-Tichá Orl.	0,72	118	52	170	0,8
350	Ústí nad Orlicí-Třebovka	0,18	2 336	24	2 360	41,6
360	Malá Čermná-Tichá Orl.	1,77	6 689	174	6 862	12,3
370	Týniště nad Orlicí-Orlice	3,46	12 178	1 064	13 242	12,1
380	Chábory-Dědina	0,08	37	0	37	1,5
390	Mitrov-Dědina	0,11	7 385	87	7 471	215,4
	celé povodí	4,10	20 442	1 506	21 948	17,0

v souvislosti s uváděním nových čistíren odpadních vod do provozu. Z grafu je patrné, že bilance odběrů a vypouštění vody byla až do konce osmdesátých let výrazně nevyrovnaná, např. v roce 1988 činil roční bilanční deficit 22 mil. m³. Vzhledem k zaznamenaným změnám v užívání dochází k postupnému vyrovnání odběrů a vypouštění. V období 2004–2008 činil bilanční deficit přibližně 4 mil. m³ ročně.

Tab. 2.6 Množství vody vypuštěné v povodí Orlice a bilance vypouštění a odběrů – průměr z období 1998–2008

DBC	Název stanice	Q_{355} [tis. m ³ /rok]	VYP [tis. m ³ /rok]	VYP [l/s]	VYP/ Q_{355} [%]	Bilance [l/s]
240	Kláštrec n. O.-Div. Orlice	0,54	9	0,3	0,1	-2,9
250	Nekoř-Div. Orlice	0,83	60	1,9	0,2	-1,9
270	Slatina nad Zdobnicí-Zdobnice	0,28	10	0,3	0,1	-5,0
280	Kostelec nad Orlicí-Div. Orlice	1,43	2 356	74,7	5,2	-6,9
290	Kvasiny-Bělá	0,17	156	4,9	2,9	2,6
300	Rychnov nad Kněžnou-Kněžná	0,06	73	2,3	3,9	-2,5
310	Častolovice-Bělá	0,29	1 840	58,4	20,1	11,8
340	Dolní Libchavy-Tichá Orl.	0,72	2 274	72,1	10,0	66,7
350	Ústí nad Orlicí-Třebovka	0,18	223	7,1	3,9	-67,8
360	Malá Čermná-Tichá Orl.	1,77	9 184	291,2	16,5	73,6
370	Týniště nad Orlicí-Orlice	3,46	14 107	447,3	12,9	27,4
380	Chábory-Dědina	0,08	46	1,5	1,8	0,3
390	Mitrov-Dědina	0,11	1 178	37,4	34,0	-199,5
	celé povodí	4,10	17 209	545,7	13,3	-150,3



Obr. 2.5 *Balance vypouštění a odběrů v povodí Orlice během let 1979–2008*

2.2 Povodí Chrudimky

Povodí Chrudimky leží ve východních Čechách na území Pardubického kraje, na jihu zasahuje do kraje Vysočina. Státní správa území je zajišťována krajskými úřady v Pardubicích a v Jihlavě a městskými úřady v Chrudimi, Hlinsku, Chrastí, Skutči, Nasavrkách a v Třemošnici. Okrajově povodí Chrudimky spadá do působnosti městských úřadů Chotěboř, Žďár nad Sázavou, Polička, Litomyšl a Vysoké Mýto. Povodí Chrudimky je subpovodím dílčího povodí Horního a středního Labe a je spravováno podnikem Povodí Labe, s.p. Některé drobné vodní toky jsou spravovány Lesy České republiky, s.p., a dalšími subjekty.

Chrudimka je levostranným přítokem Labe, pramení v Hornosvratecké vrchovině v nadmořské výšce 705 m n. m. a ústí do Labe v Pardubicích v nadmořské výšce 215 m n. m. Celková plocha povodí zaujímá 866 km². Průměrná nadmořská výška povodí činí 453 m n. m. Při celkové délce toku 106 km činí průměrný sklon toku 4,6 ‰. Severně od Chrudimi se do Chrudimky vlévá největší pravostranný přítok Novohradka, která pramení taktéž v Hornosvratecké vrchovině v nadmořské výšce 650 m. Novohradka se vlévá do Chrudimky v nadmořské výšce 235 m a při délce 49 km činí její průměrný podélný sklon 8,4 ‰. Plocha povodí Novohradky zaujímá 460 km². Levostrannými přítoky Novohradky jsou potoky Krounka, Žejbro a Ležák, které stékají ze svahů Hornosvratecké vrchoviny a navazujících Železných hor.

Povodí Chrudimky představuje jednu ze zdrojových oblastí Vodárenské soustavy východní Čechy. Nachází se zde významný zdroj podzemní vody v Podlažicích v povodí potoka Ležák a na horní části toku Chrudimky byly v minulosti realizovány vodárenské nádrže Hamry, Seč a Křižanovice. Část vody odebrané z nádrže Křižanovice je předávána do vodárenského systému Pardubicka, odkud může být voda předávána až na Hradecko. Cílem navrhovaných adaptačních opatření v povodí Chrudimky bylo vyhodnotit možnosti zvýšení míry využívání vodárenských

nádrží a odhadnout dostupné rezervní vodní zdroje pro případné navýšení dotace deficitních oblastí Pardubicka a Hradecka. Fungující spolupráce provozovatelů vodárenských systémů v povodí Chrudimky a v sousedních povodích představuje příklad jednoho z klíčových adaptačních opatření ve vodním hospodářství v ČR.

Hydrogeologické poměry

Povodí Chrudimky zasahuje na území tří hydrogeologických rajonů základní vrstvy – Krystalinika Železných hor (62 % plochy povodí), Chrudimské křídly (33 %) a Vysokomýtské synklinály (5 %). Na krystalinikum Železných hor navazuje na jihovýchodě krystalinikum v povodí Svratky – střední část. Na jihozápadě jsou krystalinické struktury Železných hor a Kutnohorska odděleny pásem křídových sedimentů rajonů Dlouhé meze (jižní a severní části). Severní okraj povodí zasahuje do rajonu svrchní vrstvy Kvartér Loučné a Chrudimky.

Krystalinikum Železných hor je tvořeno fylitizovanými břidlicemi, svory, svorovými rulami, amfibolity, ortorulami a migmatity a dále horninami železnohorského plutonu – granity, granodiority až diority s tělesy gaber až gabrodioritů. Prakticky celá plocha rajonu tvoří infiltrační oblast. K proudění podzemní vody dochází zejména ve zvětralinovém plášti a pásmu připovrchového rozpojení. K odvodnění podzemních vod dochází víceméně lokálně v úrovních místních erozních bází výrony do povrchových toků. Hladina podzemní vody bývá většinou volná v nevelké hloubce pod terénem v závislosti na morfologii a propustnosti hornin. Pro hydrogeologický rajon jsou charakteristické převážně rozptýlené zdroje podzemní vody s nevýznamnou vydatností.

Hydrogeologický rajon chrudimské křídly je v bazální části svrchnokřídového komplexu tvořen sedimenty sladkovodního a mořského cenomanu, jehož mocnost dosahuje v dílčích depresích předkřídového reliéfu až 60 m, a je tvořen převážně pískem. Spodnoturonský komplex uložený výše je tvořen převážně vápnitými prachovci, písčitymi a jílovitými vápenci. Horní vrstva je tvořena mělkými slínovci, prachovci a vápnitými jílovci středního turonu. Svrchnokřídové sedimenty dosahují své maximální mocnosti přes 200 m při severním okraji rajonu.

Z hydrogeologického hlediska je nejvýznamnější cenomanský kolektor. Zvodeň v jeho písčitych sedimentech se nachází téměř v celém rajonu. Kromě okrajových infiltračních částí se jedná o zvodeň s napjatou hladinou. Druhá zvodeň se nachází v sedimentech spodního turonu. Vytvořena je však pouze ve východní části rajonu. Kolektor tvoří spongilitické prachovce a vápence. Propustnost kolektoru je puklinová. V oblastech, kde dochází k vyšším tlakům v kolektorech a poloizolátor mezi cenomanem a spodním turonem zde není plně funkční, dochází k propojení obou zvodní do spojitě spodnoturonské zvodně (např. v oblasti podlažické deprese).

Klimatické a hydrologické poměry

Dlouhodobé pozorování teploty vzduchu v povodí Chrudimky bylo vyhodnoceno pro klimatické stanice v Pardubicích a ve Svratouchu. Průměrné hodnoty teploty vzduchu jsou uvedeny v tabulce 2.7 Odhad průměrné teploty vzduchu na povodí Chrudimky stanovený na základě průměrné nadmořské výšky povodí činí pro období 1961–1990 7,2 °C a pro období 1991–2010 8,1 °C. Množství srážek a jejich změny byly hodnoceny na základě dat ze srážkoměrných stanic

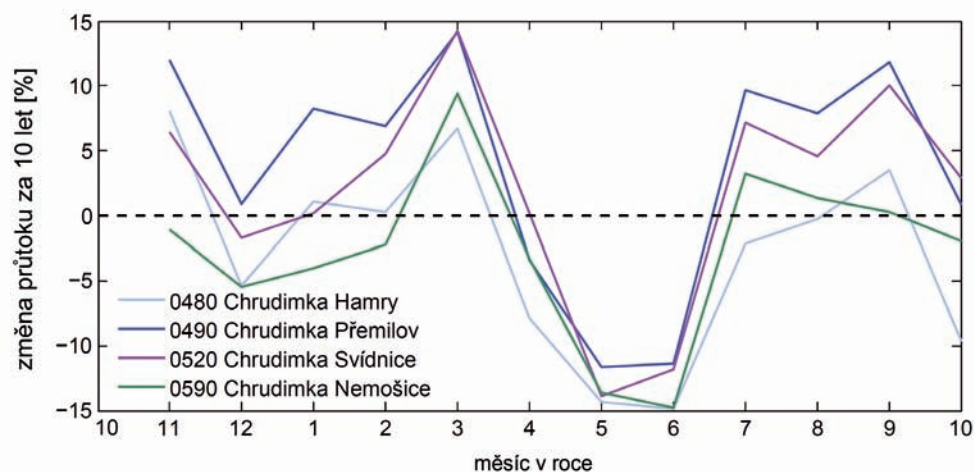
uvedených v tabulce 2.8. Tabulka udává nadmořskou výšku stanice stanovenou z digitálního modelu terénu ČR, dlouhodobý průměrný roční srážkový úhrn za celé období po roce 1961 a dále uvádí hodnotu průměrných srážek v období 1961–1990 a hodnotu průměrných ročních srážek v období 1991–2010. Na základě vztahu mezi nadmořskou výškou stanice a průměrnou roční srážkou byly odvozeny lineární regresní vztahy, ze kterých je možné odvodit průměrné srážky na povodí. Při průměrné nadmořské výšce povodí Chrudimky 453 m n. m. činí odhad srážek na povodí pro období 1961–1990 703 mm/rok a pro období 1991–2010 756 mm/rok.

Nejvyšší roční srážkové úhrny jsou dosahovány na rozhraní povodí Chrudimky a Doubravy a v období 1961–1990 se pohybovaly v rozsahu 750–800 mm/rok. V oblasti Svitavské pahorkatiny se roční průměrné roční srážky v období 1961–1990 pohybovaly v rozsahu 600–700 mm/rok. Jak uvádí tabulka 2.8, mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010 došlo k relativním změnám v ročním srážkovém úhrnu v rozsahu od -1 % do +15 %. K vyšším hodnotám nárůstu srážek dochází zpravidla ve stanicích s vyšší nadmořskou výškou. Na každých 100 m nadmořské výšky připadá nárůst ročního úhrnu srážek mezi těmito dvěma periodami přibližně o 2,2 %.

Přestože pozorované změny celkového ročního srážkového úhrnu nejsou výrazné, pro vývoj hydrologických poměrů jsou důležité pozorované změny v rozdělení srážek během roku. Pro srážkoměrné stanice, pro které byla k dispozici data za období 1961–2010, bylo provedeno vyhodnocení gradientů lineárních trendů odhadnutých v časových řadách srážkových úhrnů v jednotlivých měsících v období 1961–2010. Z výsledků vyplývá, že zatímco k nárůstu srážek dochází především v měsících březen a červenec (v rozsahu 5–20, resp. 5–13 %), v měsících květen a červen je pozorován pokles v rozsahu 2–8, resp. 3–10 % za desetileté období. Podobný charakter změn byl pozorován rovněž pro povodí Orlice nebo pro povodí Rakovnického potoka (Kašpárek et al., 2011), kde na rozdíl od povodí Chrudimky dochází k výraznějším poklesům srážek v měsíci dubnu (o 17 %) a méně výraznému zvyšování srážek v březnu (pouze o 2 %).

Pro vyhodnocení průtoků na povodí Chrudimky byla využita data uvedená v tabulce 2.9. Mapa na obrázku 2.7 zobrazuje hodnoty specifických odtoků z dílčích povodí v l/s/km². Specifický odtok vyšší než 10 l/s/km² je dosahován na povodí vodoměrné stanice 0480 Hamry, které tvoří pramenou oblast Chrudimky, dále na povodí vodoměrné stanice 0550 na Krounce, jež je levostranným přítokem Novohradky, a pak na mezipovodích Chrudimky ke stanicím 0510 Mezisvětí a 0530 Slatiňany, kde se vlévají do Chrudimky potoky Okrouhlický a Zlatník, které odvodňují severní svahy Železných hor. Specifický odtok pro povodí Novohradky byl odvozen z pozorování průtoků ve stanici 0580 Úhřetice, jež je ovlivněna převodem vody do náhonu Zmínka, který není systematicky měřený. Dá se tedy očekávat, že skutečná hodnota specifického odtoku z povodí Novohradky je vyšší než uvedených 5,5 l/s/km².

V tabulce 2.10 je uvedeno porovnání průměru, mediánu a koeficientu variace stanovených z denních průtoků pro období 1961–1990 a 1991–2010. Rozdíly v průměrném dlouhodobém průtoku mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010 jsou obdobné jako výsledky, které byly získány pro povodí Orlice. Pro stanice na horních úsecích toku s vyšší nadmořskou výškou (nad 550 m n. m.) je pozorován nárůst dlouhodobého průměrného průtoku do +10 % (stanice 0490, 0520), v dolních částech povodí je naopak pozorován pokles dlouhodobého průměrného průtoku mezi zvolenými periodami v rozsahu do -15 % (0580, 0590). Z takového zobecnění se však vymyká pozorování na povodí Chrudimky v Hamrech (0480), kde dochází k dlouhodobému poklesu průtoků. Ve všech sledovaných stanicích došlo k nárůstu koeficientu variace.



Obr. 2.6 Procentuální změna průtoku odvozená na základě gradientu lineárního trendu průtoku v daném měsíci za 10 let vzhledem k hodnotě průměrného měsíčního průtoku v období 1961–1990

Tab. 2.7 Průměrná teplota vzduchu pozorovaná na klimatických stanicích v oblasti povodí Chrudimky a její změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010

Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr pro celé obd. [°C]	1961–1990	1991–2010	Rozdíl [°C]
Pardubice	1961–2010	219	8,94	8,60	9,47	+0,87
Svratouch	1961–2010	705	6,10	5,75	6,61	+0,86

V řadách průměrných měsíčních průtoků pro období 1961–2010 byla analyzována změna v rozdělení průtoků v roce. Byly odvozeny gradienty lineárních trendů průtoků v jednotlivých měsících a tyto hodnoty byly vztaženy k průměrnému průtoku v daném měsíci, který byl stanoven pro období 1961–1990. Procentuální změny průtoku za deset let v jednotlivých měsících jsou vykresleny na obrázku 2.6. Z obrázku je patrný především nárůst průtoků v březnu, který je vystřídán poklesem průtoků v dubnu, květnu a červnu. Oproti výsledkům získaným pro změnu průtoků v jednotlivých měsících v povodí Orlice dochází v povodí Chrudimky k nárůstu průtoků v letních měsících. Změny průtoků v jednotlivých měsících reflektují změny v rozložení srážek. Poklesu srážek v měsících květnu a červnu v rozsahu mezi 5–10 % odpovídá pokles průtoků o 10–15 %.

Užívání vody v povodí

V povodí Chrudimky bylo v letech 2000–2009 průměrně odebráno 10,1 mil. m³ ročně, z čehož 57 % z vod podzemních. Nejvýznamnější odběry z podzemních vod jsou uskutečňovány v jímacím území Podlažice v povodí říčky Ležák (81 l/s, Vodárenská společnost Chrudim, a.s.) a v jímacím území v Nemošicích v dolní části povodí Chrudimky (42 l/s, VaK Pardubice, a.s.). Odběr podzemních vod je dále uskutečňován v jímacím území města Skuteč (10 l/s). Nejvýznamnější jímání povrchových vod pro vodárenské účely je realizováno z nádrží Křížanovice (83 l/s), Hamry (28 l/s, v letech 2011 a 2012 pouze 8 l/s, výhledově se bude odběr pohybovat na úrovni 15 l/s) a Seč (7,5 l/s, Vodárenská společnost Chrudim, a.s.), největším odběratelem povrchových vod

Tab. 2.8 Průměrné roční srážkové úhrny ve srážkoměrných stanicích v oblasti povodí Chrudimky, jejich změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010 a gradient lineárního trendu v celé časové řadě v mm/rok (tučně je označen statisticky významný trend)

Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr [mm/rok]	1961– 1990	1991– 2010	Rel. změna [%]	Exist. trendu [mm/rok]
Běstvina	1961–2010	318	666	654	684	+5	+1,13
Hamry	1961–2010	604	770	726	836	+15	+4,4
Heřmanův Městec	1961–2010	279	656	646	671	+4	+0,39
Chrast	1963–2005	266	607	605	612	+1	-0,73
Křižanovice	1980–2010	400	753	–	765	–	+2,15
Krucemburk	1961–2010	571	810	779	857	+10	+2,81
Lubná	1961–2010	568	768	741	809	+9	+0,69
Míčov Sušice	1961–2006	494	800	780	838	+7	+1,61
Nové Hradky	1961–2010	396	727	710	753	+6	+1,48
Pardubice	1961–2010	219	566	569	563	-1	-0,78
Seč	1961–2010	529*	779	782	775	-1	-0,73
Skuteč	1980–2010	380	691	–	715	–	+0,98
Svratouch	1961–2010	705	780	761	808	+6	+1,20
Vysočina	1961–2010	532	832	805	872	+8	+2,26
Habry	1970–2010	467	687	654	721	+10	+3,45

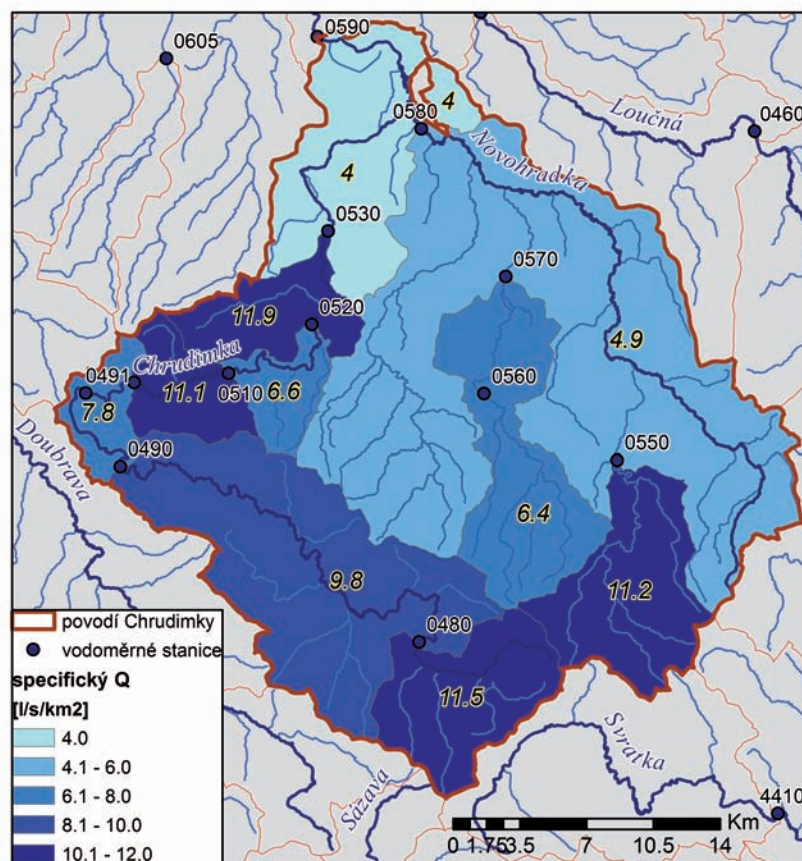
*stanice přestěhována

Tab. 2.9 Průtokové řady použité pro popis hydrologických podmínek v povodí Chrudimky a průměrná teplota vzduchu, srážky na povodí a odtokové výšky v období 1961–1990

DBC	Stanice	Pozorování	Plocha [km ²]	Nadm. v. [m n. m.]	Teplota [°C]	Srážky [mm/rok]	Odtoky [mm/rok]
0480	Chrudimka-Hamry	11/1913–12/2010	56,8	653	6,0	785	363
0490	Chrudimka-Přemilov	11/1926–12/2010	204,2	605	6,3	766	325
0500	Chrudimka-Padrty	11/1940–10/1987	224,8	598	6,4	763	317
0510	Chrudimka-Mezisvětí	11/1957–10/1987	253,0	589	6,4	759	321
0520	Chrudimka-Svídnice	11/1957–12/2010	274,0	580	6,5	755	312
0530	Chrudimka-Slatiňany	11/1940–10/1987	308,7	557	6,6	746	319
0590	Chrudimka-Nemošice	1/1931–12/2010	856,6	453	7,2	703	235
0550	Krounka-Předhradí	11/1949–10/1990	65,8	588	6,4	759	354
0580	Novohradka-Úhřetice	11/1931–10/2010	459,8	421	7,4	690	199

pro průmyslové účely je Lihovar Chrudim (15 l/s). Průměrné vypouštění činilo v letech 2000–2009 8,2 mil. m³ ročně. Mezi nejvýznamnější zdroje vypouštění patří čistírny odpadních vod v Chrudimi (120 l/s), v Hlinsku (61 l/s), ve Skutči (11 l/s) a v Chrastí (8 l/s). Dalšími významnými zdroji vypouštění jsou úpravna vody Práčov (Monaco) ve Slatiňanech (12 l/s), lihoval v Chrudimi (7 l/s) a teplárna Pardubice (7 l/s).

Obrázek 2.8 zachycuje vývoj bilance odběrů a vypouštění v povodí Chrudimky od roku 1979 do roku 2009. Na grafu je zřetelný výrazný pokles odběrů povrchových vod kolem roku 1993, který souvisel především s poklesem odběrů pro vodárenské účely. Pokles odběrů mezi periodami 1979–1992 a 1993–2009 činil 52 %. Vývoj odběrů podzemních vod zaznamenal postupný pokles o 38 % (rozdíl v průměrech mezi lety 1979–1983 a 2005–2009). Naopak množství evidovaného vypouštění vzrostlo oproti průměrné hodnotě v období 1979–1983 o 74 %. Nárůst souvisí



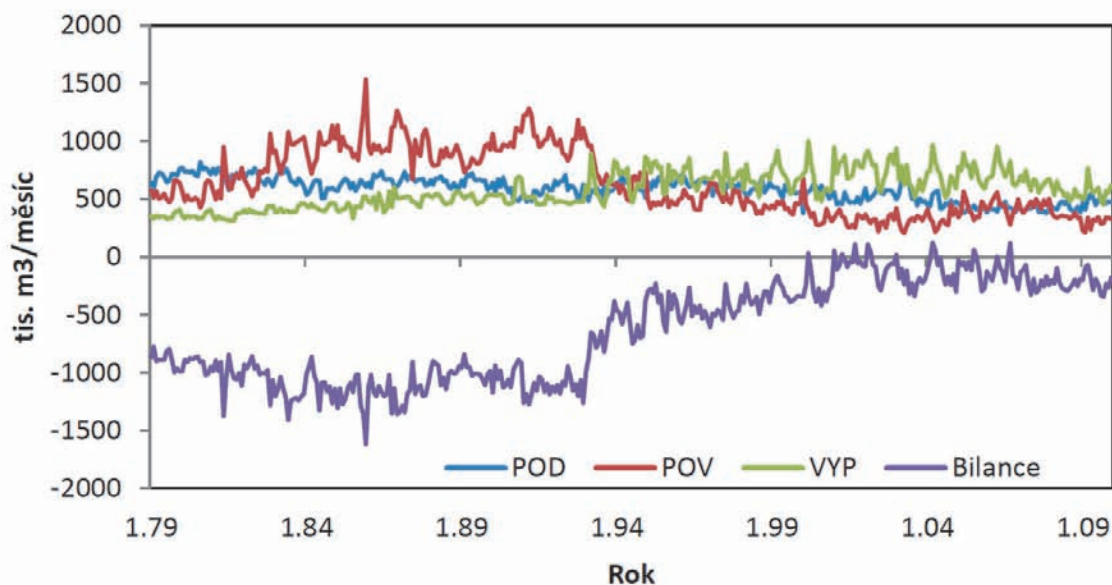
Obr. 2.7 Specifický odtok z povodí Chrudimky (průměr za období 1961–1990)

Tab. 2.10 Porovnání statistických charakteristik průměrných denních průtoků pro vodoměrné stanice v povodí Chrudimky pro období 1961–1990 a 1991–2010

DBC	Stanice	Průměr [m ³ /s]		Medián [m ³ /s]		Cv	
		61–90	91–10	61–90	91–10	61–90	91–10
0480	Chrudimka-Hamry*	0,65	0,58	0,34	0,20	0,93	1,08
0490	Chrudimka-Přemilov	2,10	2,28	1,16	1,26	1,45	1,53
0520	Chrudimka-Svídnice	2,71	2,87	1,60	1,65	1,16	1,24
0590	Chrudimka-Nemošice	6,37	5,78	3,69	3,33	1,14	1,32

*denní data pouze do 10/2006

se zvyšujícím se počtem obcí s evidovaným vypouštěním z veřejné kanalizace nebo z nově realizované čistírny odpadních vod. Průměrná bilance odběrů a vypouštění v letech 2000–2009 činí -157 tis. m³ za měsíc (-1,9 mil. m³ za rok, 60 l/s).



Obr. 2.8 Celková bilance vypouštění a odběrů v povodí Chrudimky během let 1979–2009, POD – odběry z podzemních vod, POV – odběry z povrchových vod, VYP – vypouštění

2.3 Povodí Blšanky

Povodí Blšanky se nachází v severozápadních Čechách na pomezí Ústeckého, Karlovarského, Plzeňského a Středočeského kraje. Státní správa oblasti je zajišťována krajskými úřady v Ústí nad Labem, Karlových Varech, Plzni a v Praze a dále městskými úřady v Žatci, Podbořanech, Rakovníku, Karlovicích a magistrátem města Karlovy Vary. Funkci vodoprávního úřadu plní rovněž Újezdní úřad vojenského újezdu Hradiště v Karlových Varech. Povodí náleží do oblasti povodí Ohře a dolního Labe, která je spravována podnikem Povodí Ohře, s.p.

Blšanka pramení v Doupovských horách v nadmořské výšce 680 m n. m. a ústí do Ohře u Trnovan v nadmořské výšce 189 m n. m. Povodí zaujímá 482,5 km². Při celkové délce toku 50,8 km činí průměrný sklon toku 9,7 ‰. V rámci řešení projektu byla uvažována část povodí po uzavěrový profil ve Stránkách (ř. km 41,9) s celkovou plochou 380,3 km² o průměrné nadmořské výšce 404 m n. m. Významnějšími pravostrannými přítoky Blšanky jsou potoky Podvinecký, Očíhovecký, Černocký a Klučenský. Levostrannými přítoky jsou Mlýnecký potok, Podhora a Radíčovská strouha, která ústí do Blšanky až u Trnovan.

Povodí Blšanky náleží k nejsušším oblastem v ČR, kde se průměrný roční srážkový úhrn pohybuje v rozsahu 450–540 mm ročně (viz následující kapitulu). S rostoucí teplotou vzduchu, a tím i rostoucí mírou evapotranspirace zde dochází ke snižování vodnosti vlastního toku Blšanky. V roce 2007 bylo dokonce zaznamenáno úplné vyschnutí koryta toku v jeho dolní části. V současné době dochází téměř každoročně k omezování povolených odběrů vody pro závlahu v letních měsících, aby byl pokud možno zachován alespoň minimální zůstatkový průtok v Blšance a vodní tok mohl plnit svoje ekologické funkce. Vzhledem ke skutečnosti, že povodí Blšanky náleží ke chmelařské oblasti Žatecka a zemědělství zde představuje klíčový ekonomický sektor,

omezování zemědělské závlahy může vést k nepříznivým ekonomickým důsledkům pro místní pěstitele.

Vodnost toku Blšanky v jeho dolním úseku je dlouhodobě ovlivněna realizovaným jímáním podzemních vod v jímacím území Holedeč. Podzemní odtok, který by v této části povodí dotoval povrchový tok, je odebírán za účelem úpravy na vodu pitnou, která je částečně distribuována do okolních obcí a z části je využívána především v Žatci a okolí. Hydrogeologický rajon Holedeč, který je zároveň útvarem podzemních vod, dlouhodobě vykazuje pasivní vodohospodářskou bilanci. Pro pilotní povodí tak bude klíčové přehodnotit současnou míru využívání podzemních vod a identifikovat vhodná adaptační opatření jednak pro posílení vodnosti vlastního toku Blšanky, aby nemuselo docházet k omezování odběrů pro zemědělskou závlahu v takové míře jako doposud, a dále identifikovat opatření pro posílení nebo částečné doplnění stávajícího odběru v jímacím území Holedeč. Pilotní povodí Blšanky reprezentuje povodí, kde již v současnosti pozorujeme nepříznivé dopady klimatické změny na hydrologické poměry. Podobná situace je pozorována v celé oblasti středních a severozápadních Čech, zejména v dolní části povodí Ohře, v povodí Rakovnického potoka (Kašpárek et al., 2011) nebo v povodí Srpiny - přítoku Bíliny (Hanel et al., 2007). Pokud se charakter vývoje klimatu nezmění, je možné, že se analogické problémy začnou projevovat i v dalších oblastech.

Hydrogeologické poměry

Území povodí Blšanky je budováno zejména sedimenty, dále magmatity a z velmi malé části i metamorfity. V malé jihozápadní části povodí jsou v připovrchové vrstvě zastoupeny horniny kralupsko-zbraslavské skupiny stáří svrchního proterozoika, jedná se zejména o fylity. Ty jsou proráženy plutonity čistecko-jesenického masivu. Na horninách krystalinika jsou uloženy sladkovodní sedimenty permokarbonu rakovnické pánve, jedná se zejména o pískovce, jílovce, arkózy a slepence. Ve východní části povodí jsou tyto horniny kryty svrchnokřídovými sedimenty, zejména pískovci a slínovci. V západní části povodí došlo v terciéru k výrazné vulkanické činnosti, jejími zbytky jsou zejména bazické vulkanity a pyroklastika Doupovských hor. Výrazný rozsah, zejména v severní části povodí, mají sedimenty terciéru, zastoupené hlavně písky a jíly. Tyto sedimenty zasahují lokálně i k jihu miocénními tzv. hlavačovskými písčitými štěrky. Povrch je kryt kvarténními sedimenty. Ty jsou zastoupeny zejména deluviálními sedimenty, fluviálními sedimenty říčních teras, sprašemi a sprašovými hlínami (Mísař et al., 1983).

Z hydrogeologického hlediska spadá téměř celé povodí Blšanky do rajonu základní vrstvy Rakovnická pánev. Oblast kolem Holedeče náleží samostatnému hydrogeologickému rajonu základní vrstvy Holedeč. Rajon Holedeč je vodárensky využíván v oblasti jímacího území Holedeč. V současné době činí odběry podzemní vody přibližně 35 l/s. Vlastní tok Blšanky je využíván pro odběr vody pro závlahu chmelnic ve vegetačním období.

Klimatické a hydrologické poměry

Průměrná teplota vzduchu na povodí byla stanovena na základě denních hodnot pozorovaných na klimatických stanicích uvedených v tabulce 2.11. Data ze stanic byla nejprve korigována

na průměrnou nadmořskou výšku povodí na základě regresního vztahu mezi teplotou vzduchu a nadmořskou výškou a následně byla interpolována metodou Thiessenových polygonů. Průměrná teplota vzduchu na povodí Blšanky za období 1961–2011 byla odhadnuta na 8,1 °C, pro období 1961–1990 vychází odhad průměru 7,74 °C a pro období 1991–2011 8,54 °C. Mezi těmito dvěma periodami tedy došlo ke zvýšení teploty vzduchu na povodí Blšanky o 0,8 °C.

Průměrný roční srážkový úhrn na povodí byl odhadnut s využitím interpolace hodnot ze srážko-měrných stanic uvedených v tabulce 2.12 metodou Thiessenových polygonů. Pro období 1961 až 2011 činí odhad ročního srážkového úhrnu na povodí 519 mm/rok. Mezi periodami 1961 až 1990 a 1991–2011 došlo k nárůstu srážkového úhrnu v rozsahu do 2 %. Změny ve srážkovém úhrnu pozorované v jednotlivých stanicích mezi periodami 1961–1990 a 1991–2010 se pohybují od -10 % pro stanici v Kounově do +13 % pro stanici ve Vilémově. Nejvyšší dlouhodobý roční srážkový úhrn kolem hodnoty 540 mm/rok je dosahován v západní části povodí, která geomorfologicky náleží k Doupovským horám, a dále v oblasti kolem jižního okraje povodí, kde pramenní Podvinecký potok. Dlouhodobý roční srážkový úhrn pod 450 mm/rok je pozorován především v centrální části povodí v oblasti mezi Kryrami a Blšanami. Minimální roční srážkový úhrn za období 1961–2010 byl pro většinu stanic pozorován v roce 2003 a na mnoha stanicích nepřekročil hodnotu 300 mm/rok. Maximální roční srážkové úhrny byly zaznamenány v letech 1965 (tři stanice), 1981 (pět stanic), 2002 (pět stanic) a pro dvě stanice v roce 2010. Roční maxima se pohybují v rozsahu 700–920 mm/rok.

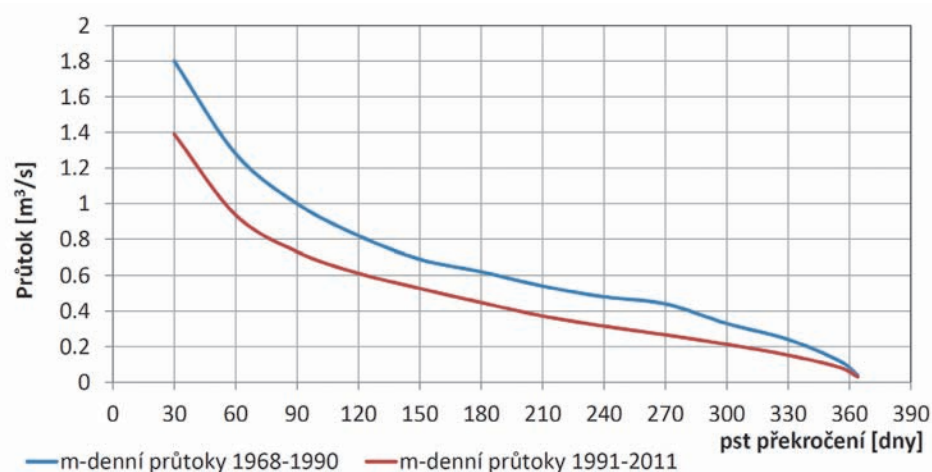
Pozorování průtoků v Blšance bylo v období 1968–2007 zajištěno vodoměrným profilem v Holedeči (plocha povodí 374,8 km²). Měření v Holedeči dlouhodobě vykazovalo problémy vzhledem k zarůstání měrného profilu během vegetačního období. Pro zpřesnění pozorování správce povodí Povodí Ohře, s.p., zprovoznil od roku 2001 limnigrafickou stanici se stabilizovaným měrným profilem ve Stránkách (plocha povodí 381,4 km²). V roce 2012 proběhla aktualizace měrné křivky pro tento profil. Pro účely studie byl proveden přepočít průměrných denních průtoků pozorovaných do této doby ve Stránkách na základě nové měrné křivky a na základě průměrných denních vodních stavů.

Rozdíl dlouhodobého průměrného průtoků vyhodnoceného z pozorování ve Stránkách a v Holedeči během období, kdy měřily obě stanice zároveň, vychází přibližně 54 l/s. Reálný odhad navýšení vodnosti toku v profilu Stránky vzhledem k nárůstu velikosti povodí se však může pohybovat kolem hodnoty 10-20 l/s. Vyčíslení průtoků v profilu Holedeč je tedy pravděpodobně zatíženo nejistotou a bylo by potřeba jej ověřit a rekonstruovat, podobně jak to bylo provedeno v profilu Rakovník na Rakovnickém potoce (Kašpárek, 2009). Pro takovou rekonstrukci však nebyl v rámci řešení projektu dostatečný prostor. Dále je řada průměrných denních průtoků v uzávěrovém profilu ve Stránkách uvažována jako jednoduché propojení obou průtokových řad a je třeba při interpretaci výsledků hodnocení hydrologických poměrů uvážit, že takto vytvořená řada není homogenní.

Přestože se z výsledků porovnání průtokových řad jeví řada v Holedeči jako podhodnocená, hodnota průměrného průtoků z období 1991–2011 (stanoveného z propojené řady) je přibližně o 29 % nižší než průměrný průtok z období 1968–1990 (z řady v Holedeči), viz tabulku 2.13. Mezi těmito dvěma periodami došlo k celkové změně hydrologického režimu. Obrázek 2.9 dokládá pokles průtoků v celé škále hodnot pravděpodobnosti překročení v období 1991–2011. Odhad velikosti průtoků s danou pravděpodobností překročení pro obě periody udává tabulka

Tab. 2.11 Průměrná teplota vzduchu pozorovaná na klimatických stanicích v oblasti povodí Blšanky a její změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2011

Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr pro celé obd. [°C]	1961–1990	1991–2011	Rozdíl [°C]
Kralovice	1961–2011	468	7,90	7,48	8,48	+1,00
Krásné Údolí	1981–2011	642	6,61	6,19	6,82	+0,63
Karlovy Vary	1961–2011	603	6,75	6,40	7,22	+0,83
Tušimice	1967–2011	322	8,67	8,38	9,00	+0,62
Žatec	1961–2011	201	9,10	8,86	9,44	+0,58



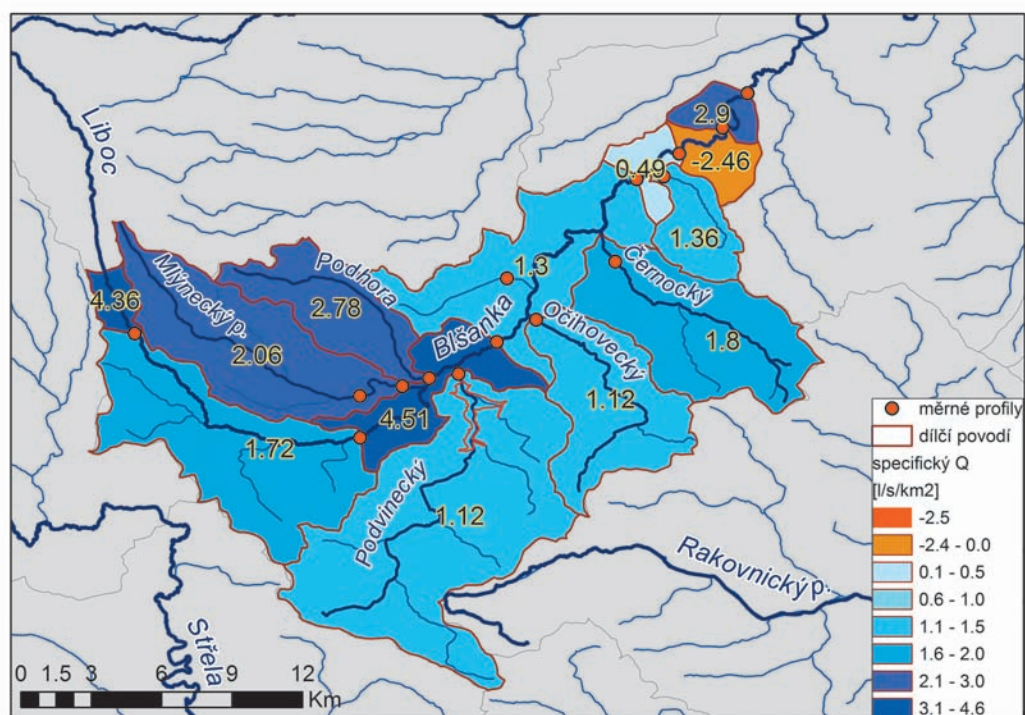
Obr. 2.9 Porovnání čáry překročení denních průtoků pozorovaných v Holedeči v období 1968–1990 a v období 1991–2011 (od roku 2001 pozorování ve Stránkách)

2.14. Vzhledem k nejistotám spojeným s vyhodnocením průtoků v profilu Holedeč nelze jednoznačně tvrdit, že pozorované změny souvisí čistě s dopady klimatické změny.

Mapa na obrázku 2.10 znázorňuje rozložení specifického odtoku na povodí Blšanky. Mapa byla vytvořena na základě odhadu poměru mezi průtokem z dílčího povodí a průtokem v uzávěrovém profilu ve Stránkách. Odhad poměru byl učiněn na základě výsledků měření průtoků ve zvolené stálé síti vodoměrných profilů, které bylo provedeno v letech 2008 a 2012, s přihlédnutím k poměru plochy dílčího povodí a plochy povodí k uzávěrovému profilu. Mapa znázorňuje odhadované hydrologické poměry pro období 1991–2011. Z mapy je patrné, že nízké srážkové úhrny vedou k velmi nízkým hodnotám specifického odtoku, který se na většině plochy povodí pohybuje v rozsahu 1–2 l/s/km². Výjimkou je pramenná oblast v Doupovských horách a mezipovodí Blšanky mezi měrnými profily v Přibenicích a v Kryrech, kde odhad specifického odtoku činí více než 4 l/s/km². Výsledek pro mezipovodí Blšanky k profilu Kryry je však zatížen značnou nejistotou vzhledem k tomu, že je stanovován jako rozdíl průtoků v Blšance v Kryrech a v Přibenicích a rovněž ve třech přítocích. Mapa dále zachycuje záporný odhad specifického odtoku v mezipovodí mezi Holedečí a Stránkami, který pravděpodobně souvisí s realizovaným odběrem podzemních vod.

Tab. 2.12 Průměrné roční srážkové úhrny pozorované na srážkoměrných stanicích v oblasti povodí Blšanky, jejich změna mezi periodami 1961–1990 a 1991–2011 a odhad směrnice lineárního trendu v celé časové řadě v mm/rok

Stanice	Pozorování	Nadm. v. [m n. m.]	Průměr [mm/rok]	1961–1990	1991–2011	Změna [%]	Grad. [mm/rok]
Kralovice	1961–2011	468	487	492	480	-2,5	-0,35
Verušičky	1961–2011	580	594	607	577	-4,9	-0,24
Žlutice	1965–2011	496	553	554	551	-0,6	0,18
Blšany	1978–2011	300	463	–	447	–	–
Hřívice	1961–2011	270	520	518	523	+0,9	0,53
Kryry	1964–1976, 1989–2011	305	472	–	477	–	–
Maštov	1964–2011	434	525	512	542	+5,8	1,53
Pastuchovice	1961–2011	450	541	522	567	+8,6	1,37
Valeč	1964–1979, 1989–2011	535	592	613	565	-7,8	–
Velká Černoc	1964–2011	329	515	491	546	+11,3	1,83
Vilémov	1961–1980, 1992–2011	315	459	432	486	+12,9	–
Žatec	1961–2011	201	459	446	477	+7,1	1,54
Kněževes	1996–2011	358	494	–	494	–	–
Kounov	1961–2011	422	517	537	489	-9,0	-1,02
Oráčov	1963–1993, 1995–2011	401	508	508	508	0	0



Obr. 2.10 Specifický odtok z povodí Blšanky (odhad průměru pro období 1991–2011)

Tab. 2.13 Porovnání statistických charakteristik průměrných denních průtoků na Blšance pro období 1969 až 1990 a 1991–2011

DBC	Stanice	Průměr [m ³ /s]		Medián [m ³ /s]		Cv	
		69–90	91–11	69–90	91–11	69–90	91–11
2170	Blšanka-Holedeč*, Stránky	0,90	0,64	0,61	0,44	1,41	1,29
*do 11/2001							

Tab. 2.14 Porovnání m-denních průtoků stanovených na základě denních průtoků pozorovaných v profilu Holedeč v období 1969–1990 a v profilu Stránky v období 1991–2011

Pravděpodobnost překročení/průtok [m ³ /s]	30	60	90	180	210	240	270	300	330	355	364
Holedeč 1969–1990	1,80	1,28	1,00	0,62	0,54	0,48	0,44	0,33	0,24	0,12	0,04
Stránky 1991–2011	1,39	0,94	0,73	0,45	0,37	0,32	0,27	0,21	0,15	0,08	0,03

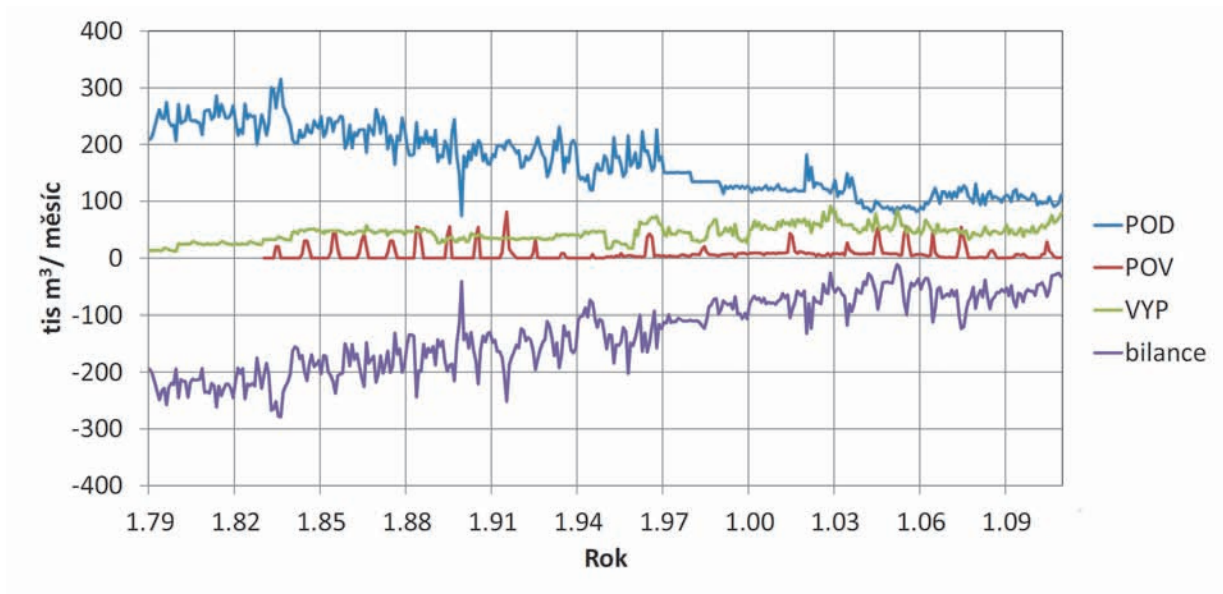
Užívání vody v povodí

Z povodí Blšanky bylo v letech 2001–2010 průměrně odebráno 1,4 mil. m³/rok, z čehož 92 % bylo odebráno z vod podzemních. Největším odběratelem podzemních vod v povodí Blšanky je společnost Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., která provozuje úpravnu vody v Holedeči. Průměrný odběr z jímacího území Holedeč se v letech 2001–2010 pohyboval okolo hodnoty 35 l/s. Společnost dále provádí drobnější odběry podzemních vod v obcích Valov (2,6 l/s) a Tuchorice (1,4 l/s). V letech 2002–2008 probíhalo jímání i v obcích Deštnice, Želeč, Líčkov, Siřem, Třeskonice a Nečemice (celkem řádově v jednotkách l/s).

Mezi nejvýznamnější odběratele povrchových vod patří sklárna v Kryrech (1,5 l/s) a zemědělské subjekty, které využívají povrchové vody pro závlahu během vegetačního období. Průměrné odebrané množství vody pro závlahu v letech 2001–2010 činilo 61,6 tis. m³/rok (což při uvažované délce období odběrů od dubna do srpna odpovídá přibližně 5 l/s odebíraných z povrchových toků v tomto období). Odběry vody pro závlahu se výrazně liší v jednotlivých letech. Zatímco v roce 2002 bylo evidováno 7 tis. m³, v letech 2004 a 2005 se odebrané množství pohybovalo kolem hodnoty 100 tis. m³/rok. V roce 2007 byly evidovány odběry pro závlahu v celkovém množství 124 tis. m³, zároveň se jedná i o rok, kdy došlo k úplnému vyschnutí Blšanky v jejím dolním úseku.

V rámci zpracování hydrologické studie potřeb vody v povodí Blšanky a Liboce (Kašpárek a Mrkvičková, 2008) byl učiněn pokus o vyhodnocení velikosti dalších odběrů, které nedosahují limitu 6 000 m³ za rok nebo 500 m³ za měsíc a které tedy nemusí být evidovány pro potřeby hodnocení vodní bilance podle § 22 vodního zákona. Na základě povolení získaných od vodoprávních úřadů bylo odhadnuto, že velikost podlimitních povolených odběrů se může pohybovat na úrovni 10–15 % všech povolených odběrů. Tento údaj však nemusí odpovídat velikosti odběrů skutečně realizovaných na základě příslušného povolení k nakládání. Je pravděpodobné, že skutečně provedený odběr bude nižší. Na druhou stranu je nutno počítat i s určitým podílem odběrů realizovaných bez povolení.

V povodí Blšanky bylo v letech 2001–2010 evidováno průměrné roční vypouštění v množství 0,66 mil. m³/rok. Nejvýznamnější vypouštění je realizováno čistírnou odpadních vod v Kryrech



Obr. 2.11 Celková bilance vypouštění a odběrů v povodí Blšanky během let 1979–2010, POD – odběry z podzemních vod, POV – odběry z povrchových vod, VYP – vypouštění

(6 l/s), v Jesenici (5 l/s), v Lubenci (2 l/s) a ve Vroutku (2 l/s). Dalším výrazným zdrojem vypouštění je úpravná voda v Holedeči (2,5 l/s).

Vývoj celkové bilance evidovaných odběrů a vypouštění od roku 1979 je zachycen na obrázku 2.11. Z grafu je zřetelný pokles množství odebraných podzemních vod. Průměrné odběry v období 2006–2011 jsou téměř o 60 % nižší než odběry evidované během let 1979–1983. V časové řadě odběrů z povrchových vod jsou patrná krátkodobá navýšení pro zemědělskou závlahu během vegetačního období. Přestože množství evidovaného vypouštění vzrostlo dvojnásobně oproti stavu v letech 1979–1983, celková bilance povodí je negativní, odběry převyšují vypouštění přibližně o 0,75 mil. m³/rok (24 l/s). Je možné se domnívat, že část vody odebrané v povodí se vrací kanalizačními systémy, které nejsou monitorovány z hlediska množství vypouštěných vod. Část odběrů je však převáděna mimo povodí v rámci vodohospodářské infrastruktury.

3 Posuzování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci

Následující kapitola je věnována popisu dílčích analýz, které mohou přispět k lepšímu porozumění pozorovaným změnám klimatických a hydrologických poměrů, jež vedou k získání představ o zranitelnosti zájmové oblasti vůči výhledovým změnám klimatu a umožňují identifikovat možné nepříznivé důsledky související s vývojem klimatu. Posuzování dopadů klimatické změny na zvolený systém (dílčí povodí, vodárenský systém atd.) je doporučeno provádět s využitím metod managementu rizika, které umožňují zajištění přehlednosti a srozumitelnosti výsledků prováděných analýz a logickou argumentaci pro navrhovaná opatření.

Posuzování dopadů klimatické změny zahrnuje dva kroky – analýzu rizika souvisejícího s klimatickou změnou a hodnocení rizika pomocí rizikové matice. Analýza rizika představuje aktivitu, která na základě systematického rozboru dostupných informací vede ke stanovení prioritních rizik pro sledovaný systém. Riziko je zde chápáno jako kombinace pravděpodobnosti výskytu nežádoucí události a závažnosti jejích následků (ČSN IEC 300-3-9, 1997). Cílem analýzy rizika je získat odpověď na otázku, jaká konkrétní nebezpečí hrozí v souvislosti s klimatickou změnou, jaká je jejich pravděpodobnost a možné následky. Analýzu rizika a následné hodnocení rizika je třeba provádět v rámci vhodně sestavené pracovní skupiny, která bude zahrnovat jak pracovníky zodpovědné za proces plánování a řízení, tak pracovníky zodpovědné za provoz, kteří mají dlouholeté praktické zkušenosti s fungováním hodnoceného systému v minulosti. Na začátku analýzy rizika by měl být definován rozsah platnosti analýzy a je třeba uvést předpoklady, které byly pro vypracování analýzy uplatněny.

Analýza rizika v první řadě zahrnuje identifikaci všech potenciálních nebezpečí pro sledovaný systém. Při této aktivitě je vhodné provést dekompozici systému na jednotlivé funkční celky a klíčové prvky a posuzovat každý funkční celek nebo klíčový prvek systému zvlášť. Identifikovaná nebezpečí jsou zapsána do přehledné databáze. Ke každému identifikovanému nebezpečí jsou dále uvedeny prvky systému, kterých se dané nebezpečí týká, možné nežádoucí stavy, které mohou nastat v souvislosti s působením daného nebezpečí, a uvede se odkaz na dokumentaci k provedeným analýzám, na základě kterých bylo nebezpečí identifikováno a dále hodnoceno. Pro identifikaci nebezpečí spojených s dopady klimatické změny na vodní zdroje je vhodné vycházet ze znalostí nepříznivých situací, které se vyskytly v minulosti v souvislosti s projevy extrémního počasí, ze znalostí výsledků hodnocení vodní bilance současného a výhledového stavu a z výsledků modelování dopadů klimatické změny pro výhledové období provedeného na zá-

kladě scénářů klimatické změny. Stručný souhrn nebezpečí souvisejících s obecnými dopady klimatické změny na vodní hospodářství uvádí box 3.1.

Kromě nebezpečí, která explicitně souvisí s očekávanými dopady klimatické změny (primární důsledky změny klimatu), je potřeba rovněž uvážit, do jaké míry mohou dopady klimatické změny ovlivnit charakter ostatních nebezpečí, která s klimatem primárně nesouvisí. Především nebezpečí technologická a společenská mohou být zesílena reakcí existujících ekosystémů nebo společnosti na primární dopady klimatické změny (např. nepříznivý vliv vyšší teploty vzduchu na rozvoj vodního květu ve vodárenských nádržích nebo na průběh biochemických reakcí v procesu čištění odpadních vod, vyšší nároky na odběry vody pro závlahu atd.). Při identifikaci možných nebezpečí je tedy vhodné zabývat se i otázkami, zda je systém citlivý na změnu požadavků na něj kladených, zda je stávající nastavení systému spolu s používanou technologií dostatečně spolehlivé a umožňuje přizpůsobit se měnícím se podmínkám nebo zda existují záložní zdroje, které by umožnily alternativní způsob zajištění služeb a produktů v případě poruchy systému.

Základní typy nebezpečí podle původce (Tuhovčák et al., 2010)

- Přírodní (primární dopady klimatické změny, sekundární dopady způsobené reakcí přírodních ekosystémů),
- Společenská (sekundární dopady klimatické změny způsobené reakcí společnosti na probíhající změny),
- Technická a technologická (sekundární dopady klimatické změny související s charakterem využívaných materiálů a technologií).

3.1 Přehled dat potřebných pro posouzení dopadů klimatické změny

Vypovídající hodnota výsledků analýzy rizika a hodnocení rizika je úměrná kvalitě, rozsahu a struktuře dat, která byla pro hodnocení použita. Data potřebná pro posouzení dopadů klimatické změny a pro návrh adaptačních opatření souvisí s jednotlivými analýzami, které jsou pro zájmové území zpracovávány a které jsou popsány dále. Základní přehled dat využitelných pro posouzení dopadů klimatické změny zahrnuje následující:

- Časové řady hydrologických a klimatických veličin pozorovaných v zájmovém území pro kontrolní období 1961–1990 pro kalibraci hydrologického modelu (v závislosti na požadavcích konkrétního hydrologického modelu se může jednat např. o teplotu vzduchu, srážky, vlhkost vzduchu, průtoky atd.) a rovněž pro porovnání s výsledky získanými na základě scénářů klimatické změny pro výhledová období.
- Časové řady hydrologických a klimatických veličin pozorovaných v zájmovém území zahrnující alespoň třicet posledních let pro analýzu trendů (teplota vzduchu, srážky, průtoky, úroveň hladiny podzemní vody, vybrané parametry jakosti vody a další podle konkrétních specifik zájmového území nebo systému, pro který je adaptační strategie zpracovávána).

- Výsledky hodnocení hydrologické a vodohospodářské bilance zpracovávané podle § 22 vodního zákona pro zájmové území pro identifikaci prvků zranitelných už v současnosti.
- Výsledky monitoringu realizovaného v rámci zjišťování množství a jakosti povrchových a podzemních vod včetně jejich ovlivňování lidskou činností a zjišťování stavu vodních útvarů a ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů podle § 21 vodního zákona.
- Data o užívání vody v povodí (odběry, vypouštění do a z povrchových a podzemních vod pro jednotlivé hospodářské sektory a pro domácnosti, manipulace na nádržích, převody vody, včetně lokalizace).
- Další požadavky na průtoky a stavy hladiny podzemní vody v zájmovém území (hodnoty minimálních zůstatkových průtoků, požadavky na ředění vypouštěných vod, minimální hladiny podzemní vody aj.).
- Klimatické scénáře např. ve formě korigovaných výstupů ze simulací klimatických modelů nebo vytvořené pomocí jiných metod (viz kap. 3.3) pro výhledová časová období pro veličiny potřebné pro hydrologické modelování (např. teplota vzduchu, srážky, vlhkost vzduchu aj.).
- Aktuální výsledky studií věnovaných problematice posuzování dopadů klimatické změny pro zájmové území a výsledky modelování funkce sledovaného systému v podmínkách klimatické změny, pokud existují.

3.2 Pozorované změny hydrologického režimu a identifikace jejich příčin

Jedním z primárních nebezpečí, které je možné identifikovat v souvislosti s dopady klimatické změny, je zvýšení četnosti výskytu sucha a zhoršení problémů spojených s nedostatkem vody. Základním podkladem pro vyhodnocení stávající a výhledové zranitelnosti jednotlivých prvků systému (např. jednotlivých vodních útvarů) vůči suchu a nedostatku vody jsou výsledky hodnocení vodní bilance sestavované podle § 22 vodního zákona. Pozornost je třeba věnovat zejména těm oblastem, které spadají do hydrogeologických rajonů, jež jsou využívány pro odběry vody pro lidskou spotřebu, a kde je již v současnosti napjatá vodohospodářská bilance. Zde může docházet se silícím vlivem klimatické změny k prohlubování problémů se střetem veřejného zájmu zásobování pitnou vodou a zájmu dosažení cíle ochrany vod stanoveného pro dotčený vodní útvar podle vodního zákona nebo jiného zájmu ochrany přírody. Dále je třeba věnovat pozornost vodním útvarům, které náleží do dílčích povodí nad kontrolními profily, kde je opakovaně identifikován bilanční stav BS3 a horším (průměrný měsíční průtok byl alespoň jedenkrát během roku nižší než hodnota Q_{35d} nebo menší než minimální zůstatkový průtok).

Pro identifikované zranitelné vodní útvary je vhodné přehodnotit stávající míru monitoringu a popř. navrhnout doplňkový průzkumný monitoring, který přispěje k objasnění příčin nepříznivého stavu (viz kapitolu 5.1.4). Pro odhalení příčin nepříznivého stavu je vhodné dále provést podrobnější

BOX 3.1 Identifikovaná nebezpečí související s dopady klimatické změny ve vodním hospodářství

Nebezpečí, která je možné identifikovat na základě pozorovaných změn a současných výsledků modelování dopadů klimatické změny na vodní režim krajiny a na vodní hospodářství, zahrnují pokračující nárůst průměrné teploty vzduchu přibližně o 1 °C za třicet let a s tím související nárůst evapotranspirace (Hanel et al., 2011). Celkový výpar z povodí je však limitován množstvím dostupné vláh. V okamžiku, kdy nebude k dispozici zásoba vody v půdě a v dalších podpovrchových vrstvách, dojde k útlumu evapotranspirace a s ním spojeného efektu ochlazování vzduchu. Takový vývoj může vést ke zvýšení nebezpečí výskytu vlny vedra, propagace sucha a zvýšení nebezpečí vzniku lesních požárů. Vyšší teplota vzduchu zvyšuje schopnost atmosféry pojmout a udržet větší množství vody, s čímž může souviset i výskyt závažnějších srážkových extrémů (Trenberth et al., 2003).

Vyšší ztráty vody z povodí způsobené rostoucí teplotou vzduchu jsou na většině území částečně kompenzovány mírným nárůstem celkového ročního srážkového úhrnu. Kyselý (2009) potvrdil rostoucí trendy v časových řadách srážkových extrémů spíše v horských a podhorských oblastech, zatímco v nížinách byly identifikovány trendy klesající nebo nebyla identifikována žádná změna v časové řadě. Kyselý (2009) dále zachytil rostoucí trend v řadách indikátorů extrémních srážek v zimě v západní polovině republiky. Poklesový trend byl naopak identifikován v jarních měsících, a to především v časové řadě průměrných srážkových úhrnů. Výsledky modelování dopadů klimatické změny na srážkové úhrny pro výhledová období dobře korespondují s pozorovanými trendy. Na většině území se předpokládá mírný nárůst srážkového úhrnu (do 10 % k výhledovému období 2070–2099), který se však bude projevat především v zimním období, zatímco v letním období je třeba počítat i s možným poklesem srážek (Hanel et al., 2011).

Vyšší teplota vzduchu indikuje změnu charakteru srážek v zimním období ze sněhu na déšť, a tedy i menší zásobu vody ve sněhové pokrývce, která bude k dispozici na začátku jara. Doba jarního tání se posune směrem do zimy. Takový vývoj klimatických veličin povede ke snížení dotace podzemních vod a k poklesu průtoků zejména v málovodných obdobích na přechodu léta a podzimu, což bude mít dopad na vydatnost dostupných vodních zdrojů.

Malé průtoky a snížení rychlosti proudění způsobí, že voda bude mít v řekách a jezerech delší dobu zdržení, bude se více prohřívat a bude tak posílen potenciál pro růst řas a snížení obsahu rozpuštěného kyslíku. Nižší minimální průtoky znamenají menší objem pro ředění, a tím i vyšší koncentrace znečištění po proudu od místa vypouštění přečištěných i nepřečištěných odpadních vod. Snížení ředicí kapacity toků

bude mít nepříznivý vliv především na koncentrace fosforu. Rostoucí výskyt srážkových extrémů povede k častějšímu přetoku odpadních vod přes odlehčovací objekty jednotných kanalizačních sítí, a tím i ke zvýšení zátěže recipientu znečištěním.

Extrémní srážkové události jsou přímo spojeny s procesy eroze půdy a transportem jemných sedimentů společně s rezidui hnojiv (především dusičnany) a dalšími nepříznivými látkami z povodněmi dotčené zemědělské činnosti (např. pesticidy), průmyslové výroby (toxické kovy) a komunální sféry (bakteriální znečištění).

Nárůst průměrné roční teploty vzduchu vede ke srovnatelnému nárůstu průměrné roční teploty vody (Novický a Tremil, 2009). Většina chemických reakcí a bakteriálních procesů (např. odbourávání a asimilace anorganického dusíku) má při vyšších teplotách rychlejší průběh, produkce biomasy se zvyšuje. Teplota vody řídí růst fytoplanktonu, makrofyty a také chování vodních organismů, jako je migrace ryb a načasování vzniku a početnosti populace hmyzu v různých fázích životního cyklu (Durance a Ormerod, 2007).

Přestože bude těžké pro následující období plánování v oblasti vod odlišit vliv dopadů klimatické změny od ostatních antropogenních vlivů, je možné identifikovat nebezpečí zhoršení výsledků hodnocení ekologického stavu u útvarů povrchových vod v souvislosti se zhoršenou jakostí vody v období malých průtoků. Možný pokles hladiny podzemní vody indikuje nebezpečí zhoršení výsledků hodnocení kvantitativního stavu u útvarů podzemních vod. Očekávané dopady klimatické změny mohou vést k celkovým nepříznivým změnám hydrologického režimu vodního toku, a tím i ke zhoršení výsledků hodnocení hydromorfologické složky ekologického stavu útvarů povrchových vod.

Teplota vody je významným ukazatelem všeobecných fyzikálně chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod. Dalším ukazatelem je množství rozpuštěného kyslíku, které přímo souvisí s teplotou vody. Zvýšení teploty vody může tedy vést ke zhoršení hodnocení ekologického stavu útvarů povrchových vod. Vyšší teplota vody rovněž indikuje nebezpečí urychlení procesu asimilace organické hmoty a ohrožení jakosti vody akumulované v nádržích.

Očekávané změny hydrologického cyklu a jakosti vody představují nebezpečí porušení funkce vodohospodářské infrastruktury, vedou ke zvýšeným nárokům na odběry vody především pro zemědělskou závlahu. Rostoucí požadavky na vodní zdroje mohou vést ke střetům zájmů mezi odběrateli i ke střetům se zájmem ochrany vodních ekosystémů a ekosystémů vázaných na vodní prostředí.

analýzu trendů v časových řadách klimatických a hydrologických veličin, analýzu užívání vody v povodí a popř. provést ověření identifikovaných příčin pomocí modelování chronologické hydrologické bilance.

Z výsledků hodnocení vodohospodářské bilance množství povrchových vod v kontrolních profilech na vodních tocích za období 1991–2009 byla sestavena mapa na obrázku 3.1. Mapa znázorňuje, v kolika letech během hodnoceného období došlo v kontrolním profilu ke stanovení bilančního stavu BS3 a horšího (alespoň pro jeden měsíc v roce). V povodí Orlice byl nejhůře hodnocen kontrolní profil na Dědině v Mitrově, kde byl zaznamenán napjatý nebo pasivní bilanční stav v osmi letech za hodnocené období. Napjatý nebo pasivní stav z hlediska vodohospodářské bilance byl zaznamenán sedmkrát na Bělé v profilu Častolovice, třikrát na Orlici v profilu Týniště nad Orlicí a dvakrát na Divoké Orlici v profilu Kostelec nad Orlicí. V povodí Chrudimky byl napjatý nebo pasivní bilanční stav zaznamenán třikrát na Novohradce v profilu Úhřetice a dvakrát na Chrudimce v profilu Nemošice. V profilu Holedeč (Stránky) v povodí Blšanky byl napjatý nebo pasivní bilanční stav zaznamenán šestkrát během hodnoceného období. Výsledky dokládají zranitelnost povodí Dědiny, povodí Bělé a povodí Blšanky vůči suchu a nedostatku vody.

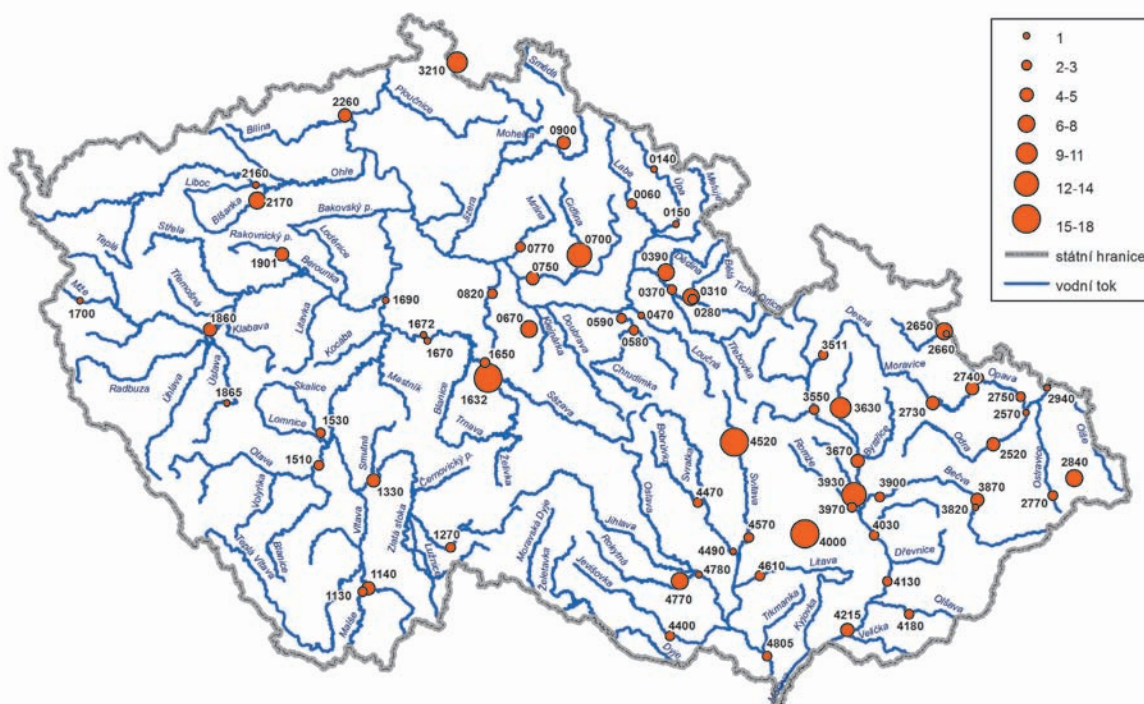
Podíl hodnoty maximálního odběru a minimální hodnoty zdrojů podzemních vod stanovovaný v rámci hodnocení vodohospodářské bilance množství podzemních vod za rok 2009 dosáhl hodnoty vyšší než 1 v rajonech pilotních povodí 4222 Podorlická křída (povodí Orlice) a 4550 Holedeč (Blšanka). Oba rajony jsou vodárensky využívány. Posouzení vydatnosti zdrojů podzemních vod odebíraných z hydrogeologického rajonu Holedeč bylo podrobněji řešeno pomocí hydraulického modelu proudění podzemních vod. Výsledky modelování jsou popsány v kapitole 5.1.1. Posouzením vydatnosti vodních zdrojů hydrogeologického rajonu Podorlická křída se zabýval Uhlík (2006).

3.2.1 Analýza trendů meteorologických a hydrologických veličin

Analýza trendů může přispět k identifikaci potenciálních problémů s nepříznivým hydrologickým režimem, a to i v těch případech, kdy v současnosti zatím k problémům se suchem a nedostatkem vody nedochází. Pro vývoj hydrologické bilance v povodí jsou rozhodující především pozorované trendy v časových řadách srážek, teploty vzduchu, průtoků, hladin podzemní vody a popř. vydatnosti pramenů. Kromě existence trendu v dostupné časové řadě testované veličiny je vhodné se zabývat rovněž otázkami možného vzniku trendu v časové řadě, změny v trendu v určitém roce atd. Výsledky extrapolace stávajících trendů jsou dále využitelné pro sestavování jednoduchých klimatických scénářů pro blízké výhledové období (viz kap. 4.2).

Výsledky analýzy trendů v pilotních povodích

Pro testování statistické významnosti trendů v pozorovaných řadách klimatických a hydrologických veličin ze stanic v pilotních povodích byl použit programový nástroj CTPA (Change and Trend Problem Analysis). Program byl vyvinut v ČHMÚ a slouží jako nástroj pro detekci náhlých nebo postupných změn (trendů) v analyzovaných řadách (Procházka et al., 2001). Základními testovanými charakteristikami jsou střední hodnota a rozptyl. Program zahrnuje širokou škálu nástrojů pro testování časových řad. Pro analýzu trendů v pilotních povodích byly uplatněny testy



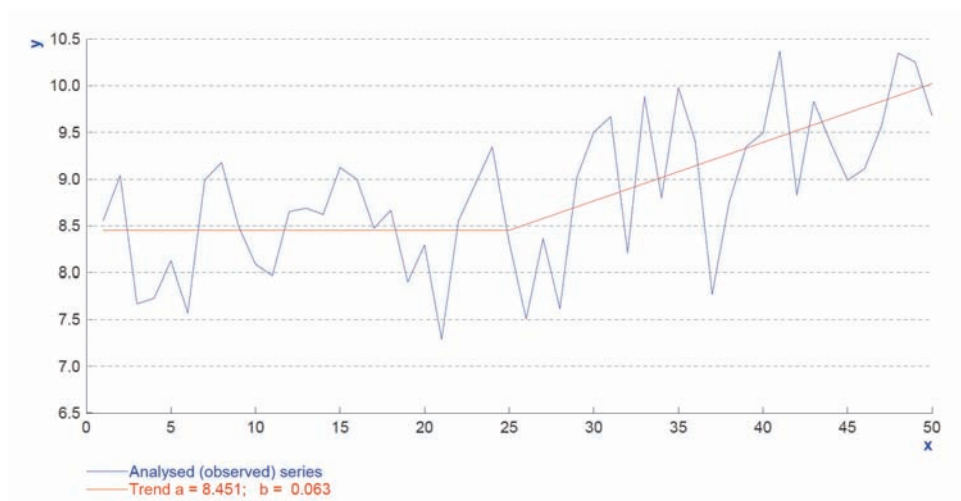
Obr. 3.1 Kontrolní profily vodohospodářské bilance povrchových vod a počet let, kdy byl bilanční stav v profilu hodnocen alespoň v jednom měsíci v roce stupněm BS3 a horší během období 1991–2009

přítomnosti trendu, test vzniku trendu, test změny směrnice trendu a test změny v trendu. Hladina významnosti byla u všech testů zvolena $\alpha = 0,05$.

- Test přítomnosti trendu – zjišťuje, zda je směrnice v modelu jednoduché lineární regrese rovna nule proti alternativě, že je směrnice různá od nuly. Vychází se tedy z hypotézy, že se střední hodnota řady v čase nemění oproti alternativě existence lineárního trendu.
- Test vzniku trendu – nulovou hypotézou je předpoklad řady s neměnnou střední hodnotou, který se testuje oproti alternativě vzniku trendu v bodě, jehož polohu test odhaduje. Přitom se v bodě vzniku trendu předpokládá spojitost trendových křivek.
- Test změny směrnice trendu – testuje se nulová hypotéza, že v řadě existuje konstantní trend, oproti alternativě změny směrnice trendu, tj. vzniku zlomu v trendové přímce v odhadnutém bodě za předpokladu spojitosti trendových přímk.
- Test změny trendu – testuje se nulová hypotéza existence konstantního trendu v řadě, oproti alternativě obecné změny parametrů trendové přímky v odhadnutém bodě.

Trendy v časových řadách průměrné roční teploty vzduchu

V časových řadách průměrné roční teploty vzduchu pozorované na klimatických stanicích v oblastech pilotních povodí lze zachytit rostoucí trend. V pilotním povodí Orlice byl trend vyhodnocen jako statisticky významný na zvolené hladině významnosti u pěti stanic ze sedmi (přehled stanic



Obr. 3.2 Výstup z testování vzniku trendu v programu CTPA pro průměrnou roční teplotu vzduchu ve stanici Hradec Králové (1960–2009), počátek rostoucího trendu testem odhadnut v roce 1984

je uveden v tabulce 2.1), přitom u zbylých dvou stanic bylo k dispozici pozorování až od 80. let. Směrnice lineárního trendu ve stanicích v povodí Orlice s pozorováním od roku 1961 se pohyboval v rozsahu od $+0,25$ °C za 10 let ve stanici Rokytnice v Orlických horách až po hodnotu $+0,59$ °C za 10 let ve stanici Deštné v Orlických horách. V časové řadě teploty vzduchu v Hradci Králové test vzniku trendu potvrdil alternativu vzniku rostoucího trendu po roce 1984 oproti nulové hypotéze konstantní střední hodnoty (viz obrázek 3.2). V povodí Chrudimky bylo testování provedeno pro data ze dvou klimatických stanic (Pardubice a Svatouch). U obou stanic byl růst teploty vzduchu potvrzen jako statisticky významný a směrnice dosahuje hodnoty $+0,34$ °C za 10 let ve stanici Pardubice a $+0,31$ °C za 10 let ve stanici Svatouch. Při testování vzniku trendu byl pro pozorování ve stanici Svatouch testem vyhodnocen začátek rostoucího trendu se směrnicí $+0,44$ °C za 10 let v roce 1979. Průměrná roční teplota vzduchu v povodí Blšanky byla testována pro řadu získanou interpolací z pěti klimatických stanic (Kralovice, Krásné Údolí, Karlovy Vary, Kadaň-Tušimice a Žatec). Test existence trendu v časové řadě rovněž potvrdil statisticky významný růst teploty vzduchu se směrnicí lineárního trendu $+0,30$ °C za 10 let.

Trendy v časových řadách ročního úhrnu srážek

Vzhledem k velké přirozené variabilitě ročních srážkových úhrnů se statistická významnost pozorovaných trendů v časových řadách pro většinu testovaných stanic neprokázala. Výsledky testování trendů v časových řadách srážek pozorovaných v povodí Chrudimky indikují spíše rostoucí trend ve stanicích s vyšší nadmořskou výškou a naopak spíše klesající trend ve stanicích s nižší nadmořskou výškou. Odhad změny ročního srážkového úhrnu za 10 let (oproti průměru z let 1961–1990) se pohybuje v rozsahu od $-1,4$ % ve stanici Pardubice do $+6$ % ve stanici Hamry. Odhad gradientu lineárního trendu pro ostatní stanice je uveden v tabulce 2.8. Podobné výsledky byly získány i pro povodí Orlice. Souvislost mezi pozorovaným lineárním trendem a nadmořskou výškou stanice však neplatí pro stanici Deštné v Orlických horách, kde byl pozorován pokles o 3 % za 10 let. Nejvýraznější rostoucí trend byl zaznamenán pro srážky pozorované v Rokytnici v Orlických horách s gradientem $+1,2$ % za 10 let. Časové řady srážek pozorovaných v oblasti povodí Blšanky žádnou souvislost mezi pozorovaným trendem a nadmořskou výškou stanice ne-

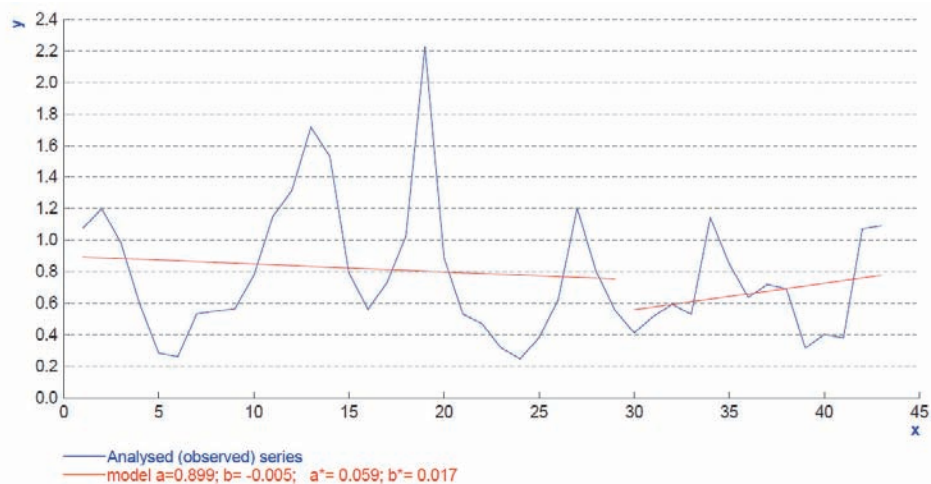
Tab. 3.1 Souhrn výsledků statistické analýzy ročních průměrných průtoků, ve sloupci výsledků testování existence trendu je uvedeno, zda byl výsledek vyhodnocen jako statisticky významný (označeno tučně) a hodnota gradientu trendu, ve sloupci výsledků testování obecné změny v trendu je uvedena hodnota gradientu trendu v první části řady, rok změny a hodnota gradientu v druhé části řady

Název stanice	Pozorování	Existence t.	Změna trendu
Klášteřec nad Orlicí-Divoká Orlice	1960–2009	0,015	0,023 (1996) -0,034
Nekoř-Divoká Orlice	1906–2009	-0,004	-0,024 (1944) 0,004
Slatina nad Zdobnicí-Zdobnice	1944–2009	-0,003	-0,004 (1998) -0,024
Kostelec nad Orlicí-Divoká Orlice	1941–2009	0,002	-0,086 (1965) -0,032
Kvasiny-Bělá	1940–2009	0,000	-0,002 (1993) -0,011
Rychnov nad Kněžnou-Kněžná	1960–2009	-0,002	-0,005 (1996) -0,016
Častolovice-Bělá	1940–2009	0,001	-0,003 (1993) -0,025
Malá Čermná-Tichá Orlice	1940–2009	0,008	-0,088 (1961) -0,039
Týniště nad Orlicí-Orlice	1910–2009	-0,013	0,019 (1987) 0,107
Chábory-Dědina	1969–2009	0,001	0,036 (1982) 0,008
Mitrov-Dědina	1960–2009	-0,003	0,015 (1977) -0,019
Hamry-Chrudimka	1913–2010	-0,002	-0,011 (1936) -0,005
Přemilov-Chrudimka	1927–2010	0,001	-0,001 (1982) 0,026
Svídnice-Chrudimka	1958–2010	0,002	-0,002 (2005) 0,043
Nemošice-Chrudimka	1931–2010	0,008	0,012 (1992) 0,076
Holedeč (Stránky)-Blšanka	1968–2010	-0,006	-0,005 (1997) 0,017

vykazují. Může to souviset se skutečností, že celá oblast leží ve srážkovém stínu Krušných hor, rovněž rozdíly nadmořských výšek stanic jsou relativně malé. Odhad gradientu lineárního trendu ve stanicích v povodí Blšanky je uveden v tabulce 2.12. Nejvyšší nárůst byl zaznamenán ve stanici Velká Černoc (+3,7 % za 10 let), nejvyšší pokles ve stanici Kounov (-1,8 % za 10 let).

Trendy v časových řadách průměrných ročních průtoků

Podobně jako v řadách ročních srážkových úhrnů, ani v časových řadách průměrných ročních průtoků se pro většinu stanic neprokázal statisticky významný trend. Výsledky testování existence trendu v časové řadě a výsledky testování obecné změny v trendu jsou shrnuty v tabulce 3.1. Výsledky testování vzniku trendu v časové řadě ani testování spojitě změny v trendu nebyly vyhodnoceny jako statisticky významné. Výsledky pro povodí Orlice indikují rostoucí trend ve stanicích v horních částech povodí, naopak k poklesu průtoků dochází spíše v dolní části povodí. Gradient lineárního trendu se pohybuje v rozsahu od -0,013 m³/s za rok v Týništi nad Orlicí do +0,015 m³/s za rok v Klášteřci nad Orlicí. Výsledky testu nespojitě změny trendu naznačují, že u šesti vodoměrných stanic z 11 testovaných dochází kolem osmdesátých a devadesátých let ke snížení průtoků se směrnici trendové přímkou od -0,011 do -0,039. U dalších dvou stanic došlo ke zmírnění původně rostoucího trendu. Pro stanice na Chrudimce bylo zjištěno, že průtok ve stanici Hamry v horní části povodí má statisticky významný klesající trend s gradientem -0,002 m³/s za rok, pro stanice položené níže na toku byl testem odhadnut mírně rostoucí trend. Z výsledků testování obecné nespojitě změny v trendu vyšlo pro povodí Chrudimky spíše zvýšení gradientu v druhé části časové řady. Testovaná řada průtoků v uzávěrovém profilu povodí Blšanky vykazuje klesající trend s gradientem -0,006 m³/s za rok. Test změny v trendu indikuje od roku 1997 mírný nárůst průtoků. Výstup z programu CTPA pro testování změny v trendu je zachycen na obrázku 3.3.



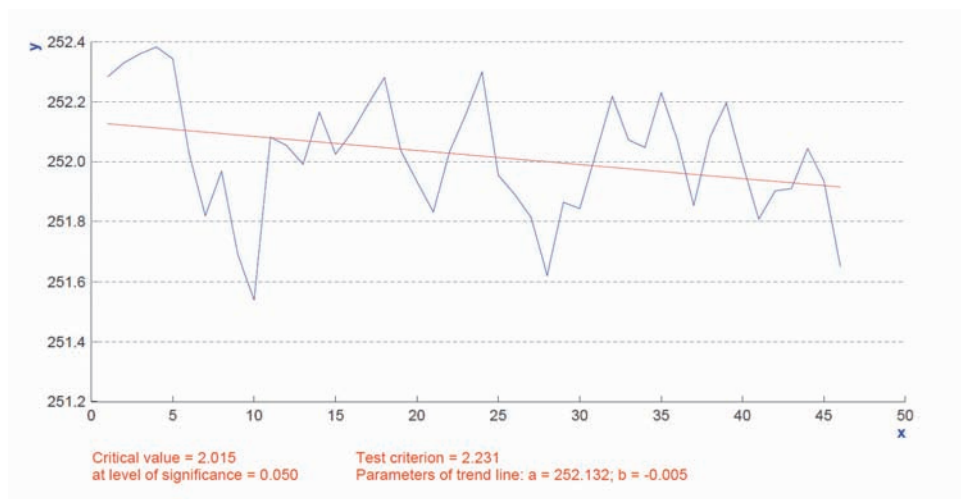
Obr. 3.3 Výsledek testování změny v trendu v časové řadě průměrných ročních průtoků v Blšance (1969 až 2010), rok změny v trendu 1997

Trendy v časových řadách průměrné roční úrovně hladiny podzemní vody

Vývoj úrovně hladiny podzemní vody byl podrobněji sledován v pilotním povodí Orlice. Pro testování trendů v časových řadách úrovně hladiny podzemní vody byly vybrány mělké vrty VP0131 (České Meziříčí), VP0132 (Opočno) a VP133 (Očelice, Městec) v povodí Dědiny v hydrogeologickém rajonu 4220 Podorlická křída a hluboký vrt VP7222 (Byzhradec) v povodí Bělé rovněž v rajonu 4220. Dále byla analyzována pozorování ve vrtech VP0125 (Borohrádek), VP0126 (Žďár nad Orlicí) a VP0127 (Poběžovice u Holic) v oblasti soutoku Tiché a Divoké Orlice v hydrogeologickém rajonu Labská křída. Výšky hladin podzemní vody klesají ve všech analyzovaných řadách. Kromě vrtů Žďár nad Orlicí s délkou řady 34 let a Byzhradec s délkou řady 18 let byl vyhodnocen statisticky významný klesající trend ve všech analyzovaných řadách. Pokles je od roku 1964 v průměru od 5 cm za deset let pro vrt VP0131 České Meziříčí (viz obrázek 3.4) až po pokles 11 cm za deset let pro vrty VP0125 Borohrádek a VP0127 Poběžovice u Holic.

3.2.2 Analýza užívání vody v povodí

Analýza užívání vody v povodí zahrnuje sestavení přehledu nakládání s vodami, která podléhají požadavkům na předávání údajů o realizovaném nakládání správcům povodí podle § 22 vodního zákona. Vzhledem k tomu, že data o užívání jsou evidována přibližně již od roku 1979, je možné sestavit časový průběh bilance užívání za vybrané uplynulé období pro dané povodí a rovněž jednotlivé prvky podrobit analýze trendů. Na základě porovnání vývoje disponibilních vodních zdrojů a požadavků na tyto zdroje kladených je možné identifikovat možné příčiny nepříznivého bilančního stavu, popř. i změněných hydrologických poměrů v řešené oblasti. V případě potřeby je možné rozšířit analýzu užívání i o přehled vydaných povolení o nakládání s vodami, která podmínku předávání údajů o realizovaném odběru nesplňují (menší než 500 m³ za měsíc nebo 6 000 m³ za rok). Údaje o povolených odběrech jsou zajímavé především v případě, kdy existuje reálná obava o jejich možném významném vlivu na hydrologické poměry. Informaci o vydaných povoleních o nakládání s vodami je možné získat od vodoprávních úřadů, které mají zájmovou



Obr. 3.4 Výsledek testování existence trendu v řadě průměrné roční hladiny podzemní vody ve vrtu České Meziříčí (11/1963–6/2010) – vyhodnocen jako statisticky významný

oblast ve své správě. Je třeba ale uvážit určitou nejistotu, která vyplývá z rozdílu mezi povolenou mírou nakládání a skutečně realizovaným nakládáním. Často povolená hodnota výrazně přesahuje skutečně realizované nakládání. Výsledky analýzy užívání vody v pilotních povodích byly popsány v kapitole 2.

3.2.3 Modelování hydrologické bilance

Dalším nástrojem pro identifikaci potenciálních nebezpečí souvisejících s dopady klimatické změny na hydrologický režim je modelování hydrologické bilance a rozbor pozorovaných změn v rozložení jednotlivých složek hydrologické bilance (evapotranspirace, základního odtoku, povrchového odtoku, složek zásob vody v povodí atd.). S využitím hydrologického modelu je možné posoudit, do jaké míry je možné změny v hydrologické bilanci pozorované v posledních letech vysvětlit pomocí změn v pozorovaných klimatických veličinách, případně do jaké míry je možné pozorované problémy připisovat realizovanému užívání (Kašpárek et al., 2011).

Hydrologický model je nejprve nakalibrován na základě vstupních dat pro období, jež lze považovat za neovlivněné klimatickou změnou (zpravidla uvažované do roku 1990) a na základě řady průtoků, která je očištěna od vlivu užívání vody v povodí. Pro toto vybrané výchozí období se provede modelování složek hydrologické bilance. Následně jsou použita vstupní data z posledních let a provede se modelování složek hydrologické bilance znovu při zachování původních parametrů modelu. Z porovnání modelovaných a pozorovaných odtoků pro současné období lze usoudit, zda změny meteorologických vstupů dostatečně vysvětlují pozorované změny odtoků, nebo zda je nutné hledat příčiny změn v jiných antropogenních aktivitách v ploše povodí (Kašpárek et al., 2011).

3.3 Očekávané změny ve složkách hydrologické bilance ve výhledovém období

Výsledky modelování dopadů klimatické změny na hydrologický režim s využitím scénářů klimatické změny představují klíčový zdroj informací pro identifikaci potenciálních nebezpečí souvisejících s klimatickou změnou a pro hodnocení jejich pravděpodobnosti. Sestavené scénáře klimatické změny jsou dále uplatňovány při posuzování očekávané účinnosti navržených adaptačních opatření.

3.3.1 Metody tvorby scénářů klimatické změny

Pro sestavení klimatických scénářů existuje řada přístupů, které se liší svou výpočetní náročností a škálou zahrnutých změny (změny v průměrech, změny ve variabilitě vybraných veličin). Při sestavování klimatických scénářů je možné vycházet např. z pozorovaných trendů, nebo využívat korigované výstupy ze simulací klimatických modelů. Metody tvorby scénářů podrobně popsali Hanel a Vizina (očekávaný rok publikace 2013). Při výběru metody tvorby klimatického scénáře je třeba zohlednit, pro jaký účel bude scénář využit a kdo je koncovým uživatelem scénáře, k jakému časovému horizontu se mají scénáře vztahovat, pro jaké proměnné je třeba scénář vypracovat, jaké časové a prostorové rozlišení je potřeba a zda jsou scénáře potřebné pouze pro hodnocení změn v průměrných hodnotách, nebo zda je potřeba popsat změny ve variabilitě vybraných veličin (Pumma a Gold, 2011).

Pro účely posuzování možných dopadů klimatické změny a pro navrhování adaptačních opatření zaměřených na zlepšení dlouhodobé hydrologické bilance v povodí poskytují uspokojivý podklad výstupy modelování hydrologické bilance získané na základě extrapolace pozorovaných trendů (pro krátká výhledová období), citlivostní analýzy, řízené citlivostní analýzy nebo scénářů změn klimatu založených na simulacích klimatických modelů v měsíčním kroku. Pro posouzení očekávaných změn ve variabilitě klimatických a hydrologických veličin s výhledem do budoucnosti a pro navrhování opatření zaměřených na zvládnutí extrémních hydrologických jevů je třeba nechat na odborném pracovišti vypracovat klimatické scénáře, které budou zohledňovat změny ve variabilitě klimatických a hydrologických veličin vyhodnocené zpravidla na základě korigovaných výstupů z aktuálních simulací klimatických modelů v denním kroku. Vybrané metody tvorby klimatických scénářů jsou popsány v boxu 3.2.

Na konci roku 2013 by měly být zpracovány tzv. referenční klimatické scénáře pro ČR, které jsou jedním z plánovaných výstupů projektu s názvem „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“. Referenční scénáře budou vypracovány ve spolupráci Českého hydrometeorologického ústavu a Výzkumného ústavu vodohospodářského a budou sumarizovat robustní poznatky o možných změnách klimatu na našem území a jejich nejistoty. Scénáře budou dostupné ke stažení z informačního portálu, který je připravovaným výstupem projektu.

BOX 3.2 Vybrané metody tvorby klimatických scénářů

Extrapolace pozorovaných trendů

Jedná se o nejjednodušší metodu tvorby scénářů. Metoda pracuje s předpokladem, že trend pozorovaný během uplynulého období dobře reprezentuje vývoj sledované veličiny i pro období výhledové. Pomocí extrapolace trendů je rozumné modelovat pouze blízké výhledové období. Parametry trendu v časové řadě pozorované veličiny je vhodné odvozovat pro různě zvolené počátky časové řady vybrané pro odvození parametrů trendu a pro různé délky této řady tak, aby bylo možné uvážit nejistotu spojenou se získanými výsledky (Kašpárek et al., 2011).

Citlivostní analýza

Metoda je založená na postupných změnách klíčových vstupních veličin pro modelování hydrologické bilance v rozsahu, který je dán expertním odhadem nebo který vychází ze zobecněných výsledků modelování vývoje klimatu. V případě citlivostní analýzy změny odtoku z povodí je zpravidla nezávisle měněna teplota vzduchu a srážky, kdy změna teploty vzduchu je uvažována svojí absolutní hodnotou a změna srážek je uvažována relativně. Metoda umožňuje popsat chování systému v různých klimatických podmínkách a umožňuje odhalit limitní hodnoty vstupních veličin, při kterých dochází k výrazným změnám v odezvě systému. Výhodou metody je, že je snadno realizovatelná bez nároku na náročné výpočetní postupy a bez výstupů z klimatických modelů a je snadno interpretovatelná. Nevýhodou je subjektivita volby rozsahu změny vstupních veličin, citlivostní analýza rovněž není schopna zachytit vzájemnou závislost změn mezi vstupními veličinami (Hanel a Vizina, očekávaný rok publikace 2013). Zvolenému scénáři nelze přiřadit časovou platnost a rovněž nejsou využity nejlepší dostupné informace.

Pro provádění citlivostní analýzy reakce povodí na zvýšení teploty vzduchu a změnu v množství srážek v souvislosti s klimatickou změnou v ČR je doporučeno uvažovat navýšení teploty vzduchu o 1 až 4 °C (v ročním průměru) v kombinaci se změnou ve srážkovém úhrnu -5 % až +15 % (změna celkového ročního úhrnu srážek).

Řízená citlivostní analýza

Řízená citlivostní analýza do jisté míry odstra-

ňuje nevýhody obecné citlivostní analýzy. Pro nastavení rozsahu očekávaných změn klíčových klimatických veličin jsou využívány výsledky modelování vývoje klimatu ze simulací klimatických modelů, které se vztahují ke konkrétnímu výhledovému období. Ze simulací klimatických modelů je možné odvodit i vzájemné závislosti mezi změnami jednotlivých veličin nebo změny v ročním cyklu. Rozsah očekávaných změn v teplotě vzduchu a ve srážkách pro řízenou citlivostní analýzu uvádí tabulka 3.2.

Přírůstková metoda

Výstupy ze simulací klimatických modelů zatím nelze přímo používat pro hydrologické modelování, neboť jsou zatíženy systematickými chybami. Vliv systematických chyb je možné eliminovat pomocí přírůstkové metody a metody korekce systematických chyb. Přírůstková metoda transformuje pozorovaná data tak, aby změny mezi kontrolním a výhledovým obdobím odpovídaly změnám odvozeným ze simulace modelu. Příprava klimatického scénáře zahrnuje stanovení tzv. přírůstkových faktorů, které jsou odvozeny z porovnání průměrné teploty vzduchu a průměrného srážkového úhrnu pro jednotlivé měsíce v roce, jež byly získány ze simulace klimatického modelu pro výhledové období, s odpovídajícími hodnotami odvozenými z dat pro kontrolní období (u teploty vzduchu se jedná o absolutní odchylky, u srážek o relativní změny) a tyto přírůstkové faktory jsou transponovány na data pozorovaná během kontrolního období. Takový jednoduchý přístup však neumožňuje zohlednit změnu ve variabilitě veličiny. Pro uvážení změny ve variabilitě je třeba uplatnit složitější transformace (viz Hanel a Vizina, 2010).

Metoda korekce systematických chyb

Při korekci systematických chyb dochází k transformaci výstupů ze simulace klimatického modelu pro kontrolní období tak, aby vybrané statistické charakteristiky těchto dat odpovídaly pozorováním pro zvolené kontrolní období. Stejná transformace je pak provedena na datech pro modelované období budoucí. Transformace umožňující uvážit změny ve variabilitě veličin, jež vycházejí z výsledků simulací klimatických modelů, pro metodu korekce systematických chyb popsali Hanel a Vizina (2010).

Tab. 3.2 Rozsah změn v teplotách vzduchu a atmosférických srážkách (85% a 15% kvantily) sestavený na základě souboru 12 regionálních klimatických modelů pro emisní scénář SRES A1B pro tři výhledová časová období (Pretel, 2010).

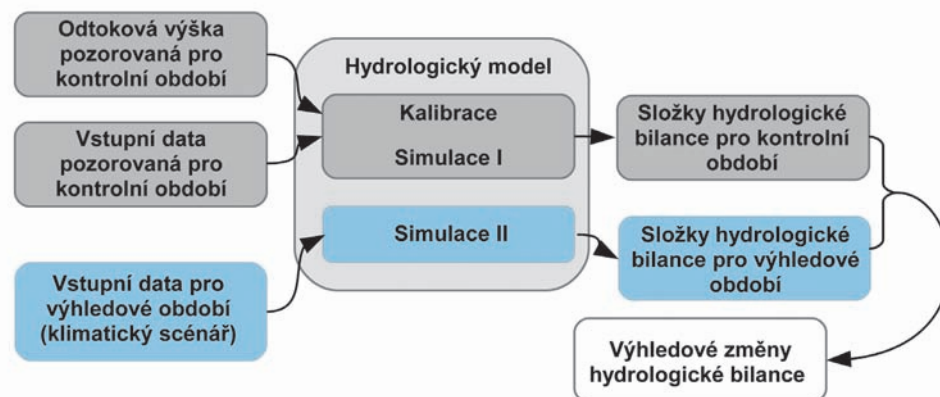
Změna prům. teploty vzduchu [°C]	2010–2039	2040–2069	2070–2099
jaro	+0,7 až 1,4	+1,3 až +2,6	+2,0 až +3,4
léto	+0,8 až +1,8	+1,7 až +3,2	+2,6 až +4,2
podzim	+1,0 až 1,5	+1,8 až +2,9	+2,6 až +4,5
zima	+0,5 až +2,1	+2,0 až +3,7	+3,2 až +4,8
rok	+0,7 až +1,7	+1,7 až +3,1	+2,6 až + 4,3
Rel. změna srážek [-]	2010–2039	2040–2069	2070–2099
jaro	0,9 až 1,12	1,01 až 1,12	1,03 až 1,22
léto	0,95 až 1,11	0,86 až 1,05	0,81 až 0,98
podzim	1,02 až 1,12	0,95 až 1,18	1,01 až 1,22
zima	1,05 až 1,12	1,08 až 1,18	1,07 až 1,24
rok	0,98 až 1,12	0,98 až 1,13	0,98 až 1,17

3.3.2 Modelování dopadů klimatické změny na hydrologický režim

Očekávané změny v hydrologickém režimu jsou vyhodnocovány způsobem, který je schematicky zachycen na obrázku 3.5. Nejprve jsou nalezeny parametry hydrologického modelu na základě dat pozorovaných pro kontrolní období, které je považováno za neovlivněné dopady klimatické změny. Doporučené kontrolní období je třicetiletá perioda 1961–1990. Jedná se o třicetileté období, které je zpravidla uvažováno při posuzování dopadů změny klimatu v řadě mezinárodních projektů. Je zřejmé, že především pro konec zvolené periody předpoklad neovlivnění klimatickou změnou není dokonale splněn. Nicméně volba stejného kontrolního období umožňuje porovnání výsledků nezávisle prováděných studií dopadů klimatické změny. Pro výslednou sadu parametrů modelu je realizována simulace s využitím pozorovaných dat pro kontrolní období (simulace I na obrázku 3.5). Hydrologický model použitý v analýze by měl mít fyzikální podstatu, aby bylo zaručeno, že bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky i pro nepozorovaná data (Hanel a Vizina, očekávaný rok publikace 2013). Přitom je využíván předpoklad, že proces tvorby odtoku ve vyhodnocovaném území se nezmění v souvislosti se změnou klimatu.

Následně je hydrologické modelování provedeno znovu pro scénářová vstupní data při zachování původních parametrů modelu (simulace II na obrázku 3.5). Očekávané změny v jednotlivých složkách hydrologické bilance jsou pak vyhodnocovány na základě porovnání výstupů modelovaných pro kontrolní období a výstupů modelovaných pro období výhledové. Ať už je zvolena jakákoliv metoda tvorby scénářů klimatické změny, vždy je třeba provádět vyhodnocení dopadů pro více variant možných scénářů, aby byla zachována informace o nejistotách spojených s volbou jednoho konkrétního scénáře. Rovněž modelování účinnosti adaptačních opatření musí být prováděno na základě jednotlivých scénářů (nikoliv na základě jejich průměru nebo pouze na základě jednoho zvoleného scénáře).

Pokud jsou využívány projekce klimatických modelů, je rozumné pracovat s celým dostupným souborem projekcí, popř. vybrat podskupinu modelů, které budou představovat reprezentativní vzorek (budou pokrývat rozsah výsledků odpovídající původnímu souboru klimatických projekcí), aby byla pokud možno zachována informace o nejistotách spojených s výsledky modelování. Vybraná sada klimatických scénářů by měla zahrnovat referenční klimatické scénáře pro ČR, které



Obr. 3.5 Schéma procesu modelování změn ve složkách hydrologické bilance pro výhledové období s využitím klimatického scénáře

budou k dispozici ke stažení na konci roku 2013 z webového portálu projektu „Podpora dlouhodobého plánování a návrhu adaptačních opatření v oblasti vodního hospodářství v kontextu změn klimatu“. Všechny počáteční předpoklady využité při posuzování dopadů klimatické změny by měly být popsány a měla by být vyhodnocena nejistota spojená s uplatněním konkrétního předpokladu.

Popsaný přístup umožňuje sestavit časovou řadu jednotlivých složek hydrologické bilance pro vybraný klimatický scénář a výhledové období pro povodí, které je uzavřeno vodoměrným profilem. Pro navrhování konkrétních adaptačních opatření jsou však zpravidla požadována data pro dílčí povodí, která nejsou kontinuálně monitorována. Z toho důvodu je potřeba provést krátkodobá pozorování průtoků a případně dalších klimatických a hydrologických veličin, aby bylo možné pro tato dílčí povodí sestavit vztah k vhodně zvolenému profilu s existujícím dlouhodobým pozorováním a odvodit průtokové řady metodou hydrologické analogie (Kašpárek et al., 2011).

Příprava dat pro posuzování dopadů klimatické změny v povodí Chrudimky

Generování syntetické řady průtoků

Pro pilotní povodí Chrudimky proběhlo v rámci řešení projektu testování metody tvorby syntetické řady průtoků modelovaných jednak pro klimatické podmínky odpovídající kontrolní periodě a dále pro klimatické podmínky odpovídající projekcím klimatických modelů s uvážením klimatické změny. Průtokové řady o délce 999 hydrologických let byly modelovány pro vstupní řady srážek a teploty vzduchu generované metodou resamplingu podle nejbližšího souseda (Buishand a Brandsma, 2001). Generovaná řada by měla lépe vystihovat možnou variabilitu klimatických a hydrologických podmínek, než je možné postihnout během relativně krátké doby pozorování nebo během náhodně zvoleného období v minulosti. Při práci s generátory počasí je však nezbytné posuzovat shodu mezi vytvářenou řadou a řadou pozorovanou, protože nelze očekávat, že bude dosažena absolutní shoda charakteristických vlastností původní a generované řady.

Pro potřeby simulačního modelování funkce soustavy nádrží v horní části toku Chrudimky bylo zapotřebí vytvořit dlouhé řady průtoků, které byly následně využity jako přítoky do nádrží Hamry,

Seč a Křižanovice. Pro přípravu přítoků do jednotlivých nádrží byla využita pozorování průtoků ve vodoměrných stanicích 0480 Hamry, 0490 Přemilov a 0510 Mezišvítí. Data byla připravována tak, aby umožnila postupné načítání přítoků z mezipovodí, aby mohl být při modelování zohledněn vliv nádrží na toku nad sebou. Postup přípravy vstupních dat zahrnoval doplnění denních řad srážek a teploty vzduchu pozorovaných ve staniční síti pro kontrolní období a jejich interpolaci pro jednotlivá mezipovodí vodoměrných stanic. Vzhledem ke skutečnosti, že pro sledovanou oblast byla data o srážkách ve větším rozsahu k dispozici až od roku 1963, bylo jako kontrolní období zvoleno období 1963–1992. Následně byla klimatická data resamplována a agregována do měsíční řady o délce 1 000 kalendářních let.

Neparametrický resampling pomocí metody nejbližšího souseda umožňuje generování libovolně dlouhých časových řad zvolených veličin simultánně pro více veličin a více stanic. Podstatou metody je permutace pozorovaných dat způsobem, jenž zachovává autokorelaci a vztahy mezi jednotlivými veličinami a stanicemi. Za nejbližší sousedy jsou zde považovány takové dny pozorované v minulosti, pro které platí, že pozorované veličiny popisující stavový prostor (počasí) v těchto dnech jsou nejvíce podobné pozorovaným veličinám v posledním dni simulované řady. Stavový prostor je pro každý den popsán tzv. příznakovým vektorem D_t , který obsahuje zvolené statistiky popisující stav počasí na vybraném území. Při práci s daty z více stanic je možné místo jednotlivých hodnot z každé stanice zařadit do příznakového vektoru vybranou souhrnnou statistiku (např. průměr ze všech stanic pro daný den, nebo průměr pro několik uplynulých dní, nebo hodnoty hlavních principiálních komponent atd.). Dimenze příznakového vektoru je dále označována jako q .

Veličiny vybrané k resamplingu (v tomto případě srážky a teploty vzduchu) jsou nejprve standardizovány tak, aby měly srovnatelné průměry a rozptyly. Odhady průměrů a směrodatných odchylek pro standardizaci pro daný den t v roce jsou vyhlazeny Gaussovským filtrem pro snížení vlivu extrémních denních hodnot. Podobnost počasí v jednotlivých dnech během vybraného období je popsána váženou eukleidovskou vzdáleností δ_{tu} (viz vztah 3.1) mezi body ve stavovém prostoru, jejichž poloha je definována příznakovým vektorem D_t .

$$\delta_{tu} = [\sum_{j=1}^q w_j (v_{tj} - v_{uj})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

kde v_{tj} a v_{uj} jsou j -té komponenty příznakových vektorů D_t a D_u a w_j jsou váhy, v této studii uvažované jako převrácená hodnota směrodatné odchylky j -té komponenty příznakových vektorů.

Pro generování veličin popisujících stavový prostor ve dni t je nejprve vybráno k nejbližších sousedů ke dni předcházejícímu (tj. dnu $t - 1$) a jeden z těchto dní je náhodně vybrán. Za generované hodnoty stavových veličin pro den t jsou pak zvoleny hodnoty těchto veličin pro den následující po náhodně zvoleném dnu.

Použitím tohoto algoritmu nejsou v původním časovém rozlišení generovány nepozorované hodnoty, nicméně generováním nepozorovaných sekvencí dochází k výskytu nepozorovaných hodnot při agregaci do delších časových kroků (například permutací pozorovaných denních srážkových úhrnů vznikají měsíční srážkové úhrny ležící mimo pozorovaný rozsah těchto úhrnů). Podrobněji popsali postup generování měsíčních řad srážek a teploty vzduchu v povodí Chrudimky Kožín et al. (2011).

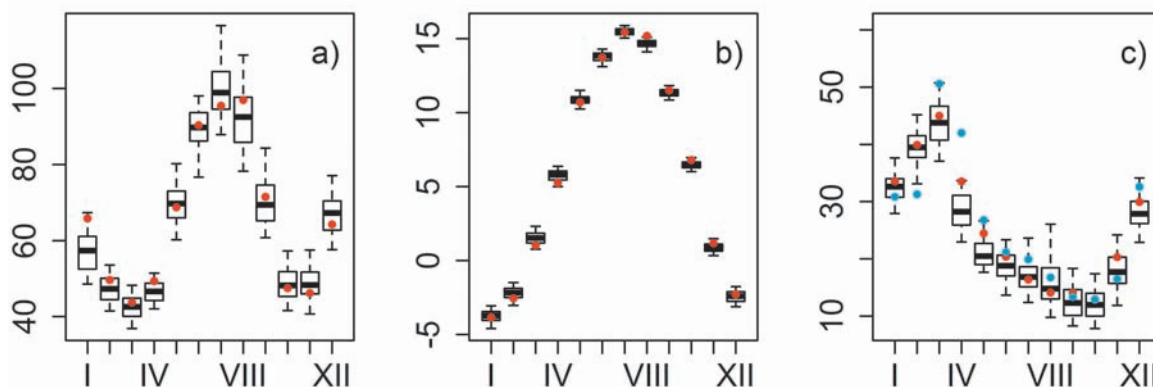
Tab. 3.3 Porovnání průměrného dlouhodobého ročního průtoku pozorovaného, modelovaného a stanoveného z modelovaných resamplovaných dat ve vodoměrných stanicích 0480 Hamry, 0490 Přemilov a 510 Mezisvětí

Průtoková řada	Délka pozorování období	Hamry		Přemilov		Mezisvětí	
		11/1913–12/2010		11/1926–12/2010		11/1957–10/1987	
		[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[%]	[m ³ /s]	[%]
Q _a pozorované	celá řada	0,68	+8	2,19	+6	2,60	–
Q _a pozorované	11/1963–10/1992	0,63	–	2,07	–	2,60	–
Q _a modelované	11/1963–12/1992	0,64	+2	2,07	0	2,45	-6
Q _a resamplované	z období 1963–1992	0,56	-11	1,92	-7	2,28	-12

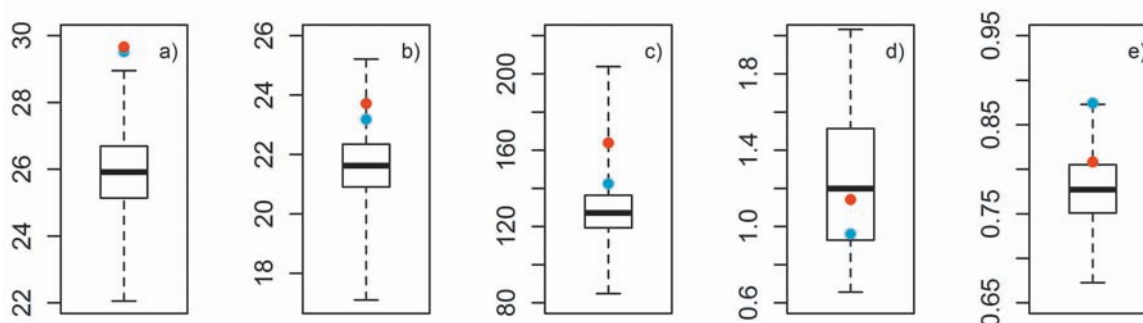
S využitím pozorované řady průtoků a pozorovaných srážek a teploty vzduchu proběhla kalibrace hydrologického modelu BILAN (Tallaksen a van Lanen, 2004) a byly modelovány odtoky z jednotlivých mezipodí pro kontrolní období 1963–1992 pro pozorované řady srážek a teploty vzduchu a rovněž pro dlouhé resamplované vstupní řady. Z generované řady srážek, teploty vzduchu a rovněž z modelovaných odtokových výšek pro generované vstupní veličiny bylo náhodně vybráno 500 úseků o délce shodné s délkou kontrolního období (29 hydrologických let). Obrázek 3.6 porovnává průměrné měsíční srážkové úhrny, teplotu vzduchu a odtokové výšky mezi pozorovanými (u odtoku rovněž mezi modelovanými) a generovanými řadami. Pro většinu měsíců leží pozorovaný (u odtoku modelovaný) průměr v rozpětí mezi 25% a 75% kvantilem výsledků získaných pro náhodně vybrané úseky generované řady. Sezonní cyklus je dobře reprodukován. Nicméně v případě jarní teploty dochází v generované řadě k mírnému nadhodnocení. V důsledku podhodnocení jarních srážek je výraznější i podhodnocení jarní průtoky. V případě jarních průtoků dochází ke kumulaci odchylky hydrologického modelu a metody resamplingu.

Přestože srážky i teploty vykazují dobrou shodu rozdělení, v odtokových výškách dochází k mírnému podhodnocení v oblasti odtokových výšek nad 40 mm/měsíc. Vzhledem ke skutečnosti, že k mírnému podhodnocení vyšších odtokových výšek dochází již ve fázi hydrologického modelování, výsledná odchylka ve tvaru rozdělení od skutečně pozorovaných odtokových výšek může být již významná. Podhodnocení průměrné hodnoty a rovněž maximální hodnoty je patrné ze srovnání dlouhodobých charakteristik na obrázcích 3.7 a 3.8. Podhodnocení průtoků s nižší pravděpodobností překročení vede k podhodnocení dlouhodobého ročního průtoku přibližně o 10 % (viz tabulku 3.3).

Pokud má nádrž jednoleté řízení a její zásobní objem se rychle doplní i při přítocích s vyšší hodnotou pravděpodobnosti překročení, není odchylka rozdělení mezi generovanými a skutečně pozorovanými řadami zásadní vzhledem ke sledovanému cíli – posouzení zásobní funkce. Pokud se však jedná o nádrž s víceletým řízením, projeví se nedostatek extrémních průtoků negativně na vývoji zásobního objemu nádrže. Pro další aplikaci algoritmu v rámci vodohospodářského řešení bude nezbytné resamplovací algoritmus dále upravit tak, aby zohledňoval i roční bilanci srážek. Vzhledem k významnému vlivu vysokých průtoků na odhad zásobní funkce nádrží je vhodné upravit i hydrologický model tak, aby bylo dosaženo lepší shody modelovaného a pozorovaného průtoku a aby nedocházelo ke kumulaci odchylek. Pro posouzení dopadů klimatické změny, které je provedeno níže, je však podstatná především změna mezi výsledky získanými z generované řady pro referenční období a výsledky získanými z generovaných řad pro výhledová období.



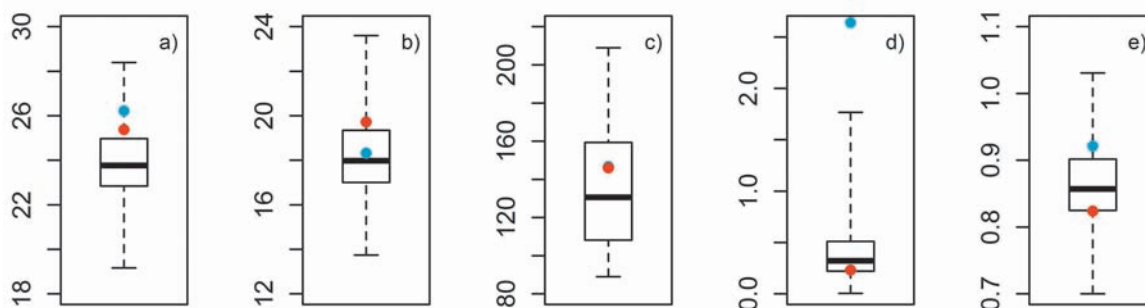
Obr. 3.6 Porovnání průměrných měsíčních a) srážek [mm], b) teploty vzduchu [°C] a c) odtokových výšek [mm] stanovených ze vzorků resamplované řady (boxploty) s měsíčními srážkami, teplotami a odtokovými výškami v období 1963–1992 pro dílčí povodí 0490 Přemilov (teploty a srážky pozorované vyznačeny červenými body, odtoky – modře pozorované, červeně modelované)



Obr. 3.7 Porovnání dlouhodobých charakteristik odtokové výšky mezi pozorovanými odtokovými výškami (modré body), modelovanými odtokovými výškami (červené body) a výsledky získanými na základě náhodných úseků resamplované řady (boxploty) a) průměr [mm/měsíc], b) medián [mm/měsíc], c) maximum [mm/měsíc], d) minim odtoků [mm/měsíc] a e) koeficient variace pro povodí k vodoměrné stanici 0480 Hamry; boxploty vyjadřují celkové rozpětí hodnot, tedy minimum až maximum

Příprava syntetických časových řad průtoků s uvážením projekcí klimatických modelů

Syntetické řady vstupních veličin (srážek a teploty vzduchu) byly dále transformovány přírůstkovou metodou s využitím parametrů odvozených z projekcí klimatických modelů na scénářové řady odpovídající podmínkám změněného klimatu ve výhledových obdobích. Transformační funkce je uplatněna na pozorované vstupní řady klimatických veličin tak, aby změny mezi transformovanou a původní řadou odpovídaly změnám odvozeným z regionálních klimatických modelů. Pro sestavení scénářových řad byla uplatněna transformace zohledňující změnu v průměru sledované veličiny a rovněž změnu ve variabilitě (v případě teploty jsou parametry transformační rovnice odvozeny z rozdílu průměrů a podílu směrodatných odchylek mezi výstupem z regionálního klimatického modelu (RCM modelu) pro kontrolní a pro výhledové období, u srážek jsou parametry odvozeny ze změny koeficientu variace a z podílu srážkových úhrnů (Hanel a Vizina, 2010).



Obr. 3.8 Porovnání dlouhodobých charakteristik odtokové výšky mezi pozorovanými odtokovými výškami (modré body), modelovanými odtokovými výškami (červené body) a výsledky získanými na základě náhodných úseků resamplované řady (boxploty) a) průměr [mm/měsíc], b) medián [mm/měsíc], c) maximum [mm/měsíc] d) minimum odtoků [mm/měsíc] a e) koeficient variace pro dílčí povodí 0490 Přemilov; boxploty vyjadřují celkové rozpětí hodnot, tedy minimum až maximum

Pro vytvoření scénářových řad byly využity projekce regionálních modelů, které vychází z projektu ENSEMBLES (Hewitt a Griggs, 2004) a byly pro ČR zpracovány v rámci řešení projektu „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“ (Pretel, 2010). Z dostupného ensamble více než dvaceti simulací bylo pro další modelování vybráno pouze osm. Výběr byl uskutečněn tak, aby byl postihnout pokud možno celý rozptyl hodnot modelovaného odtoku původního ensamble zahrnujícího všechny dostupné simulace. Informace o původu zvolených scénářů jsou uvedeny v tabulce 3.4. Regionální klimatické modely byly řízeny globálními modely HadCM3, ECHAM5 a ARPEGE.

Simulace všech vybraných modelů jsou postaveny na emisním scénáři SRES A1B, který patří do rodiny scénářů A1. Tato skupina scénářů vychází z předpokladu rychlého ekonomického růstu. Populace lidí dosáhne maxima v polovině století a poté začne globální počet obyvatel klesat. Budou rychle zaváděny nové účinnější technologie, rozdíly v příjmech mezi regiony se sníží. Scénář A1B (ballanced) vychází z předpokladu vyváženého využívání fosilních a nefosilních zdrojů energie (Nakicenovic a Swart, 2000). Výstupy modelů popisují stav pro tři třicetiletá výhledová období 2010–2039, 2040–2069, 2070–2099. Změny odvozené z výsledků simulací klimatických modelů byly vyhodnocovány vzhledem ke kontrolnímu období 1963–1992. Třicetiletá období jsou dále rozlišována podle referenčního roku, který odpovídá středu daného období – roky 1976, 2025, 2055 a 2085.

Parametry modelu BILAN byly zachovány z kalibrace provedené při modelování odtoku z povodí pro kontrolní období a proběhl výpočet složek hydrologické bilance pro scénářová vstupní data. Z porovnání jednotlivých složek hydrologické bilance modelované pro kontrolní období a pro výhledová období lze usuzovat o možných dopadech klimatické změny na hydrologické poměry. Výstupy hydrologické bilance pro výhledová období jsou pak dále používány pro posuzování dopadů klimatické změny na konkrétní vodní zdroj a pro simulaci očekávané účinnosti navržených adaptačních opatření (viz kapitolu 5.2.2).

Tab. 3.4 Vybrané scénáře klimatické změny

Akronym	RCM model	GCM model	Provozovatel
ALA_ORIG	ALADIN-CLIMATE/CZ	ARPEGE	Český hydrometeorologický ústav
CNRM_ARP5	CNRM-RM4.5	ARPEGE 5.1	National Centre of Meteorological Research, France
HIR_ARP	HIRHAM5	ARPEGE 5.1	Danish Meteorological Institute (DMI)
HadRM_Q0	HadRM3.0	HadCM3Q0	Met Office Hadley Centre, UK
RACMO_EH5	RACMO2.1	ECHAM5	Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
RCA_EH5	RCA3.0	ECHAM5	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
RCA_Q3	RCA3.0	HadCM3Q3	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
RegCM_EH5	RegCM3	ECHAM5	Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Italy

Z výsledků modelování dopadů klimatické změny na hydrologické poměry v povodí Chrudimky s využitím aktuálních výstupů z regionálních klimatických modelů vyplývá, že teplota vzduchu se bude zvyšovat přibližně o jeden stupeň za třicet let (průměrná hodnota z použitých scénářů). Výsledek velmi dobře koresponduje s pozorovaným nárůstem teploty vzduchu mezi obdobími 1961–1990 a 1990–2010, který odpovídal 0,86 °C za 25 let (viz kapitolu 2.2). Výsledky klimatických modelů s jistou mírou nejistoty rovněž zachycují rozdíly v nárůstu teploty během roku ve shodě s pozorovanými změnami, kdy teploty vzduchu narůstají výrazně rychleji v měsících leden, květen, červenec a srpen. Zvyšování průměrných teplot v zimních měsících vede ke snížení zásoby vody ve sněhu, k posunu tání sněhové pokrývky z března do února a ke zvýšení územního výparu. Zvyšování územního výparu, které není kompenzováno nárůstem srážek, vede ke změnám ve složení celkového odtoku z povodí. Relativně výrazně klesá složka základního odtoku. Pro výhledové období 2010–2039 činí střední odhad poklesu základního odtoku 10 % oproti kontrolnímu období, pro výhledové období 2070–2099 až 18 % (průměr pro 8 scénářů). Podzemní vody jsou doplněny již během měsíce února, ale jsou vyčerpány dříve a nestačí dotovat průtoky na konci letního období, kdy je zároveň klimatickými modely projektováno snížení srážek. Odhad vývoje srážek pro povodí Chrudimky je rovněž relativně ve shodě s doposud pozorovanými změnami, kdy pro většinu stanic dochází k nárůstu srážkového úhrnu v jednotkách procent.

Celkově je modely projektován pokles mediánu ročních průtoků pro povodí vodoměrné stanice Přemilov přibližně o 4 % k časovému období 2010–2039 a až o 14 % pro periodu 2070–2099 (průměr pro 8 modelů). Současný trend v pozorované řadě je mírně rostoucí. Pozorované změny průtoků během roku na vodoměrné stanici Přemilov představují nárůst až o téměř 15 % za deset let v měsíci březnu vystřídáný poklesem přibližně o 12 % v měsících květnu a červnu. V letních měsících je pozorován mírný nárůst průtoků (viz kapitolu 2.2). Podle výsledků modelování hydrologické bilance pro výhledová období se změna na přechodu mezi zimou a jarem posune více do zimy. Nejvyšší nárůst odtokové výšky je odhadován pro měsíc únor, zatímco v měsíci březnu by již mělo docházet k poklesu odtokové výšky oproti výsledku modelování pro kontrolní periodu 1963–1992. Výrazný pokles průtoků, který je v současnosti pozorován pro měsíce květen a červen, se pro výhledová období přesouvá více na konec léta a na podzim.

Změny v mediánu odtokové výšky modelované s využitím projekcí klimatických modelů byly porovnány s výsledky dosaženými při uvážení pouze vlivu oteplení. K výhledovému období 2010 až 2039 bylo uvažováno se zvýšením teploty vzduchu o 1 °C, k výhledovému období 2040–2069 o 2 °C a k výhledovému období 2070–2099 o 3 °C. Výsledek získaný pro povodí k vodoměrné stanici 0490 Přemilov znázorňuje graf na obrázku 3.9. Pro období s referenčními roky 2025 a 2055 jsou dosažené výsledky velmi dobře srovnatelné, pouze pro nejvíc vzdálené časové období s re-

ferenčním rokem 2085 se začíná projevovat navýšení srážek v první polovině roku projektované klimatickými modely, a tedy při uvážení pouze vlivu oteplení získáváme především v měsících listopadu až červnu vyšší pokles odtokové výšky (přibližně o 10 %).

3.3.3 Modelování dopadů klimatické změny na vodní zdroje s uvážením požadavků na užívání vody

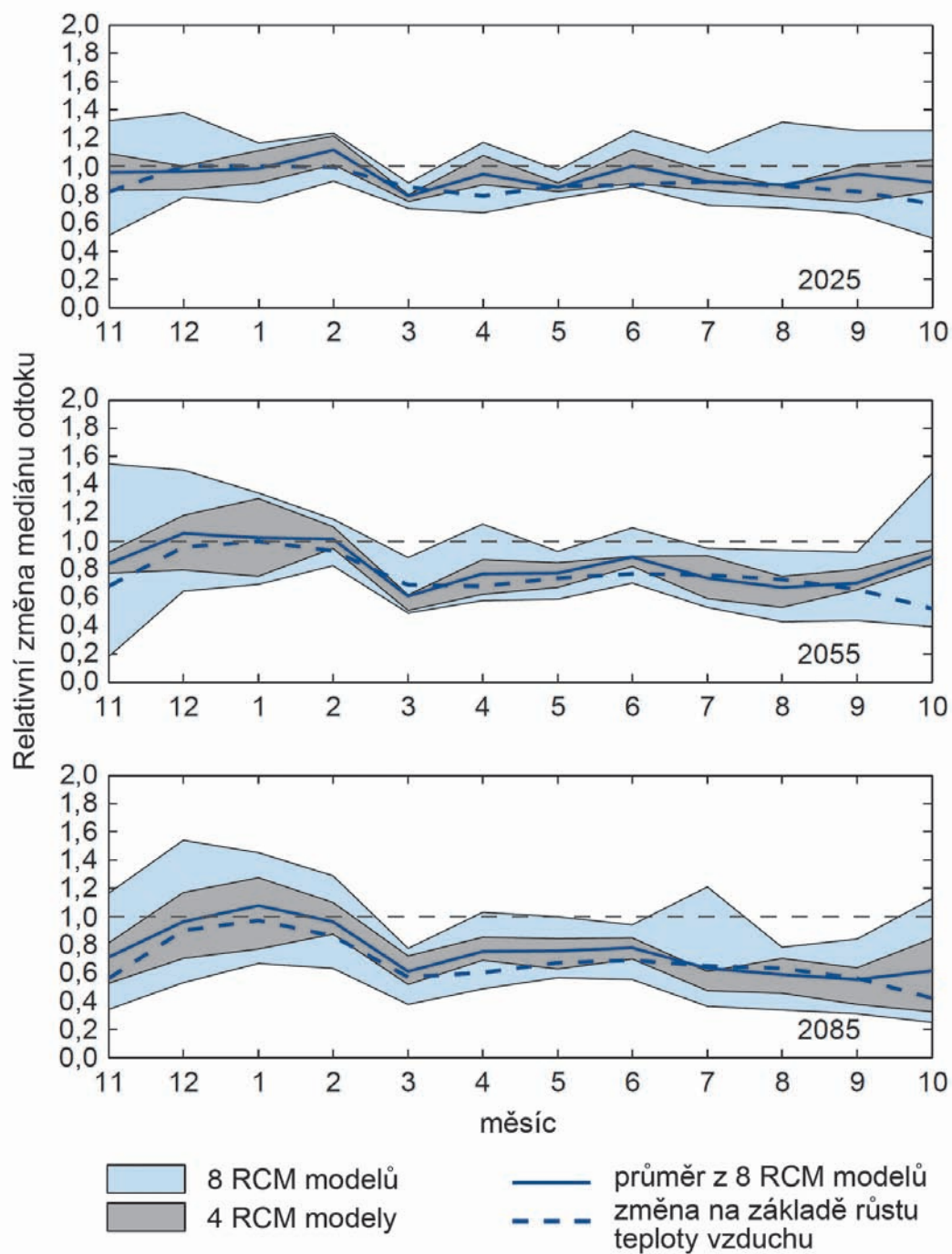
Na základě znalosti výhledových hydrologických poměrů je možné provést posouzení dopadů klimatické změny na dostupné vodní zdroje s využitím dat o současné míře užívání vody v povodí a rovněž s využitím požadavků, které budou pravděpodobně odpovídat výhledovému stavu, pokud jsou k dispozici podklady pro jejich odhad. Představu o výhledových požadavcích na užívání vody je možné získat na základě analýzy koncepčních a plánovacích dokumentů vydaných pro hospodářské sektory ekonomicky významné pro řešenou oblast, z výsledků vodohospodářské bilance výhledového stavu nebo např. na základě dotazníkového šetření plánovaných změn u stávajících uživatelů vody.

Pro řešený vodní zdroj (např. hydrogeologickou strukturu, nádrž nebo vodohospodářskou soustavu) je třeba sestavit simulační model, který bude představovat zjednodušený matematický popis řešeného vodního zdroje, a tento model nakalibrovat na podmínky pozorované během kontrolního období. Pro simulaci funkce vodního zdroje za výhledových klimatických podmínek jsou pak vstupní klimatická data, hydrologická data a data o užívání nahrazena sadou odpovídající výhledovému stavu. Statistické charakteristiky modelovaných průtokových řad nebo odhadu vydatnosti zdroje podzemních vod jsou pak porovnány s požadavky na zabezpečení stávajících a výhledových odběrů a dalšího užívání vody, s požadavky na minimální zůstatkové průtoky atd. Výsledky simulačního modelování mohou přispět k identifikaci konkrétních nebezpečí, která souvisejí s dopady klimatické změny pro daný vodní zdroj, a o jejich možné pravděpodobnosti výskytu. Příklady studií zabývajících se simulačním modelováním funkce vodohospodářských soustav za klimatické změny uvádí box 3.3. Vyhodnocení dopadů klimatické změny na vydatnost zdroje podzemních vod bylo realizováno v pilotním povodí Blšanky a jeho výsledky jsou popsány v kapitole 5.1.1.

Vyhodnocení očekávaných změn nalepšení z nádrží Hamry a Seč

Vyhodnocení dopadů klimatické změny na vydatnost zdroje povrchových vod bylo realizováno v pilotním povodí Chrudimky pro vodárenské nádrže Hamry a Seč. Nádrž Křižanovice využívá pro realizaci vodárenského odběru především zásobní prostor nádrže Seč a její vliv na zajištění vodárenského odběru byl hodnocen s využitím simulačního modelu v kapitole 5.2.2. Pro posouzení výhledových změn ve vydatnosti vodních zdrojů bylo provedeno zjednodušené vodohospodářské řešení nádrží pro několik sad hydrologických vstupních dat. Při řešení tedy nebyla uvažována pravidla manipulací daná manipulačními řády.

S využitím základní rovnice nádrže byl proveden výpočet vztahu mezi velikostí zásobního prostoru a hodnotou nalepšení odtoku z nádrže se 100% pravděpodobností zabezpečení podle doby trvání. Výsledky porovnání závislosti hodnot v přítokových řadách skutečně pozorovaných



Obr. 3.9 Relativní změna mediánu odtokové výšky pro povodí k vodoměrné stanici 0490 Přemilov pro období s referenčním rokem 2025, 2055 a 2085; modře je vyznačen medián vybraného souboru klimatických modelů, čárkovanou čarou je vyznačena změna odtokové výšky při uvážení pouze vlivu změny teploty vzduchu

BOX 3.3 Simulační modelování funkce vodohospodářských soustav

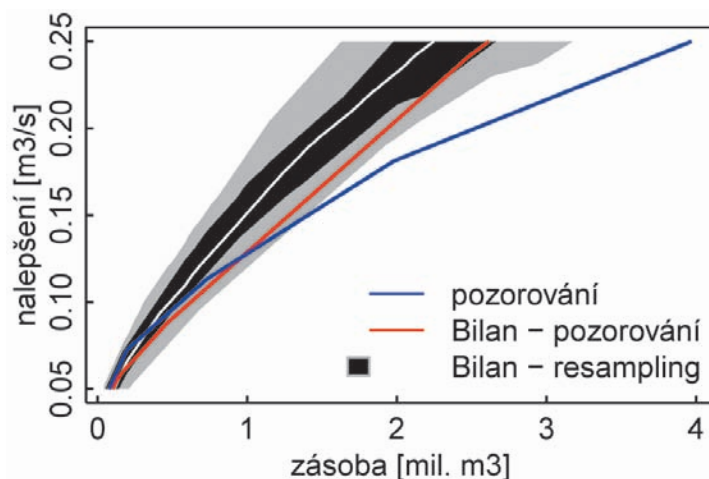
Hodnocení spolehlivosti vodohospodářských soustav pro výhledové období bylo provedeno v rámci několika výzkumných studií realizovaných pro vodohospodářské soustavy jednotlivých oblastí povodí (Kašpárek et al., 2009a; Novický et al., 2009; Kašpárek et al., 2009b). Vstupy do matematického simulačního modelu vodohospodářské soustavy zahrnovaly čtyři varianty průtoků modelovaných s uvážením výsledků simulací regionálních klimatických modelů RCAO (sestaven v Rossbyho centru ve Švédsku) a HIRHAM (vyvinut v rámci společného projektu národních meteorologických služeb Dánska, Finska, Irska, Holandska, Norska, Švédska, Španělska a Islandu), a to v kombinaci s emisními scénáři SRES A2 a SRES B2

pro výhledové období 2071–2100. Pro simulační modelování byly využity hodnoty požadavků na vodu upravené podle dostupných informací o budoucí potřebě vody v daném povodí. Výsledkem vodohospodářského řešení jsou hodnoty zabezpečení požadovaných odběrů a minimálních průtoků s výhledem do budoucna pro nádrže a kontrolní profily na vodohospodářských soustavách. Z porovnání dosažené hodnoty zabezpečení požadavků na užívání vody a zachování minimálního zůstatkového průtoku s hodnotou, která je vyžadována podle normy ČSN 75 2405, je možné identifikovat zranitelné prvky systému. Sestavený simulační model je dále využitelný při posuzování účinnosti zvoleného adaptačního opatření.

(modrá křivka), modelovaných pro pozorovaná vstupní data (červená křivka) a modelovaných pro resamplovaná vstupní data pro nádrže Hamry a Seč jsou vykresleny na obrázcích 3.10 a 3.11. Aby bylo možné výsledky vzájemně srovnávat, byly z generované řady náhodně vybírány vzorky o stejné délce, jakou má řada pro kontrolní období, tj. 29 let. Neurčitost výsledků získaných pro tyto vzorky je znázorněna černou a šedou plochou (bílou čarou je vyznačen medián náhodně vybraných vzorků resamplované řady, černě je vyznačen prostor s výskytem 50 % výsledků, šedě je vyznačen prostor, kde se vyskytuje 90 % výsledků).

Z výsledků vyplynulo, že metoda resamplingu v případě řad přítoků do nádrže Hamry vede k vyšším odhadům celkového nalepšení. Z grafu je rovněž patrné, že odklon od výsledků získaných na základě pozorovaných průtoků je zapříčiněn již ve fázi hydrologického modelování. Je to způsobeno podhodnocením maximálního deficitu v generované řadě. Výsledek porovnání vztahu nalepšení a velikosti zásobního objemu nádrže odvozený pro průtokové řady pozorované a modelované pro mezipovodí vodoměrné stanice 0490 Přemilov indikuje dobrou schopnost generované řady reprodukovat deficity, které se vyskytly v pozorované řadě. Výsledek podporuje závěr, že metoda resamplingu podle nejbližšího souseda má potenciál pro využití při vodohospodářském řešení nádrží. Při volbě parametrů metody je třeba sledovat charakteristiky nedostatkových objemů, které vznikají v generovaných řadách – objem a délku trvání.

Analogicky byly vykresleny závislosti nalepšení na zásobním objemu pro scénářové řady. Výsledek pro nádrž Hamry a nádrž Seč je zachycen na obrázcích 3.12 a 3.13. Na grafech je tmavě modře a světle modře vyznačen prostor, kde se vyskytuje 50 %, respektive 90 % vzorků řady generované pro kontrolní období, bílá křivka vyznačuje medián. Plné křivky reprezentují mediány výsledků získaných pro náhodné vzorky řad generovaných s uvážením výstupů simulací klimatických modelů. Plná černá čára reprezentuje medián odvozený na základě celého souboru klimatických modelů. Červená čárkovaná čára znázorňuje výsledky získané pro průtokovou

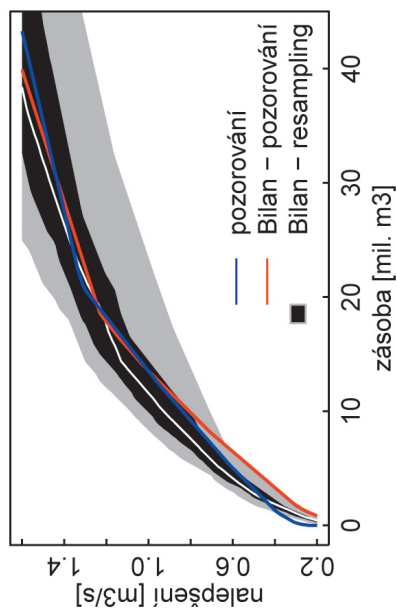


Obr. 3.10 Vztah mezi hodnotou nalepšeného průtoku a zásobním objemem nádrže pro pozorované průtoky (modrá křivka), modelované průtoky na základě pozorovaných vstupních dat (červená křivka) a rozdělení výsledků získaných z náhodných vzorků řady modelované na základě resamplovaných vstupních dat (bílá křivka – medián, černá oblast – 50 % vzorků řady, šedá oblast – 90 % vzorků řady)

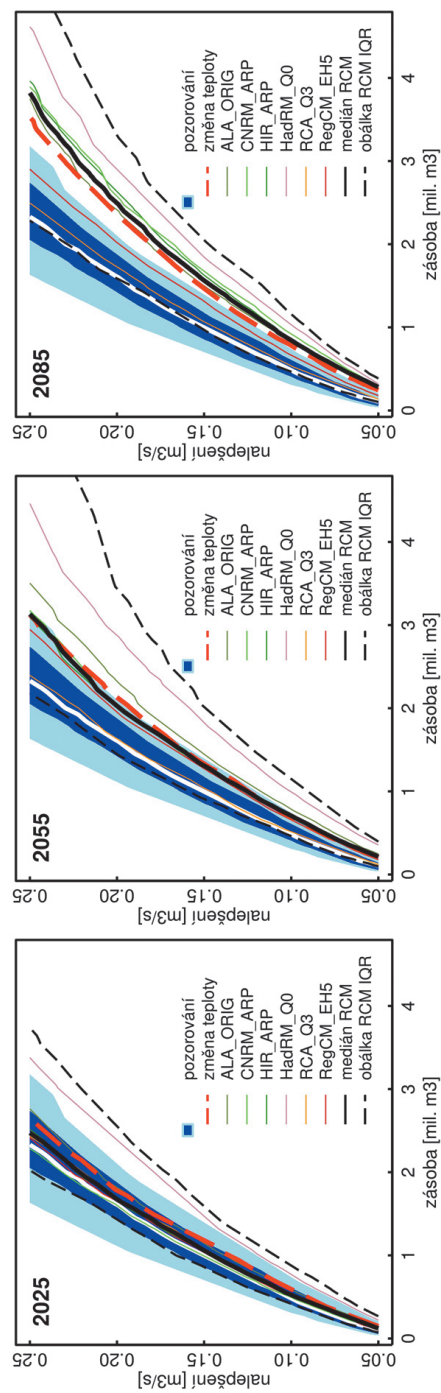
řadu modelovanou pomocí zjednodušené přírůstkové metody s uvážením pouze vlivu nárůstu teploty vzduchu. Výsledky naznačují dobrou shodu mezi odhadem maximálního nalepšení, který je získán z mediánu souboru klimatických modelů, a mezi hodnotou nalepšení, která vychází při uvážení pouze vlivu oteplení.

Hodnoty nalepšení odhadované pro 100% zabezpečení podle trvání pro kontrolní období a pro výhledová období s uvážením pouze změny teploty vzduchu a s uvážením výstupů klimatických modelů pro nádrž Hamry a pro nádrž Seč jsou uvedeny v tabulce 3.5. Jedná se o medián výsledků získaných pro 500 náhodně vybraných vzorků řady o délce 29 let (délka kontrolního období). Zvýšení teploty vzduchu o 1 °C vedlo v případě nádrže Hamry k poklesu odhadovaného nalepšení při zásobním objemu nádrže 1,2 mil. m³ o 11 %, zvýšení teploty o 2 °C vedlo k poklesu o 18 % a pro zvýšení teploty o 3 °C o 21 % vzhledem k hodnotě odhadované pro řadu modelovanou pro kontrolní klima. Průměrná hodnota změny nalepšení z výsledků získaných s využitím výstupů klimatických modelů pro výhledové období 2010–2039 odpovídá poklesu o 8 %, pro výhledové období 2040–2069 odpovídá poklesu o 18 % a pro výhledové období 2070–2099 poklesu o 23 %.

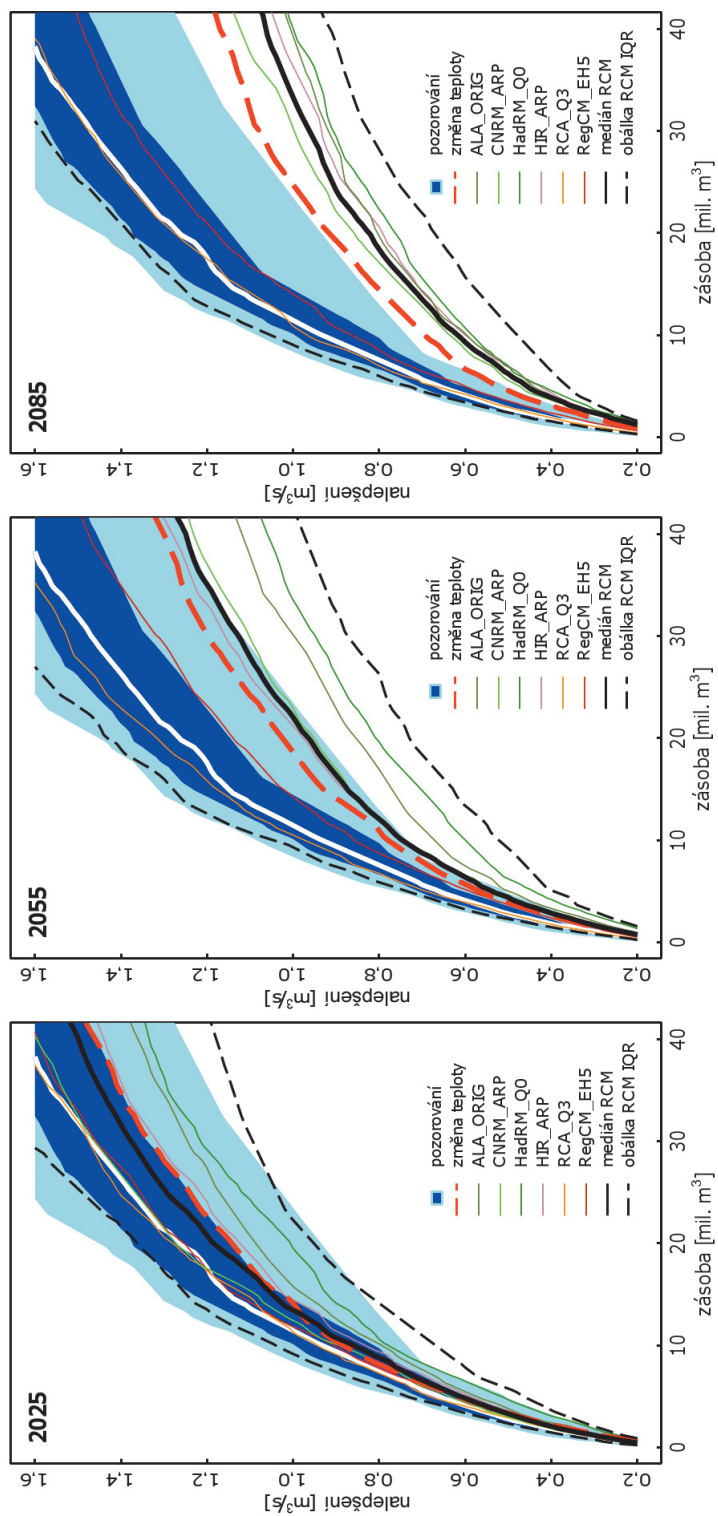
Hodnota nalepšení z nádrže Seč při zásobním objemu 14 mil. m³ klesá při zvýšení teploty vzduchu o 1 °C o 10 %. Zvýšení teploty o 2 °C vedlo k poklesu nalepšení o 20 % a pro zvýšení teploty o 3 °C až o 29 % vzhledem k hodnotě odhadované pro řadu modelovanou pro kontrolní klima. Průměrná hodnota změny nalepšení z výsledků získaných s využitím výstupů klimatických modelů pro výhledové období 2010–2039 odpovídá poklesu o 9 %, pro výhledové období 2040–2069 odpovídá poklesu o 21 % a pro výhledové období 2070–2099 poklesu o 27 %.



Obr. 3.11 Vztah mezi hodnotou nalepšeného průtoku a zásobním objemem nádrže Seč pro pozorované průtoky (modrá křivka), modelované průtoky na základě pozorovaných vstupních dat (červená křivka) a rozdělení výsledků získaných z náhodných vzorků řady modelované na základě resamplovaných vstupních dat (bílá křivka – medián, černá křivka – medián, červená křivka – 50 % vzorků řady, šedá oblast – 90 % vzorků řady)



Obr. 3.12 Porovnání závislosti nalepšení na velikosti zásobního objemu pro výhledová období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 pro nádrž Hamrý; tmavě modře a světle modře je vyznačen prostor, kde se vyskytuje 50 %, respektive 90 % vzorků řady generované pro kontrolní období, bílá křivka vyznačuje medián; plné křivky reprezentují mediány výsledků podle simulací klimatických modelů, plná černá čára reprezentuje medián odvozený na základě celého souboru klimatických modelů, červená čárkovaná čára znázorňuje výsledky získané pro průtokovou řadu modelovanou pomocí zjednodušené přírůstkové metody s uvážením pouze vlivu nárůstu teploty vzduchu



Obr. 3.13 Porovnání závislosti nalepšení na velikosti zásobního objemu pro výhledová období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 pro nádrž Seč; tmavě modře a světle modře je vyznačen prostor, kde se vyskytuje 50 %, respektive 90 % vzorků řady generované pro kontrolní období, bílá křivka vyznačuje medián, plné křivky reprezentují mediány výsledků podle simulací klimatických modelů, plná černá čára reprezentuje medián odvozený na základě celého souboru klimatických modelů, červená čárkovaná čára znázorňuje výsledky získané pro průtokovou řadu modelovanou pomocí zjednodušené přírůstkové metody s uvážením pouze vlivu nárůstu teploty vzduchu

Tab. 3.5 Odhad maximálního nálezání z nádrže Hamry a z nádrže Seč se zabezpečení podle doby trvání 100 % pro kontrolní období a pro výhledová období s uvážením pouze změny teploty vzduchu a s uvážením výstupů klimatických modelů; změna v procentech odpovídá poklesu nálezání vzhledem k hodnotě nálezání pro kontrolní období

Qn Hamry [m ³ /s]	Res. data	Teplota	ALA_ORIG	CNRM_ARP	HadRM_Q0	HIR_ARP	RCA_Q3	RegCM_EH5
1976	0,170							
2025		0,152	0,154	0,167	0,130	0,164	0,161	0,159
2055		0,140	0,133	0,141	0,114	0,142	0,166	0,145
2085		0,135	0,131	0,121	0,110	0,122	0,160	0,143
Změna [%]								
2025		-10,6	-9,4	-1,8	-23,5	-3,5	-5,3	-6,5
2055		-17,6	-21,8	-17,1	-32,9	-16,5	-2,4	-14,7
2085		-20,6	-22,9	-28,8	-35,3	-28,2	-5,9	-15,9

Qn Seč [m ³ /s]	Res. data	Teplota	ALA_ORIG	CNRM_ARP	HadRM_Q0	HIR_ARP	RCA_Q3	RegCM_EH5
1976	1,110							
2025		0,995	0,940	1,060	0,895	0,980	1,085	1,090
2055		0,895	0,755	0,850	0,680	0,850	1,145	0,990
2085		0,790	0,690	0,730	0,670	0,695	1,095	1,000
Změna [%]								
2025		-10,4	-15,3	-4,5	-19,4	-11,7	-2,3	-1,8
2055		-19,4	-32,0	-23,4	-38,7	-23,4	3,2	-10,8
2085		-28,8	-37,8	-34,2	-39,6	-37,4	-1,4	-9,9

3.4 Analýza rizika

Na identifikaci nebezpečí navazuje stanovení pravděpodobnosti jejich výskytu a možných následků. Pro stanovení pravděpodobnosti výskytu nebezpečí, které není ovlivněno vývojem klimatu, je možné vycházet z analýzy četnosti výskytu daného jevu v minulosti. Pokud se však jedná o nebezpečí spojené s vývojem klimatu, pak je vhodné pro stanovení pravděpodobnosti jeho výskytu využívat výsledky simulačního modelování s uvážením pravděpodobnostních scénářů klimatické změny (jedná se o takové scénáře, pro které existuje odhad pravděpodobnosti jejich uskutečnění, pro Českou republiku zatím nebyly tyto scénáře podrobněji vyhodnoceny, jsou používány např. ve Velké Británii v rámci UK Climate Impact Programme).

Při hodnocení pravděpodobnosti a následků nebezpečí ve výhledovém období je možné uplatnit metodu předběžné analýzy rizika, která využívá kvalifikovaný odhad pravděpodobnosti výskytu dané nebezpečné události a rozsahu jejích následků. Postup zahrnuje sestavení stupnic pro kvalitativní hodnocení pravděpodobnosti a následků, přiřazení hodnot stupnice jednotlivým nebezpečím a sestavení rizikové matice. Vzhledem k nejistotám, které jsou spojeny s celým procesem modelování klimatického systému Země, není odhad pravděpodobnosti výskytu konkrétního nebezpečí spojeného s dopady klimatické změny triviální záležitostí a vyžaduje znalost aktuálních výsledků studií dopadů klimatické změny v zájmové oblasti, výsledků modelování složek hydrologické bilance pro výhledové období a výsledků simulačního modelování funkce sledovaného systému v podmínkách klimatické změny.

Analogickým způsobem jsou vyhodnoceny očekávané následky nepříznivých stavů, které mohou vzniknout v souvislosti s identifikovaným nebezpečím. Následky nepříznivých stavů je možné kategorizovat podle jejich charakteru a k jednotlivým kategoriím navrhnout specifické hodnotící stupnice i v nepeněžních jednotkách. Výsledné hodnocení následků odpovídá výsledku nejhůře hodnocené kategorie následků (Tuhovčák et al., 2010).

Charakter následků nepříznivých stavů (Tuhovčák et al., 2010):

- Ekonomické (způsobené organizací, jež je zodpovědná za provoz a správu sledovaného systému);
- Environmentální (hodnotí se vliv nepříznivého stavu na životní prostředí – na obyvatelstvo, na ekosystémy, jejich složky a funkce, vliv na antropogenní systémy, jejich složky a funkce, vliv na strukturu a funkční využití území a ostatní vlivy);
- Sociálně-ekonomické (způsobené společností, zranitelným skupinám spotřebitelů, uživatelům služeb);
- Zdravotní (způsobené spotřebitelům, uživatelům služeb, neuvažují se následky na zdraví zaměstnanců organizace, správní instituce).

Příklad pětibodové kvalitativní stupnice pravděpodobnosti výskytu a možných ekonomických následků je uveden v tabulkách 3.6 a 3.7. Stupnice jsou doplněny orientačními kvantitativními hodnotami, které je ovšem nutné nastavit tak, aby reflektovaly specifika systému, pro který je riziková

Tab. 3.6 Příklad stupnice pro hodnocení pravděpodobnosti výskytu identifikovaného nebezpečí, která uvádí i orientační kvantitativní hodnoty vyjádřené jako počet dní v roce, kdy se může nebezpečí vyskytnout

Pravděpodobnost výskytu		Počet dní	Body
Velmi nízká	1 x za 1000 let	0,001	1
Malá	1 x za 100 let	0,01	2
Střední	1 x za 10 let	0,1	3
Závažná	1 x za rok	1	4
Vysoká	1 x za 6 měsíců	2	5

Tab. 3.7 Příklad stupnice hodnocení ekonomických následků identifikovaného nebezpečí, která uvádí i orientační kvantitativní hodnoty odpovídající ročním škodám

Následky		Body
Velmi nízké	do 100 tis. Kč	1
Nízké	do 500 tis. Kč	2
Střední	do 10 mil. Kč	3
Závažné	do 100 mil. Kč	4
Katastrofální	více než 100 mil. Kč	5

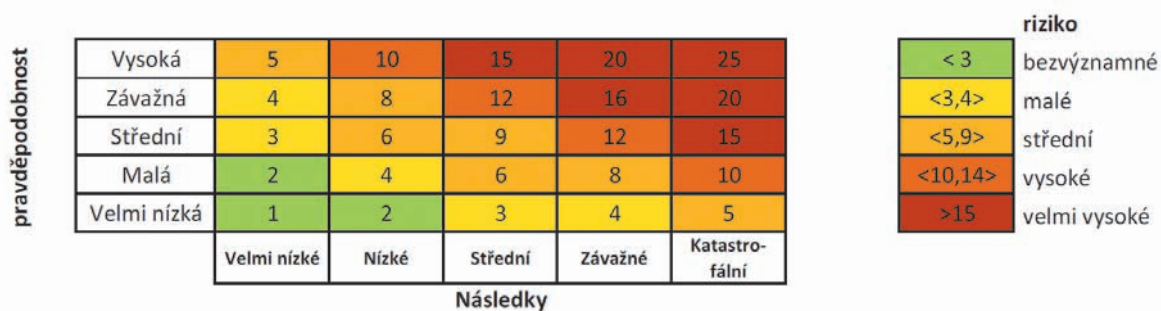
analýza zpracovávána. Analogicky mohou být navrženy stupnice pro hodnocení environmentálních, socio-ekonomických a zdravotních následků. Hodnocení pravděpodobnosti výskytu a následků jednotlivých nepříznivých stavů by mělo být provedeno v rámci řešitelského týmu tak, aby byl eliminován subjektivní názor jednoho hodnotitele. Výsledky hodnocení se doplní do databáze identifikovaných nebezpečí. Databáze by měla rovněž obsahovat odkaz na dokumentaci, na základě které bylo hodnocení provedeno.

3.5 Hodnocení rizika

Na analýzu rizika navazuje hodnocení rizika. Jedná se o proces, na základě kterého jsou identifikovaná nebezpečí seřazena do hierarchie podle jejich rizikovitosti. Pro účely navrhování adaptačních opatření je využitelná metoda rizikové matice. Pokud je analýza rizika založena na kvalitativním hodnocení, je míra rizika vyjádřena jako součin bodového ohodnocení pravděpodobnosti výskytu nebezpečí a bodového ohodnocení jeho následků. Na základě vhodné navržené stupnice jsou pak jednotlivá rizika rozdělena do skupin podle jejich závažnosti. Příklad sestavení rizikové matice založené na bodovém hodnocení je na obrázku 3.14.

V případě kvantitativně vyjádřených hodnot pravděpodobnosti výskytu a následků je každému identifikovanému nebezpečí přiřazena hodnota střední roční škody, která je stanovena jako součin pravděpodobnosti výskytu nebezpečné události a průměrných ročních následků vyjádřených v penězích nebo v jiných specifických jednotkách. Identifikovaná nebezpečí jsou pak seřazena podle výsledné hodnoty očekávané roční škody, která vyjadřuje míru jejich rizikovitosti.

Součástí hodnocení rizika je stanovení konsenzu o přijatelné míře rizika. Jedná se o pomyslnou hranici vedenou mezi riziky, jež zůstanou bez návrhu adaptačního opatření, a riziky, pro která bude navrhováno vhodné opatření. Přijatelná míra rizika je opět specifická pro každou organizaci a je předmětem diskuse v rámci pracovního týmu a dalších řídicích pracovníků organizace.



Obr. 3.14 Příklad sestavení rizikové matice pro hodnocení rizika souvisejícího s identifikovaným nebezpečím

Přijatelnou míru rizika je možné identifikovat porovnáním následků nežádoucích stavů a požadavků na daný systém, které jsou zakotveny v legislativě, v technických předpisech a normách (např. v případě posuzování přijatelné míry zabezpečení odběru vody z nádrže je možné vycházet z požadavků ČSN 752405 Vodohospodářské řešení vodních nádrží). Výsledkem hodnocení rizika je seznam nebezpečí a souvisejících nepříznivých stavů, pro které je třeba navrhnout vhodná adaptační opatření.

Analýza a hodnocení rizik spojených s dopady klimatické změny na vodní zdroje Vodárenské soustavy východní Čechy v povodí Orlice a Chrudimky

Analýza vychází z výsledků podrobné charakteristiky pilotních povodí Orlice a Chrudimky, posouzení trendů v pozorovaných časových řadách meteorologických a hydrologických veličin, z výsledků posouzení dopadů klimatické změny na hydrologické poměry, z výsledků analýzy potřeb vody na pilotních povodích, z dostupných studií věnovaných problematice vodních zdrojů v zájmové oblasti a ze zápisů pořázených během zasedání „suchové komise“ zřízené při Magistrátu města Hradec Králové. Analýza byla vypracována v kolektivu autorů studie.

Identifikovaná nebezpečí a z nich vyplývající nežádoucí stavy jsou rozděleny do dvou skupin podle svého původce na nebezpečí přírodní a společenská – způsobená reakcí společnosti na probíhající změny. Vzhledem k rozsahu hodnoceného systému nebyla v rámci provedené analýzy rizik identifikována technologická nebezpečí. Doplnění identifikovaných nebezpečí o nebezpečí technologická by vyžadovalo doplnění řešitelského týmu o zástupce provozovatelů jednotlivých infrastruktur. Analýza je zpracována pro výhledové období 2010–2039.

1 Přírodní nebezpečí

1.1 **Snižování hodnot malých průtoků** – z výsledků vyhodnocení změn m-denních průtoků pozorovaných ve stanicích na povodí Orlice i na povodí Chrudimky vyplynulo, že dochází ke snížení průtoků s hodnotou překročení Q_{240d} až Q_{364d} mezi periodami 1961–1990 a 1991 až 2009. S pozorovanou tendencí souvisejí následující nepříznivé stavy.

1.1.a Snížení ředící kapacity toků – problém by mohl nastat s kvalitou vody v tocích Dědina (poměr vypouštění/ Q_{355d} 34 %), Bělá (poměr vypouštění/ Q_{355d} 20 %), Tichá Orlice (poměr vypouštění/ Q_{355d} 17 %) a na dalších menších tocích (např. Rokytenka, Řetovka aj.)

- v období malých průtoků. Může tak dojít k nepříznivým dopadům na vodní ekosystémy a na jakost vody odebírané z povrchových vod (např. úpravna vody v Hradci Králové).
- 1.1.b Omezení ekologické funkce toku v období malých průtoků – následkem nepříznivého stavu je úhyn organismů vázaných na vodu, pro zajištění ochrany vodních ekosystémů může vodoprávní úřad omezit či zcela zakázat odběry vody z povrchových toků, což může vést k ekonomickým následkům pro odběratele.
 - 1.1.c Snížení zabezpečení požadovaného zlepšení vodárenských nádrží vzhledem k vyšším nárokům na dodržení minimálního zůstatkového průtoku – z posouzení dopadů klimatické změny na zlepšení nádrží Hamry a Seč je možné očekávat k výhledovému období 2010–2039 pokles přibližně o 10 % (s možným rozpětím 2–20 %). Nepříznivý stav může vést k omezení velikosti realizovaného odběru nebo k jeho úplnému přerušování.
 - 1.1.d Snížení zlepšení nádrže Pastviny, která ovlivňuje velikost průtoku v Orlici – snížení zabezpečení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku v profilu pod nádrží a rovněž i dále na toku.
- 1.2 **Zvyšování teploty vzduchu** – z výsledků statistické analýzy časových řad teploty vzduchu ve vybraných stanicích na povodí Orlice a na povodí Chrudimky vyšel statisticky významný rostoucí trend. Gradient lineárního trendu se pohybuje od 0,025 do 0,059 °C/rok. S výhledem do budoucnosti výsledky modelování dopadů klimatické změny indikují pokračování tohoto trendu a k časovému horizontu 2025 činí průměrný nárůst teploty vzduchu pro použitý soubor scénářů +1 °C pro obě pilotní povodí. Vyšší teplota vzduchu indikuje nárůst teploty vody v tocích a v nádržích (Novický a Tremel, 2009), vyšší výpar z volné vodní hladiny a zhoršení důsledků eutrofizace vody akumulované v nádržích. V případě výskytu vodního květu při snížené úrovni hladiny v zásobním prostoru nádrží může dojít k překročení parametrů jakosti surové vody využitelné pro úpravu na vodu pitnou. Odumírající vodní květ může způsobit vznik anaerobních podmínek až k úrovni odběrného okna a následnému překročení maximálního povoleného množství manganu v surové vodě. Dochází ke zvýšení zatížení akumulované vody organickými látkami.
- 1.2.a Zvýšení teploty vody v toku Orlice na úroveň, kdy není upravitelná na vodu pitnou – výpadek vodního zdroje především v období platnosti institutu minimální hladiny podzemní vody pro jímací území Litá může vést k přerušování zásobování obyvatel pitnou vodou.
 - 1.2.b Překročení maximálního povoleného množství manganu v surové vodě v nádržích Hamry, Seč a Křižanovice v souvislosti se vznikem anaerobních podmínek v nádrži – výpadek vodního zdroje může vést k přerušování dodávky pitné vody.
 - 1.2.c Obsah cyanotoxinů ze sinic v surové vodě v nádržích Hamry, Seč a Křižanovice v souvislosti se vznikem anaerobních podmínek v nádrži – výpadek vodního zdroje může vést k přesušení dodávky pitné vody.
- 1.3 **Požár** – nebezpečí nepřímo souvisí s nárůstem teploty vzduchu a zvýšením evapotranspirace. V zájmovém území by mohl nastat problém se zajištěním dostatečného množství vody pro hašení především v období s napjatými vodními zdroji v období platnosti institutu minimální hladiny podzemní vody v jímacím území Litá.
- 1.3.a Nedostatek vody pro hašení požárů především ve výškových budovách v období se zhoršenými tlakovými poměry s možným ohrožením lidských životů a se ztrátami na majetku.
 - 1.3.b Nedostatek vody pro hašení lesních požárů v období sucha a nedostatku vody – možné ohrožení lidských životů, následky pro ekosystém, ekonomické následky pro hospodařící subjekt.
- 1.4 **Extrémní srážkové události nebo rychlé tání sněhu spojené s povodněmi** – nebezpečí představuje riziko pro jakost vody odebírané z povrchových vodních zdrojů a rovněž pro jakost

vody z podzemních zdrojů, které se nacházejí v blízkosti povrchového toku. Extrémní srážkové události a rychlé tání sněhu jsou spojeny se zrychlenou erozí půdy, která vede k nárazovému zvýšení koncentrace huminových látek a jílových sedimentů v surové vodě v nádržích Hamry a Křižanovice, což výrazným způsobem komplikuje proces úpravy vody.

- 1.4.a Kontaminace zdroje podzemní vody znečištěnou vodou z povodně v jímacím území Podmoklany a Čertovina – výpadek vodního zdroje může vést ke zvýšení požadavků na odběr z nezasažených vodních zdrojů.
 - 1.4.b Kontaminace vody v nádrži Křižanovice huminovými látkami a jílovými sedimenty – výpadek vodního zdroje může vést k přerušení dodávek vody do vodárenského systému Pardubicka a v případě nulové rezervy k přerušení zásobování obyvatel pitnou vodou.
 - 1.4.c Kontaminace vody v nádrži Hamry huminovými látkami a jílovými sedimenty – výpadek vodního zdroje může vést ke zvýšení požadavků na podzemní vodní zdroj, který se podílí na zásobování z úpravny vody Hamry.
 - 1.4.d Kontaminace vody v Orlici fekálním znečištěním a jílovými sedimenty v období provozu úpravy vody v Hradci Králové – výpadek vodního zdroje v období s nulovou rezervou může vést k přerušení zásobování obyvatel pitnou vodou.
- 1.5 **Pokles hladiny podzemní vody** – na povodí Orlice bylo vyhodnoceno šest objektů monitoringu podzemních vod, lineární trendy průměrné roční úrovně hladiny ve všech analyzovaných vrtech jsou klesající, ve čtyřech vrtech dochází ke statisticky významnému poklesu. Z výsledků modelování dopadů klimatické změny na základní odtok, který dotuje zásoby podzemní vody, vychází pro povodí k vodoměrné stanici Týniště nad Orlicí pokles průměrné roční hodnoty k referenčnímu roku 2025 o 9 % (v možném rozsahu 0–25 %). Devět procent z celkového odběru podzemní vody na povodí Orlice v letech 1998–2008 činí 59 l/s.
- 1.5.a Pokles vydatnosti podzemních zdrojů vody v jímacím území Litá – zvýšení požadavků na další vodní zdroje, snížení spolehlivosti zásobování pitnou vodou.
 - 1.5.b Pokles vydatnosti podzemních zdrojů vody oblasti kolem Borohrádku – zvýšení požadavků na další vodní zdroje, snížení spolehlivosti zásobování pitnou vodou.
 - 1.5.c Pokles vydatnosti podzemních zdrojů vody v jímacím území Podlažice – zvýšení požadavků na další vodní zdroje, snížení spolehlivosti zásobování pitnou vodou.
 - 1.5.d Snížení vydatnosti lokálních mělkých podzemních zdrojů vody, užívaných především pro individuální zásobování – navýšení odběrů vody z vodovodní sítě v období sucha, v případě nulové rezervy vodních zdrojů hrozí přerušení dodávky pitné vody.

2 Společenská nebezpečí

- 2.1 **Připojování nových odběratelů na vodárenskou soustavu VSVČ** – nebezpečí nepřímo souvisí se snižováním spolehlivosti mělkých podzemních zdrojů. Dále souvisí s ekonomickým rozvojem daného území, popř. se zjištěním kontaminace stávajícího lokálního zdroje (např. pomocnými látkami ze zemědělství, znečištěním ze staré ekologické zátěže aj.).
 - 2.1.a Přetížení stávajících zdrojů vody vodárenské soustavy a snížení spolehlivosti soustavy.
- 2.2 **Omezení stávajícího povolení k odběru vody z důvodů ochrany přírody** – platnosti povolení k odběrům vody končí pro významné odběratele v oblasti s horizontem roku 2015 a bude třeba zahájit jednání s vodoprávními úřady o jejich prodloužení. Hrozí nebezpečí, že při procesu posuzování dopadů plánovaného odběru na životní prostředí bude prokázán negativní vliv a stávající odběr nebude povolen v plném rozsahu.
 - 2.2.a Snížení povoleného odběru z vodního zdroje z důvodů snížení nepříznivých dopadů odběru na ekosystémy.
 - 2.2.b Zavedení institutu minimální hladiny podzemní vody z důvodů ochrany přírody – částečné omezení využitelnosti vodního zdroje.

2.3 **Nadměrné odběry podzemní vody v chráněných lokalitách** – v případě poklesu dotace zásob podzemní vody může při zachování stávající úrovně využívání vodního zdroje dojít k nepříznivým důsledkům na chráněné ekosystémy.

2.3.a Poškození nebo ztráta chráněných ekosystémů v lokalitě Natura 2000 Zbytka.

2.4 **Nárůst požadavků na odběry vody pro závlahu** – v souvislosti s rostoucí mírou evapotranspirace může dojít ke zvýšení potřeby řešit vláhový deficit pomocí závlahy. Situace může vést k nárůstu požadavků na odběry vody z povrchových, popř. z podzemních vodních zdrojů a následně může docházet ke vzniku nových střetů zájmů.

2.4.a Zvýšení požadavků na odběry vody ve vegetačním období – zhoršení nedostatku povrchových, případně podzemních vod během období sucha.

Pro identifikované nežádoucí stavy bylo stanoveno hodnocení pravděpodobnosti výskytu ve výhledovém období, možné následky a rizikovost identifikovaného nepříznivého stavu daná jako součin bodového hodnocení pravděpodobnosti a následků. Identifikované nežádoucí stavy byly seřazeny podle dosažené hodnoty rizikovosti a jsou uvedeny v tabulce 3.8. Mezi nežádoucí stavy, jejichž riziko bylo hodnoceno jako velmi vysoké nebo vysoké, byly zařazeny následující nežádoucí stavy – pokles vydatnosti zdrojů podzemních vod v jímacím území Litá, poškození nebo ztráta chráněných ekosystémů v lokalitě Natura 2000 „Zbytka“, snížení zabezpečení nalepšení vodárenských nádrží na řece Chrudimce, zvýšení teploty vody v toku Orlice na úroveň, kdy již není upravitelná na vodu pitnou, snížení vydatnosti zdrojů podzemní vody v jímacím území v oblasti Borohrádku, zhoršení jakosti vody odebírané z nádrží Hamry, Seč a Křižanovice v souvislosti s důsledky nadměrné eutrofizace akumulované vody aj. Mezi obecně platné nežádoucí stavy s vysokým hodnocením rizika patří rovněž snížení ředící kapacity vodních toků v období sucha, zvýšení požadavků na odběry vody pro závlahu aj. Primárně pro tyto nežádoucí stavy je třeba hledat vhodná adaptační opatření.

Tab. 3.8 Výsledky hodnocení nežádoucích stavů identifikovaných pro vodní zdroje Vodárenské soustavy východní Čechy, Pst – pravděpodobnost výskytu, N – následky nežádoucího stavu, R – rizikovost

Kód	Pst	N	R	Nežádoucí stav
1.5.a	5	4	20	Pokles vydatnosti podzemních zdrojů v jímacím území Litá
2.3.a	4	4	16	Poškození nebo ztráta chráněných ekosystémů v lokalitě Natura 2000 Zbytka
1.1.a	4	3	12	Snížení ředící kapacity toků
1.1.b	4	3	12	Ohrožení ekologické funkce toku
1.1.a	3	4	12	Snížení zabezpečení zlepšení vodárenské soustavy nádrží na řece Chrudimce
1.2.a	4	3	12	Zvýšení teploty vody v toku Orlice na úroveň, kdy není upravená na vodu pitnou
1.4.b	4	3	12	Kontaminace vody v nádrži Křižanovice huminovými látkami a jílovými sedimenty
1.5.b	4	3	12	Pokles vydatnosti podzemních zdrojů v oblasti Borohrádku
2.1.a	3	4	12	Přetížení stávajících zdrojů vody VSVČ a snížení spolehlivosti soustavy
2.2.a	3	4	12	Snížení využitelné kapacity vodních zdrojů z důvodů snížení dopadů odběru na ekosystémy
2.4.a	5	2	10	Zvýšení požadavků na odběry vody pro závlahu ve vegetačním období
1.2.b	3	3	9	Překročení maximálního povoleného množství manganu v surové vodě odebrané z nádrží
1.3.b	3	3	9	Nedostatek vody pro hašení lesních požárů v období sucha a nedostatku vody
1.5.c	3	3	9	Pokles vydatnosti podzemních zdrojů jímacím území Podlažice
1.5.d	3	3	9	Snížení vydatnosti lokálních mělkých podzemních zdrojů, navýšení odběrů z distribuční sítě
1.3.a	2	4	8	Nedostatek vody pro hašení ve výškových budovách při nepříznivých tlakových podmínkách
1.4.a	4	2	8	Kontaminace vody v nádrži Hamry huminovými látkami a jílovými sedimenty
1.1.b	3	2	6	Snížení zlepšení z nádrže Pastviny
1.2.c	2	3	6	Obsah cyanotoxinů ze sinic v surové vodě ve vodárenských nádržích
1.4.b	2	3	6	Kontaminace vody v Orlici fekálním znečištěním a jílovými sedimenty v období provozu úpravní vody
2.2.b	3	2	6	Zavedení institutu minimální hladiny podzemní vody z důvodu snížení dopadů odběru na ekosystémy
1.4.a	1	4	4	Kontaminace zdroje podzemní vody v jímacím území Podmoklany vodou z povodně

4 Navrhování adaptačních opatření

Pro nebezpečí, která přesahují přijatelnou míru rizika, je následně vypracován přehled variant adaptačních opatření. Za adaptační opatření je možno považovat v podstatě jakoukoliv úpravu, která vede ke snižování zranitelnosti vůči dopadům klimatické změny. Zdrojem inspirace pro návrh adaptačních opatření mohou být zkušenosti s řešením problémů spojených s konkrétním nebezpečím, jež se vyskytly během provozu v minulosti, nebo jež byly popsány v případových studiích zaměřených na úspěšně uplatněná adaptační opatření v klimatických podmínkách obdobných těm, které jsou očekávány. Návrh opatření může vzejít ze společného jednání pracovníků zapojených do plánování, řízení a provozu při analýze zásadních příčin identifikovaných nepříznivých stavů nebo při analýze rezerv, které jsou k dispozici pro řešení kritických situací. Návrh adaptačních opatření může vyplynout z analýzy inovací a nových technologií, které jsou aktuálně dostupné. Dalším zdrojem inspirace mohou být opatření přijímaná v sousedních oblastech nebo např. poznatky z vědeckých konferencí věnovaných dané problematice. Kromě opatření pro eliminaci následků nebo snížení pravděpodobnosti výskytu nepříznivé události související s identifikovaným nebezpečím je rovněž vhodné navrhovat opatření, která vedou k přenesení rizika na jiné organizace – např. pojištění (Johnstone et al., 2009).

Pro návrh adaptačních opatření je dále třeba zajistit informace o přírodních poměrech v zájmové oblasti, o vodohospodářské infrastruktuře a o majetkoprávních vztazích v lokalitách potenciálně vhodných pro realizaci opatření. Patří sem především veškeré podklady popisující:

- morfologické a geologické poměry, hydrogeologické, pedologické, klimatické a hydrologické poměry v zájmovém území,
- současné využití území a majetkoprávní poměry,
- existující vodní nádrže a rybníky a jejich manipulační řády, informace o zaniklých nádržích a o nádržích uvažovaných v budoucnosti,
- vodárenskou infrastrukturu, převody vody, důlní díla ovlivňující proudění podzemních vod,
- účelová pozorování realizovaná s cílem podrobněji charakterizovat zájmové území (např. účelová měření průtoků, pozorování hladiny podzemní vody atd.).

4.1 Rozdělení adaptačních opatření

Adaptační opatření je možné klasifikovat podle různých hledisek. Podle úrovně jejich zavádění můžeme rozlišovat adaptační opatření místní (efekt opatření na konkrétní vodní útvar, obec, konkrétního uživatele vody), regionální (efekt opatření na území dílčího povodí, kraje), národní, opatření s přeshraničním účinkem a opatření s celoevropským působením nebo působením v měřítku mezinárodního povodí. Dále je možné opatření rozdělit podle jejich charakteru na opatření legislativní a institucionální, která jsou implementována formou přijetí právního předpisu, opatření pro zvyšování adaptační kapacity (např. informační a výukové programy), opatření organizační (např. změny v charakteru řízení, změny ve způsobu hospodaření na ploše povodí atd.) a opatření strukturální, která vyžadují realizaci staveb a jiných technických zásahů. Dále můžeme opatření rozlišovat podle jejich zaměření na opatření proti přímým dopadům klimatické změny, opatření proti nepřímým environmentálním dopadům a proti nepřímým socio-ekonomickým dopadům klimatické změny. Rozdělení adaptačních opatření je možné provést i na základě hospodářského odvětví, ve kterém je adaptační opatření primárně uplatněno (správa povodí, vodohospodářská infrastruktura, zemědělství, lesnictví, energetika, turismus atd.). Podstatným hlediskem při sestavování adaptační strategie je hledisko načasování uplatnění daného opatření. Podle tohoto hlediska je možné rozlišovat opatření preventivní, opatření na zvyšování odolnosti systému, opatření přípravná, opatření operativní přijímaná během nepříznivé události a opatření obnovy přijímaná po skončení nepříznivé události. Komplexní adaptační strategie by měla zahrnovat různé typy opatření napříč kategoriemi – od legislativních až po strukturální opatření, od preventivních až po opatření obnovy.

Preventivní adaptační opatření

Jsou zaváděna průběžně, jejich cílem je zabránit výskytu nežádoucího stavu nebo snížit následky nepříznivých stavů souvisejících s identifikovaným rizikem. Příkladem preventivního opatření je vypracování plánu pro zvládnutí sucha a nedostatku vody pro oblasti zranitelné vůči suchu. V souvislosti s ochranou vydatnosti vodních zdrojů představuje preventivní opatření např. zavádění technologií šetrných na spotřebu vody pro závlahu v zemědělství. Jako vhodné adaptační opatření, které je realizováno primárně v souvislosti s ochranou před povodněmi, je omezení výstavby v oblastech aktivní zóny záplavových území. Mezi preventivní opatření je možné zařadit i aktivity směřující k rozšíření stávajícího monitoringu v zájmové oblasti s cílem přesněji vyhodnotit míru zranitelnosti jednotlivých prvků v systému.

Opatření pro zvyšování odolnosti systému

Jedná se o taková opatření, která vedou k posilování jednotlivých prvků systému, aby lépe odolávaly nepříznivým stavům. Mezi opatření pro zvyšování odolnosti systému patří např. pěstování odrůd odolných vůči suchu, zvyšování druhové diverzity v lesnictví, stavební úpravy na tělesech hrází vodních nádrží pro snížení pravděpodobnosti přelití, propojování vodárenských systémů tak, aby byly alespoň částečně zastupitelné při zajišťování dodávek vody, posilování stávajících vodních zdrojů zajištěním zdrojů nových aj.

Opatření přípravná a operativní

Mezi přípravná a operativní opatření můžeme zařadit aktivity, které jsou uskutečňovány v krátkodobém předstihu před výskytem nepříznivé události nebo v jejím průběhu. Řada opatření ochrany před povodněmi má charakter přípravných nebo operativních opatření. Patří sem např. uplatnění výstražných informačních systémů, výstavba mobilních protipovodňových hrazení, evakuace obyvatel, operativní řízení odtoku z nádrží, zajištění provozu záložních vodních zdrojů nebo nouzové zásobování vodou během období sucha aj.

Opatření obnovy

Opatření realizovaná po skončení bezprostředního působení nepříznivé události zahrnují např. zpracování dokumentace k proběhlé extrémní události, obnovu infrastruktury s ohledem na zkušenosti získané z průběhu extrémní povětrnostní události, programy pro zajištění finanční podpory pro postižené oblasti atd.

4.2 Výběr vhodné varianty adaptačního opatření

Téměř vždy existuje řada možností, jak se s konkrétním rizikem vypořádat. Pro výběr výsledné varianty adaptačního opatření je klíčová jeho očekávaná účinnost, celkové náklady spojené s realizací a provozem opatření a proveditelnost. Základní kritéria pro hodnocení a výběr varianty adaptačního opatření tedy zahrnují posouzení ekonomické výhodnosti dané varianty opatření (posouzení zisků a nákladů spojených s realizovaným opatřením), posouzení očekávané účinnosti vybraného adaptačního opatření v podmínkách klimatické změny za nejistoty, posouzení možných vedlejších dopadů opatření na ostatní sektory a nejvíce zranitelné uživatele a posouzení realizovatelnosti opatření s přihlédnutím ke společenské přijatelnosti opatření a majetkoprávním poměrům v dotčené oblasti. Strukturovaný přístup pro porovnávání a výběr vhodné varianty adaptačního opatření představují metody řízení rizika nebo vícekriteriální rozhodovací analýza.

4.2.1 Hodnocení variant podle ekonomické výhodnosti

Základní zhodnocení variant adaptačních opatření podle ekonomické výhodnosti je možné realizovat na základě finanční analýzy nákladů a výnosů spojených se zavedením určitého opatření pro organizaci, která dané adaptační opatření realizuje. Složitější porovnání variant opatření z hlediska celkových nákladů a celkových přínosů spojených s realizací jednotlivých variant opatření představuje cost-benefit analýza. Metoda představuje systematické porovnávání hodnoty požadovaných výstupů s hodnotami zdrojů potřebných pro jejich dosažení. Do hodnot vstupů a výstupů jsou započítávány i veličiny, které nejsou tržní. U těchto veličin je třeba odvodit jejich potenciální tržní hodnotu. Kritériem efektivnosti je požadavek, aby společenské přínosy z daného opatření převýšily na ně vynaložené společenské náklady (Šauer, 2008). Při hodnocení jednotlivých variant je možno stanovit poměr mezi hodnotou společenských užitků uvažovaného opatření

v penězích a hodnotou všech společenských nákladů spojených s tímto opatřením v penězích, kde nejvyšší hodnota odpovídá nejvýhodnější variantě řešení. Varianta představující žádné opatření musí být rovněž zařazena do analýzy, aby bylo možné správně vyhodnotit získané výsledky.

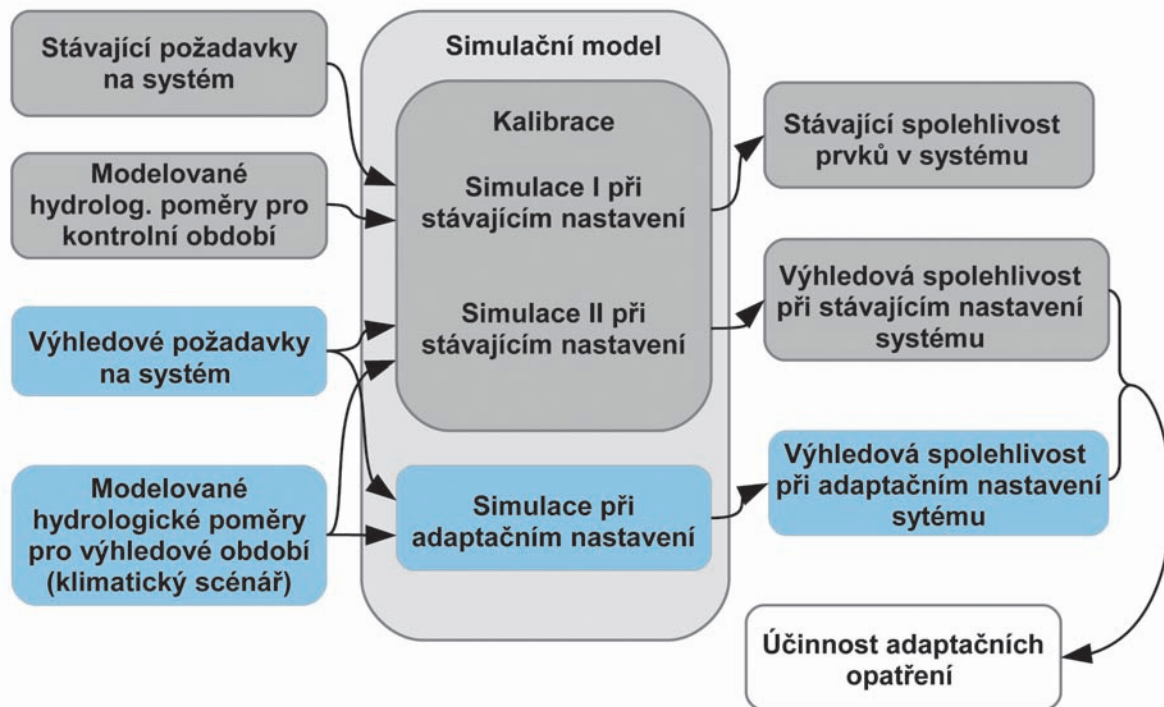
Při posouzení ekonomické výhodnosti adaptačních opatření jsou srovnávány náklady a přínosy na různých časových úrovních, a proto je třeba toky zisků a nákladů diskontovat ke stejné časové úrovni. Pokud zvolíme diskontní sazbu nízkou (např. ve Sternově zprávě uvažovaných 1,3–1,8 %), docházíme k požadavkům vyšších nákladů na adaptační opatření vynaložených co nejdříve. Naopak při vyšší hodnotě diskontní sazby (např. nad 5 %) vyjde jako ekonomicky nevýhodné vynakládat dnes prostředky na adaptační opatření, která budou zdůvodněna změnou klimatu za 50 let. V publikaci Johnstone et al., 2009, je doporučeno volit diskontní sazbu v rozsahu 1–3,5 %.

4.2.2 Hodnocení očekávané účinnosti adaptačního opatření

Účinnost daného opatření je možné ověřit pomocí simulačního modelování nebo na základě odhadu změny v rozdělení jednotlivých složek vodní bilance, které je daným opatřením dosaženo. Schéma na obrázku 4.1 znázorňuje proces modelování očekávané účinnosti adaptačního opatření pomocí simulačního modelu. Simulační model je v prvním kroku nakalibrován na současné hydrologické poměry a stávající požadavky, ve druhém kroku je provedena simulace při stávajícím nastavení modelu pro výhledové požadavky a výhledové hydrologické poměry. Z výsledků simulačního modelování je pomocí vhodné statistické charakteristiky (např. zabezpečení odběru podle trvání) vyhodnocena stávající a výhledová spolehlivost systému bez realizovaného opatření. Následně je provedena úprava simulačního modelu, která představuje stav po realizaci adaptačního opatření. Pro výhledové hydrologické poměry a pro výhledové požadavky na systém je znovu provedeno simulační modelování funkce systému. Výhledová spolehlivost systému je porovnána s výsledkem hodnocení, který byl získán pro stávající nastavení modelu. Modelování účinnosti adaptačních opatření však musí pracovat s nejistotami ve vývoji klimatických a hydrologických veličin a rovněž s nejistotami ve vývoji požadavků na sledovaný systém. Simulační modelování tedy probíhá variantně pro různé kombinace klimatických a socio-ekonomických scénářů. Příklady hodnocení očekávané účinnosti vybraných adaptačních opatření s využitím scénářů klimatické změny jsou uvedeny v kapitole 5.

4.2.3 Hodnocení citlivosti adaptačního opatření vůči nejistotám

Obecně platí pravidlo přednostně provádět taková opatření, která jsou užitečná již v současnosti a která přinášejí užitek i v jiných oblastech, než pro jaké jsou primárně plánována (jedná se o tzv. win-win opatření). Příkladem win-win opatření je rekonstrukce vodárenské infrastruktury pro omezení ztrát na distribuční síti nebo uplatňování systémů lokálního odvodňování srážkových vod v urbanizovaných oblastech. Vysokou prioritu mají taková opatření, jejichž realizace nebudeme litovat ani v případě, že se očekávané dopady klimatické změny neuskuteční (tzv. no-regret opatření). Při výběru opatření pro snížení prioritních rizik spojených s přímými i nepřímými dopady klimatické změny je třeba preferovat takové varianty řešení, které budou buď dostatečně



Obr. 4.1 Schéma simulačního modelování vodohospodářského systému pro zjištění výhledové zranitelnosti jednotlivých prvků a pro odvození očekávané účinnosti adaptačního opatření

robustní vůči širší škále možných změn, nebo budou dostatečně flexibilní, aby bylo možné je upravit podle požadavků souvisejících s probíhajícími změnami.

4.2.4 Zajištění souladu opatření s platnou legislativou, se strategickými dokumenty a územním plánováním

Navrhovaná adaptační opatření musí být v souladu s platnou legislativou, měla by být v souladu s národní a mezinárodní adaptační strategií, pokud taková strategie pro zájmovou oblast existuje, nebo jinými koncepčními dokumenty příslušných resortů. Proces navrhování adaptačních opatření vyžaduje vytváření partnerské spolupráce napříč sektory. Příprava adaptačních opatření by měla být konzultována na různých úrovních vedení organizace a rovněž mezi představiteli významných podniků, obcí, občanských sdružení aj., jež by mohly být pozitivně nebo negativně ovlivněny vedlejšími dopady realizovaného opatření. Taková diskuse umožňuje i získávání informací o adaptačních opatřeních uvažovaných v ostatních hospodářských sektorech. Příprava adaptačních opatření musí rovněž respektovat možnosti dané územním plánováním.

Pozorované dopady klimatické změny by se neměly stát všeobecně přijímaným argumentem pro snižování cílů ochrany vod navržených pro jednotlivé vodní útvary v souladu s Rámcovou smě-

nicí pro vodní politiku (respektive § 23a, body 1 a 2 vodního zákona). Výjimka z dosažení požadovaného cíle (prodloužení lhůty pro dosažení cíle nebo návrh méně přísného cíle) pro vodní útvar je odůvodnitelná pouze v takových případech, které jsou popsány v § 23a v bodech 5 až 9 vodního zákona, kdy se střetnou průkazné dopady klimatické změny s nedostatkem technicky proveditelných a ekonomicky přiměřených opatření šetrných k životnímu prostředí. Pro realizaci opatření, která mění fyzikální poměry na útvarech povrchových vod (nové nádrže, jezy aj.) nebo mění hladiny na útvarech podzemních vod, musí být splněny podmínky dané v § 23a v bodě 8 vodního zákona (jsou učiněny všechny schůdné kroky k omezení nepříznivých vlivů na stav vodního útvaru, důvody těchto změn nebo úprav jsou výslovně uvedeny a vysvětleny v plánu povodí podle § 24 a dané cíle se každých šest let přezkoumávají, důvody těchto změn nebo úprav vyplývají z nadřazeného veřejného zájmu nebo pokud jsou přínosy pro životní prostředí a společnost při dosahování cílů podle odstavce 1 převáženy přínosy nových změn pro lidské zdraví, udržení ochrany obyvatel nebo udržitelný rozvoj, prospěšné cíle, které z těchto změn nebo úprav vodního útvaru vyplývají, nelze z důvodů technické neproveditelnosti nebo pro neúměrné náklady dosáhnout jinými prostředky, jež by byly z hlediska životního prostředí významně lepší). Proto je třeba nejprve ověřit možnosti jiných opatření pro eliminaci daného rizika, například přehodnotit a optimalizovat funkci existujících hydrotechnických staveb tak, aby lépe přispívaly k adaptaci, popř. navrhnout nápravná opatření zmírňující nepříznivý efekt přijímaných opatření.

4.3 Monitoring účinnosti zavedených adaptačních opatření

Adaptační strategie musí zůstat relevantní s měnícími se přírodními podmínkami a měnícími se požadavky. Proto je třeba, aby adaptační strategie měla dynamický charakter. Pro zajištění zpětné vazby se provádí monitorování účinnosti opatření a jejich pravidelná revize (ECE, 2009). Revize adaptační strategie by měla následovat, především pokud došlo ke změně specifických cílů, které vyplynuly z prioritních rizik, v případě změny časového horizontu nebo harmonogramu implementace strategie, v případě nových poznatků o očekávaných dopadech klimatické změny nebo pokud výsledky monitorovaných kritérií ukazují na nízkou efektivitu zaváděných opatření (Johnstone et al., 2009).

5 Vybraná adaptační opatření ve vodním hospodářství

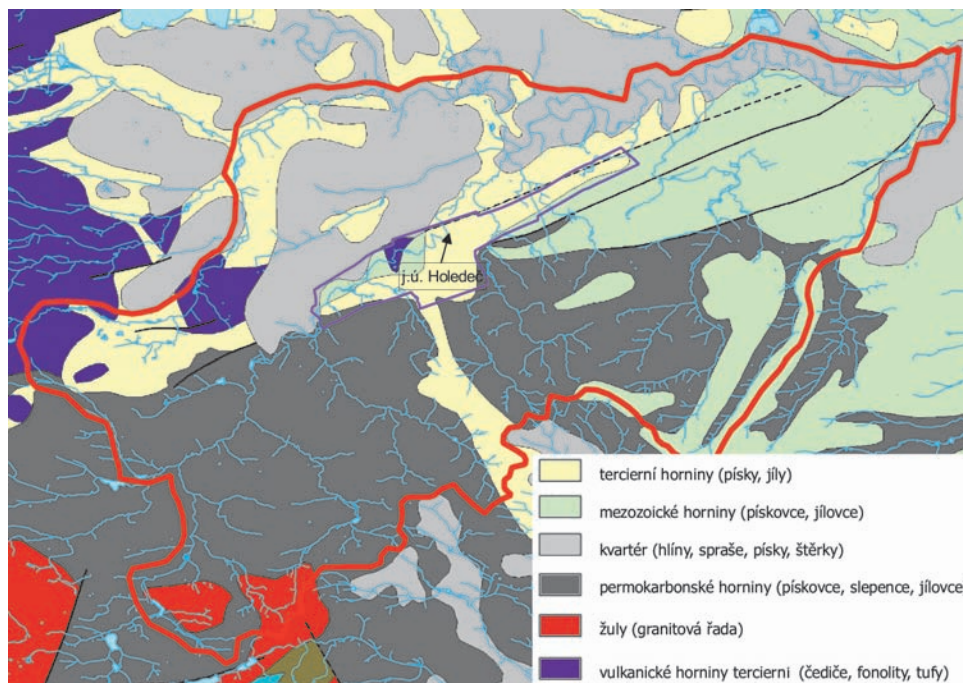
Kapitola je věnovaná popisu adaptačních opatření, která byla navržena v pilotních povodích. K uvedeným opatřením je provedeno posouzení jejich očekávané účinnosti. Jedná se o opatření preventivní, která zahrnují opatření organizačního charakteru nebo opatření pro zvyšování adaptační kapacity, a dále o opatření pro zvyšování odolnosti sledovaného systému, která mají většinou strukturální charakter. V pilotních povodích nebyla navrhována opatření v ploše povodí typu změny využití území. Této problematice se věnoval Kašpárek v pilotním povodí Rakovnického potoka (Kašpárek et al., 2011). Závěry studie potvrdily, že taková opatření mají význam především pro snižování dopadů přívalových povodní na malých povodích, s ohledem na reálný plošný rozsah jejich uplatnění nemají na hydrologickou bilanci (především na vývoj zásoby podzemní vody) zaznamenanatelný vliv.

5.1 Preventivní opatření

5.1.1 Přehodnocení využitelných zásob podzemní vody

Přehodnocení využitelných zásob podzemních vod představuje jeden z prvních kroků v okamžiku, kdy je identifikován napjatý bilanční stav nebo dochází k nepříznivým dopadům realizovaného jímání na množství povrchových vod a na životní prostředí. Přehodnocení vydatnosti zásob podzemní vody je vhodné navrhovat pro hydrogeologické rajony, které jsou využívány pro odběr podzemní vody a kde v současnosti nebo výhledově hrozí narušení dlouhodobého stavu zásob podzemní vody příliš vysokým odběrem. Pomocí simulačního modelování proudění podzemní vody je možné vyhodnotit dopady klimatické změny na využitelné množství podzemních vod a odvodit maximální míru dlouhodobě udržitelného užívání vodních zdrojů. Výsledek přehodnocení využitelných zásob podzemní vody představuje důležitý podklad pro diskusi mezi odběratelem, vodoprávním úřadem a správcem povodí při rozhodování o dalším osudu povoleného nakládání s vodami především v těch případech, kdy je ohroženo splnění cílů ochrany vod definovaných v plánech povodí, a při rozhodování o přijímání dalších opatření.

Přehodnocení využitelných zásob podzemní vody bylo realizováno v pilotním povodí Blšanky pro hydrogeologický rajon Holedeč, který je již od 30. let minulého století vodárensky využíván



Obr. 5.1 Geologická mapa modelového území rajonu Holecdeč, fialově označeny hranice hydrogeologického rajonu, červeně hranice modelového území

jímáním pro úpravnu vody v Holecdeči. Z výsledků vodohospodářské bilance vychází rajon jako bilančně pasivní. Měřením průtoků v podélném profilu toku v dolním úseku Blšanky bylo potvrzeno, že v přílehlém úseku toku mezi Měcholupy a Stránkami dochází v různé míře ke ztrátě vodnosti toku. Vzhledem ke skutečnosti, že provozovatel jímání Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., uvažuje o rekonstrukci jímacího území a následném navýšení odběrů, a s přihlédnutím k problémům s nedostatečným množstvím povrchových vod v oblasti bylo navrženo provést podrobné hydraulické a hydrologické zhodnocení hydrogeologického rajonu a jímacího území. Cílem hodnocení rajonu Holecdeč bylo posouzení celkové bilance podzemních vod na území rajonu, analýza úrovně hladiny podzemní vody a směrů proudění, stanovení maximálního dlouhodobě udržitelného odběru, stanovení podílu povrchové vody infiltrované z Blšanky na celkovém jímání množství a posouzení dopadů klimatické změny na možnosti jímání podzemních vod. Podrobně výsledky hodnocení popsal ve své zprávě Uhlík (2012).

Model proudění podzemní vody v oblasti hydrogeologického rajonu Holecdeč

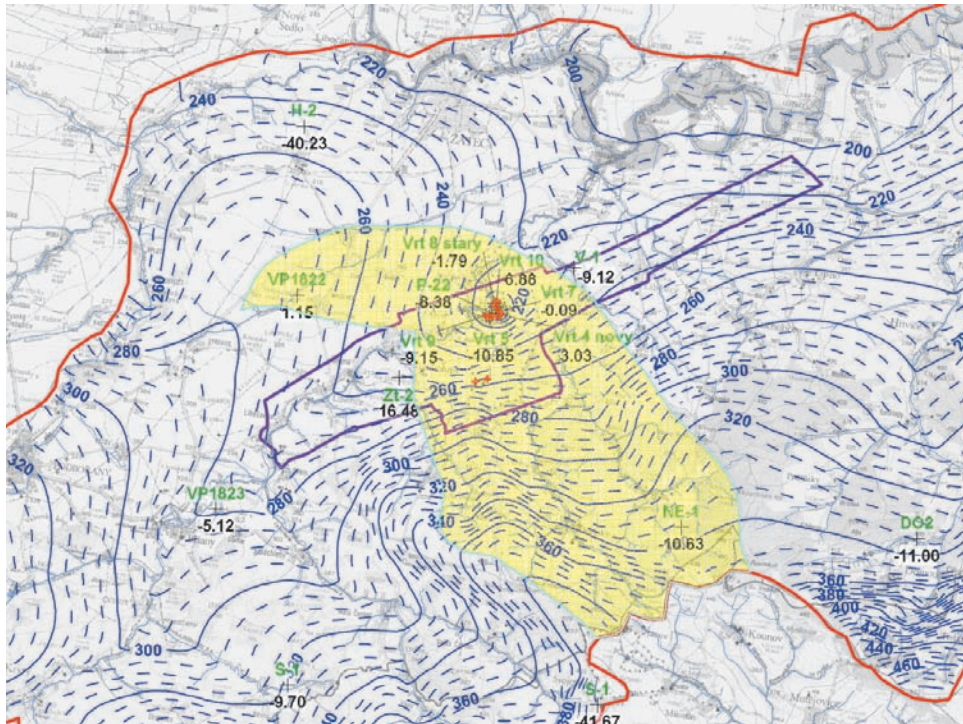
Pro řešení zadání byl sestaven matematický model proudění podzemní vody v programu MODFLOW 2000, pomocí kterého byly realizovány stacionární simulace popisující stav bez odběrů podzemní vody, stav se stávající hodnotou odběru, stav zachycující maximální dlouhodobý odběr za stávajících podmínek a dále dvě simulace uvažující vliv klimatické změny v podobě snížení dotace zásob podzemní vody ze srážek o 15 a 25 %. Uvažovaná míra snížení dotace podzemních vod odpovídá přibližně mediánu změny dotace podzemních vod vyhodnocené na základě porovnání výsledků modelování hydrologické bilance pro kontrolní období 1961–1990 a s využitím projekcí 15 klimatických modelů pro výhledové období 2010–2039 a pro období 2040–2069 (projekce byly zpracovány v rámci řešení projektu popsaného v práci Pretela et al., 2012).

Modelové území bylo navrženo tak, aby nebylo nutné simulovat přítok přes hranici modelového území – hranice modelu jsou voleny v místech předpokládaných proudnic a rozvodnic. Zdrojem vody v modelu je dotace zásob podzemní vody ze srážkové infiltrace, odtok podzemní vody je realizován drenáží do říční sítě a drenáží do jímacích objektů vodárny Holedeč. Velikost základního odtoku z povodí Blšanky byla odhadnuta na základě klouzavých průměrů měsíčních minim průtoků při uvážení pěti, deseti nebo patnáctiletého období a činí přibližně $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$. K hodnotě byl přičten odběr 37 l/s z jímacího území, o který je základní odtok ochuzen. Při ploše povodí k vodoměrné stanici Holedeč $374,8 \text{ km}^2$ vychází velikost specifického základního odtoku $1,06 \text{ l/s/km}^2$. Výsledek je v dobré shodě s archivním údajem z roku 1958, který rovněž uvádí odhad specifického základního odtoku na úrovni 1 l/s/km^2 (Vacek, 1958).

Hydrogeologické poměry v oblasti znázorňuje mapa na obrázku 5.1. Terén v oblasti jímacího území Holedeč tvoří sedimenty kvartéru, terciéru a křídly. Kvartérní sedimenty zastupují spraše a hlinitopísčité nivní sedimenty. Neogenní sedimenty jsou zastoupeny polohami jílu, písků, štěrků, uhlí a jílovitého uhlí. Neogenní vulkanity jsou zastoupeny výlevy bazanitu. Sedimenty křídly jsou zastoupeny ve formě písčitých slínovců až spongilitických jílovců (místy opuky), na bázi se vyskytují konkrece vápenců. Veškeré výchozy křídlových sedimentů v oblasti hydrogeologického rajonu 4550 jsou stratigraficky zařazeny k turonu. Zvýšená propustnost je dána především intenzivním rozpukáním v důsledku tektonických pohybů. Cenoman je na území hydrogeologického rajonu popsán pouze ve dvou vrtech (V 4, Holedeč; zastoupeny jílovce) a V-1 (Kluček; zastoupen pískovec). Svrchní partie permských sedimentů (krytých výše popsanými jednotkami) tvoří nejčastěji jílovce, pískovec, prachovce. Otevřené úseky jímaných vrtů postihují především terciér a částečně křídlo, u některých vrtů je jímání realizováno ze sedimentů permu.

Schopnost horninového prostředí propouštět podzemní vodu je v modelu reprezentována pomocí zadaných hodnot součinitele hydraulické vodivosti. Vstupní údaje modelu byly převzaty z dostupných informací vyhodnocených přítokových zkoušek do vrtů uvedených především v pořízené databázi ČGS – Geofondu. Plošná interpretace bodových hodnot součinitele hydraulické vodivosti v prostoru modelu byla zpracována prostřednictvím zón se zadanou shodnou hodnotou hydraulického parametru. V rámci kalibrace modelového řešení došlo k úpravám hodnot koeficientů hydraulické vodivosti pro jednotlivé zóny tak, aby byla docílena přiměřená shoda pozorovaných a měřených hladin podzemní vody.

Ve vertikálním směru je prostor modelového řešení rozdělen do šesti modelových vrstev. Konstrukce báze první modelové vrstvy byla získána proložením roviny v úrovni říční sítě a snížením této roviny o 10 m . Báze modelu byla konstruována tak, aby v oblastech výskytu permu procházela $50\text{--}100 \text{ m}$ pod stropem této stratigrafické jednotky. Báze jednotlivých mezilehlých modelových vrstev byly získány rovnoměrným rozdělením prostoru mezi bází první modelové vrstvy a mezi bází modelu. V první hydrogeologické jednotce (zastoupeny sedimenty kvartéru a sedimenty v zóně připovrchového rozpojení) byly zadány horizontální hydraulické vodivosti v rozmezí $1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Vertikální vodivosti byly až o jeden řád nižší. Pomocí snížené vertikální propustnosti oproti propustnosti horizontální je simulováno střídání propustných a málo propustných poloh v sedimentech kvartéru i terciéru. Ve druhé hydrogeologické jednotce (zastoupeny sedimenty terciéru) byly zadány hydraulické vodivosti v rozmezí $9 \cdot 10^{-6}$ až $1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Vertikální vodivosti byly sníženy až o dva řády. Ve třetí hydrogeologické jednotce (zastoupeny sedimenty křídly) byly zadány hydraulické vodivosti v rozmezí $4 \cdot 10^{-6}$ až $1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Vertikální vodivosti byly



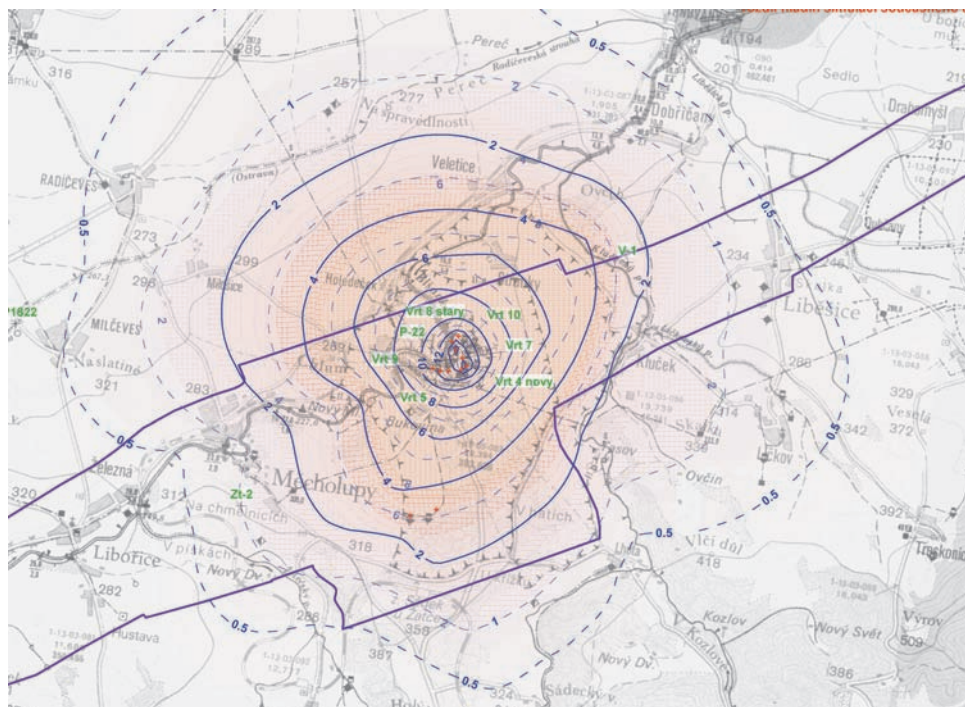
Obr. 5.2 Izolinie hladiny podzemní vody v modelovém území rajonu Holecč s vyznačením oblasti stoku podzemní vody k jímacímu území, stav při čerpání na úrovni 33 l/s

až sníženy o jeden řád. Ve čtvrté hydrogeologické jednotce byly zadány hydraulické vodivosti v rozmezí $2 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Vertikální vodivosti byly sníženy až o dva řády.

Vyhodnocení výsledků simulací

Ze simulace bez realizovaných odběrů vyplývá, že v oblasti dolního toku Blšanky a v oblasti přilehlého úseku Ohře se vyskytuje regionální drenážní báze zájmového území. Dochází zde k odvodnění mělkého oběhu podzemních vod kvartérní nivy, ale i hlubšího oběhu vázaného na sedimenty terciéru, křídly a permu. Za neovlivněných poměrů proudění podzemní vody by byl tok Blšanky v blízkosti jímacího území příronový. Hladina podzemní vody v místě jímacího území by byla nad úrovní hladiny toku. Směr proudění podzemí vody v celém modelovém území by byl přibližně konformní s terénem.

Na obrázku 5.2 jsou vykresleny izolinie modelových hladin ze simulace s uvážením současných odběrů podzemní vody. V oblasti jímacího území Holecč odběr o velikosti 32,85 l/s (odběr realizovaný v září 2012) vytváří uzavřenou depresi hladiny podzemní vody. Ta je zakleslá pode dno Blšanky přibližně v úseku mezi staničením ř. km 8–6. Modelem jsou tak ověřeny hydraulické podmínky pro infiltraci povrchové vody z toku do horninového prostředí. Existující odběr vytváří oproti neovlivněnému stavu hladin zaklesnutí hladiny podzemní vody v místě jímacích vrtů o více než 20 m. Průběh modelových izolinií potvrzuje obnovení drenážní funkce Blšanky přibližně od obce Stránky, což se prokázalo rovněž z výsledků měření průtoků v podélném profilu toku. Přírodní zdroje vypočtené pro plochu hydrogeologického rajonu Holecč ($1,06 \cdot 27,8 = 29,5$ l/s) nepostačují k pokrytí současného odběru a z obrázku 5.2 je patrné, že oblast stoku k jímacímu území překračuje hranice rajonu. Způsob vymezení hydrogeologického rajonu 4550 – Holecč tedy ne-



Obr. 5.3 Rozdíl hladin simulovaných při odběru na úrovni 32,85 l/s (stávající stav) a při odběru na úrovni 46 l/s (maximální možný odběr), červené stínování znázorňuje změnu úrovně hladin

splňuje podmínku bilančně uzavřené oblasti. Tuto skutečnost je třeba vzít v úvahu při stanovování cíle ochrany vod podle vodního zákona pro útvar podzemních vod Holedeč.

Dlouhodobý maximální odběr v jímacím území byl stanoven z výsledků simulací realizovaných s uvážením postupného navyšování odběru podzemní vody v současných exploatovaných vrtech. Odběr vyšší než 1,4násobek současného čerpaného množství (max. odběr 45,99 l/s) by již vedl k výrazným poklesům hladiny podzemní vody a k osušení simulovaných částí jímacích vrtů s výsledným poklesem čerpaného množství oproti množství do modelu zadanému. Přestože je maximální odebírané množství vymezeno zčásti numerickou nestabilitou modelu, je možné pokládat vypočtenou hodnotu blízkou 50 l/s za platný limit dlouhodobě udržitelné vydatnosti jímané struktury. Výsledek dobře koresponduje s hodnotou udávanou Ing. J. Kněžkem, který maximální dlouhodobě udržitelný odběr odhadl na 65 l/s (Kněžek, 1977). Rozdíl 15 l/s odpovídá odhadované míře infiltrace povrchových vod z Blšanky do depresního kužele jímacího území, která není v modelu zohledněna. Při maximálním odběru ze struktury na úrovni 46 l/s dochází ke snížení ustálené hladiny podzemní vody pod úroveň 190 m n. m. v oblasti jímacího území. Mapa na obrázku 5.3 zachycuje, o kolik metrů by se zvětšilo současné snížení hladiny podzemní vody v oblasti kolem jímacího území. Došlo by ke zvětšení stávajícího depresního kužele a prodloužil by se úsek toku, kde je hladina podzemní vody pod úrovní koryta toku.

Na mapách na obrázku 5.4 jsou vykresleny izolinie snížení hladiny podzemní vody způsobeného vlivem očekávaného úbytku dotace zásob podzemních vod ze srážkové infiltrace o 15 a 25 %. Výsledky simulací zahrnují současný odběr v Holedeči o velikosti 32,85 l/s. Z výsledků je patrné, že pokles infiltrace ovlivní úroveň hladiny podzemní vody především v oblasti rozvodnic. Poklesy

hladiny v oblasti drenáže jsou nižší, protože hladina je více definována drenážní úrovní říční sítě. Při poklesu dotace zásob podzemních vod o 15 % vychází maximální poklesy hladiny v oblasti rozvodnic 4–6 m. Při poklesu infiltrace o 25 % se maximální poklesy hladiny v oblasti rozvodnic zvětší na 6–8 m. V samotném jímacím území by analyzované snížení srážkové dotace vyvolalo poklesy 1 m, respektive 2 m.

Vzhledem k hydraulicky výhodné poloze jímacího území v oblasti regionální drenážní báze podzemních vod by tedy pravděpodobně bylo možné stávající odběr zachovat i nadále. S výhledem do budoucnosti je však třeba počítat s možnými problémy s poklesem hladiny podzemní vody v oblasti rozvodnic. Dopady klimatické změny jsou nejvíce ohroženy obce Čeradice, Radíčevec, Sýrovce, Citoliby, Líšany, Semkov, Lipno, Tuchořice, Třeskonice, Želeč a Deštnice. Zde by mohlo dojít k ohrožení využitelnosti lokálních zdrojů podzemní vody.

5.1.2 Operativní řízení nádrží

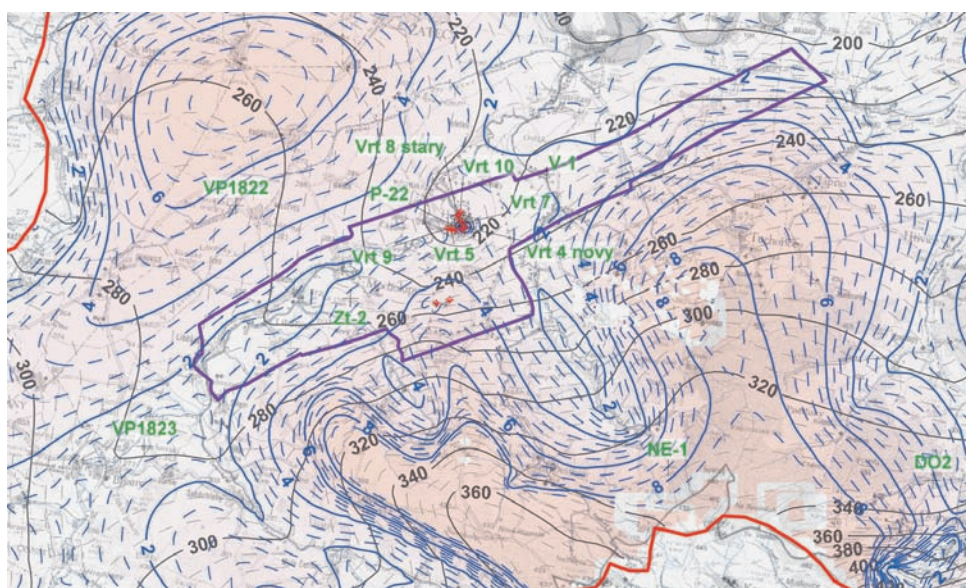
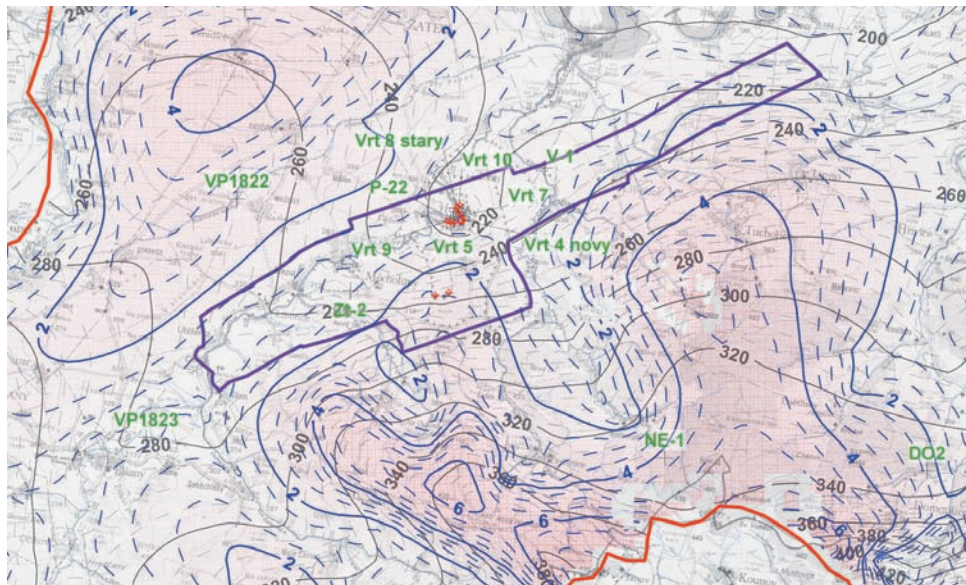
Operativní řízení nádrží představuje pohotové, účinné a cílevědomé působení (ovládání, regulaci) v kratších časových intervalech na daný objekt tak, aby optimálně plnil požadovanou funkci v různých provozních situacích. Motivací pro aktualizaci nebo vlastní návrh operativního řízení nádrže nebo jiného vodohospodářského objektu jsou změny v hydrologických, bilančních, ekonomických i technických podkladech nebo nové environmentální požadavky, se kterými projekt nemohl počítat. Operativní řízení musí tedy vycházet z nově nastavených priorit účelu daného objektu, přihlížet k aktuálnímu způsobu zapojení díla do vodohospodářské soustavy, k aktuálním možnostem využití předpovědní služby a stavu vodohospodářského dispečinku atd. (Patera et al., 2002).

Návrh operativního řízení nádrží získává v kontextu klimatické změny na významu, neboť představuje nástroj pro zajištění optimálního využití dostupných vodních zdrojů. Zároveň se jedná o opatření, které je možné podle potřeby aktualizovat a které tak umožňuje pružně reagovat na měnící se klimatické a hydrologické podmínky.

Operativní řízení odtoku z nádrže v závislosti na disponibilním zásobním objemu bylo navrženo pro nádrž Vrchlice na stejnojmenném toku a pro nádrž Žlutice na Střele. Cílem řešení bylo zajistit rovnováhu mezi pokud možno maximálním využitím vodárenského zdroje a minimálními dopady hospodaření nádrže na ekosystémy vázané na úsek toku pod nádrží. Simulační modelování bylo realizováno v rámci řešení projektu „Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území České republiky“ (Kos, 2011).

Dále jsou z této práce uvedeny výsledky zjednodušeného vodohospodářského řešení nádrže Žlutice, které jsou zajímavé především v kontextu nedostatku vodních zdrojů v sousedním povodí Blšanky. Voda odebíraná z nádrže Žlutice je upravována na vodu pitnou v úpravně vody Žlutice. Provozovatelem úpravně jsou Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s. Ze skupinového vodovodu Žlutice–Toužim je voda předávána společnosti Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., a z části se podílí na zásobování města Žatec.

Vodní dílo Žlutice bylo realizováno v letech 1965–1968 a jeho primárním účelem je zajištění odběru vody pro úpravnu vody Žlutice v souladu s povoleným nakládáním s vodami v maximální hodnotě 200 l/s a průměrné hodnotě 150 l/s. Vodní dílo dále zajišťuje minimální zůstatkový průtok



Obr. 5.4 Modelové hladiny a jejich snížení při odběru 32,85 l/s při poklesu dotace podzemních vod o 15 % pro výhledový stav v období 2010–2039 (nahore) a při poklesu dotace podzemních vod o 25 % pro výhledový stav v období 2040–2069 (dole)

v profilu pod nádrží na úrovni 0,220 m³/s (Q_{330d}), využití hydroenergetického potenciálu v malé vodní elektrárně (instalovaný maximální výkon 219 kW) a částečnou ochranu území pod vodním dílem před škodlivými účinky povodní. K dalším funkcím nádrže patří manipulace na nádrži ke zlepšení hygienických podmínek a kvality vody v toku Střela a nalepšení průtoků pro vodácké sporty. Rozdělení prostoru nádrže uvádí tabulka 5.1.

Tab. 5.1 Rozdělení prostoru nádrže Žlutice

Prostor	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [mil. m ³]	Plocha [ha]
stálé nadržení	ode dna–493,6	1,038	30,6
zásobní prostor	493,6–507,05	10,462	140,7
ochranný ovladatelný prostor	507,05–507,95	1,302	150,0
celkový ovladatelný prostor	ode dna–507,95	12,802	150,0
celkový neovladatelný prostor	507,95–509,72	2,805	167,4
celá nádrž	ode dna–509,72	15,607	167,4

Podle manipulačního řádu je nádrž schopna zajistit celkové nalepšení 0,535 m³/s se zabezpečeností podle trvání 98,5 %. Z této hodnoty je alokováno 200 l/s na povolený maximální odběr pro úpravnu vody Žlutice a 220 l/s na zajištění minimálního zůstatkového průtoku. Průměrný odběr realizovaný z nádrže v letech 1991–1995 činil 106 l/s a v období 2000–2008 poklesl na 89 l/s. Můžeme tedy konstatovat, že už při stávajícím nastavení manipulačního řádu existuje jistá rezerva v hodnotě celkového možného nalepšení z nádrže.

Manipulace v zásobním prostoru nádrže řídí vodohospodářský dispečink Povodí Vltavy, s.p., s přihlédnutím k aktuální hydrologické situaci a dispečerským grafům, které byly navrženy na základě dlouhodobých hydrologických poměrů. V závislosti na úrovni hladiny v nádrži je podle těchto dispečerských grafů možno počítat s nalepšením 0,535 m³/s nebo při omezeném režimu s nalepšením 0,410 m³/s (220 l/s minimální zůstatkový průtok a 190 l/s odběr pro vodárenské účely). Pokud se hladina vody v nádrži blíží ke kótě stálého nadržení, je situace řešena v součinnosti s vodoprávním úřadem. Obvykle se v takových situacích snižuje celkové nalepšení z nádrže (odběry a minimální zůstatkový průtok) tak, aby hladina dále neklesala. Primárně dochází ke snížení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku na hodnotu 130 l/s (Q_{355d}).

Pro manipulace v zásobním prostoru bylo navrženo zavést úroveň hladiny tzv. operativního objemu. Při podkročení této kóty pak operativně dochází k úpravě hodnoty minimálního zůstatkového průtoku. Zjednodušené vodohospodářské řešení bylo zpracováno variantně vždy pro tři úrovně operativního objemu v každé variantě. Tabulka 5.2 uvádí hodnoty minimálního zůstatkového průtoku uvažovaného pro jednotlivé varianty v závislosti na aktuálním zásobním objemu v nádrži.

Pro variantu 1, 2 a 3 platí, že pokud aktuální objem vody v zásobním prostoru je větší než úroveň odpovídající operativnímu zásobnímu objemu, hodnota minimálního zůstatkového průtoku je rovna hodnotě MZP1, pokud je zásobní objem v nádrži menší než operativní objem, pak je hodnota minimálního zůstatkového průtoku snížena na hodnotu MZP2. Pro variantu 4, 5 a 6 platí, že pokud je zásobní objem v nádrži vyšší než hodnota operativního zásobního objemu, je udržována hodnota minimálního zůstatkového průtoků MZP1, pokud je zásobní objem nižší, pak se vypouští množství vody přitékající do nádrže za podmínky, že je přítok do nádrže vyšší než hodnota MZP2, jinak se vypouští průtok odpovídající MZP2.

Pro porovnání výsledků jednotlivých variant je dále uváděna hodnota, která odpovídá odběru realizovatelnému nad rámec minimálního zůstatkového průtoku. Celková hodnota nalepšení je pak dynamicky proměnná a např. pro variantu 1 při operativním objemu na úrovni 2 mil. m³ se mění od hodnoty $Q_{n1}=0,180+0,304=0,484$ m³/s do hodnoty $Q_{n2}=0,220+0,304=0,524$ m³/s. Vodohospodářské řešení bylo provedeno pro tři časové řady průtoků – pro období 1941–1960 v měsíčním

Tab. 5.2 Navržené hodnoty minimálního zůstatkového průtoku pro jednotlivé varianty

Varianta	MZP1 [m ³ /s]	MZP2 [m ³ /s]
varianta 1 a 4	0,220	0,180 (Q _{330d} +Q _{355d})/2
varianta 2 a 5	0,220	0,130 (Q _{355d})
varianta 3 a 6	0,220	0,070 (Q _{364d})

Tab. 5.3 Odběr v m³/s realizovatelný nad rámec minimálního zůstatkového průtoku při různých hodnotách operativního objemu

Varianta/V _{oper.}	2 mil. m ³	4 mil. m ³	6 mil. m ³
varianta 1	0,304	0,321	0,326
varianta 2	0,320	0,354	0,363
varianta 3	0,348	0,391	0,413
varianta 4	0,295	0,301	0,305

kroku (odvozené ze stanice Plasy), 1953–1990 v měsíčním kroku a 1960–2000 v denním kroku (obě odvozené ze stanice Čichořice). Z porovnání výsledků vyplynulo, že kritické období sucha se vyskytovalo v řadě 1941–1960, konkrétně v letech 1947–1951. Dále jsou tedy uvedeny výsledky získané na základě této řady. Výsledná hodnota realizovatelného odběru byla získána pro bezporuchový provoz (se zabezpečeností podle doby trvání 100 %). Řešení bylo provedeno i pro stávající nastavení manipulačního řádu, aby bylo možné výsledky porovnat. Ze zjednodušeného vodohospodářského řešení na základě řady průtoků z let 1941–1960 vychází hodnota odběru realizovatelného nad rámec minimálního zůstatkového průtoku 0,292 m³/s (celkové nalepšení 0,512 m³/s).

Z výsledků zjednodušeného vodohospodářského řešení vyplynulo, že při manipulaci navržené pro varianty 4, 5 a 6 téměř nezáleží na hodnotě MZP2 ani na nastavení velikosti operativního objemu, neboť se většinou v kritickém období vypouští množství odpovídající přítoku do nádrže. Výsledný odhad realizovatelného odběru v podstatě odpovídá současnému nastavení manipulačního řádu ve všech třech variantách (rozdíly pro jednotlivé hodnoty operativního objemu jsou do 10 l/s). Srovnání výsledných hodnot realizovatelného odběru pro varianty 1 až 4 uvádí tabulka 5.3. Podíl doby simulace, kdy byla uvažována nižší hodnota minimálního zůstatkového průtoku, uvádí tabulka 5.4.

Přestože výše popsané řešení bylo realizováno s řadou zjednodušujících předpokladů (krátká řada průtoků použitých pro simulaci, nebyla řešena zabezpečenost odběru požadovaná normou ČSN 72 2405), lze jej využít jako podklad pro diskusi v okamžiku, kdy by bylo žádoucí navýšit současnou míru využití vodního zdroje, nebo v okamžiku, kdy by se dopady klimatické změny začaly nepříznivě projevovat na zabezpečenosti stávajících požadavků na odběry pro úpravnu

Tab. 5.4 Procento doby simulace, kdy nastalo snížení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku na hodnotu MZP2

Varianta/V _{oper.}	2 mil. m ³	4 mil. m ³	6 mil. m ³
varianta 1	3,8	13,3	18,3
varianta 2	3,3	15,0	21,7
varianta 3	7,9	17,1	24,2

vody Žlutice. Možné navýšení odběru oproti v současné době povolené hodnotě 200 l/s by např. pro variantu 2 s uvažovanou hodnotou operativního objemu 4 mil. m³ mohlo činit až 150 l/s.

Rezervní kapacita vodního zdroje by v současné době mohla být využita ve vodárenském systému společnosti Severočeské vodovody a kanalizace, a.s., (částečně se tak již děje, infrastrukturní propojení existuje) a nemuselo by tak dojít k plánovanému navyšování odběrů vody z jímacího území Holedeč v povodí Blšanky, kde je napjatá bilanční situace jak v podzemních, tak v povrchových vodách (viz kapitolu 5.1.1). Možné navýšení dotace vodárenského systému SVČK, a.s., by při stávajícím manipulačním řádu a odběrech na úrovni přibližně 90 l/s mohlo činit až 60 l/s. Byla by tak využita maximální provozní kapacita úpravny vody ve Žluticích.

Rezervní kapacita nádrže Žlutice by dále mohla být využita pro realizaci převodu vody do sousedního povodí Blšanky a dále do povodí Rakovnického potoka. V povodí Rakovnického potoka jsou již v současnosti pozorovány nepříznivé dopady klimatické změny na hydrologické poměry a nedostatek vodních zdrojů v okrese Rakovník vede k omezování ekonomického rozvoje v oblasti. Podrobně se hydrologickou situací a návrhem adaptačních opatření v povodí Rakovnického potoka zabýval Kašpárek et al. (2011).

5.1.3 Plán pro zajištění bezpečnosti pitné vody „Water Safety Plans“

Jako vhodné adaptační opatření v oblasti výroby a distribuce pitné vody se jeví zavádění procesů řízení kvality pitné vody systémem od povodí ke spotřebiteli, které je podrobně popsáno v dokumentu Plán pro zajištění bezpečnosti pitné vody, který vydala Světová zdravotnická organizace v rámci svých doporučení pro kvalitu pitné vody. Do nedávné doby bylo uvažováno, že koncepty plánů pro zajištění bezpečnosti pitné vody budou součástí připravované novely směrnice 98/83/ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě. Cílem těchto plánů je zajistit bezpečnost distribuované vody pomocí řady preventivních opatření např. proti znečištění zdroje vody, pomocí průběžné kontroly procesů úpravy vody a opatření na prevenci sekundární kontaminace během akumulace a distribuce aj. Klimatická změna by mohla být uvážena jako jedno z možných nebezpečí působících především na vlastní vodní zdroj a rovněž na technologický proces úpravy a distribuce pitné vody. To by následně vedlo k přijímání vhodných opatření pro eliminaci jejích dopadů.

5.1.4 Doplnění monitoringu ve zranitelných oblastech

Jedním ze základních adaptačních opatření, které má preventivní charakter, je doplnění monitoringu hydrologických nebo klimatických poměrů v oblastech, které jsou už v současnosti zranitelné vůči očekávaným dopadům klimatické změny. Pro pochopení příčin nepříznivé hydrologické situace a pro spolehlivý návrh adaptačních opatření strukturálního charakteru v dílčích povodích je zpravidla stávající monitoring nedostatečný a je třeba zajistit zpřesnění hydrologických podkladů na základě krátkodobého pozorování v doplňkových profilech, popř. provést systematická účelová měření v soustavě vhodně zvolených profilů.

Opatření bylo uplatněno v pilotním povodí Blšanky. Byla realizována řada měření průtoků v podélném profilu toku pro ověření míry ztráty vody z toku infiltrací do vod podzemních v dolní části

povodí. Výsledek je důležitý pro pochopení možné souvislosti mezi odběrem podzemních vod v jímacím území Holedeč a pozorovanými problémy s nedostatkem povrchových vod. Z výsledků měření průtoků v závěrovém profilu ve Stránkách v období malých průtoků vyplynula nutnost upravit měrnou křivku měrného profilu. Ukázalo se, že původní přepočtení vedl k podhodnocení průtoků za nízkých vodních stavů. Dále bylo provedeno měření průtoků na přítocích Bšanky pro upřesnění výběru vhodné lokality pro případné umístění nové nádrže.

Doplňkový monitoring množství povrchových i podzemních vod mimo síť ČHMÚ nebo správce povodí byl zaveden na povodí Rakovnického potoka během řešení projektu s názvem Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulční schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt). Výsledky pozorování popsal Kašpárek et al. (2011). Především rozsáhlý monitoring vývoje hladiny podzemní vody a vydatnosti pramenů přispěl k lepšímu pochopení režimu podzemních vod. Byl identifikován nepříznivý vliv klimatické změny na velikost základního odtoku. Informace o stavu zásob podzemních vod jsou klíčové pro rozhodování vodoprávního úřadu o dalších povoleních o nakládání s vodami nebo při přijímání krátkodobých opatření v období nedostatku vodních zdrojů.

Obecně lze doporučit zavedení monitoringu v profilech hájených pro výhledovou akumulaci povrchových vod (MZe a MŽP, 2011), aby bylo možné spolehlivě posoudit možnosti nalepšení z nádrže, která by mohla být realizována v dané lokalitě.

5.2 Opatření pro zvyšování odolnosti systému

5.2.1 Umělá infiltrace

Jedná se o umělé převádění povrchové vody do vod podzemních. Hlavním účelem infiltrace je zlepšení jakosti povrchové vody přirozenými filtračními pochody v půdě a poté její využití pro vodárenské účely. Obecně je možné umělou infiltraci rozdělit do tří skupin – uměle vyvolanou břehovou infiltraci, umělou infiltraci zasakováním a periodickou umělou infiltraci.

Základní podmínky pro navrhování a realizaci umělé infiltrace (Pastuszek, 2011):

- identifikace vhodného hydrogeologického prostředí a místa pro vytváření podpovrchových akumulací prostřednictvím cenově efektivních technik umělé infiltrace,
- hydrogeologické podmínky
 - geometrická charakteristika kolektoru (především z hlediska hydrogeologické uzavřenosti),
 - hydraulické a hydrofyzikální parametry kolektorů,
 - hydraulické a hydrofyzikální parametry nesaturované zóny,
- dostatečný akumulční potenciál kolektorů,
- dostupnost vhodného zdroje vody pro infiltraci,
- přijatelná jakost zdroje vody uvažovaného pro infiltraci,



Obr. 5.5 Návrh umístění studňových řadů podél Orlice pro realizaci břehové infiltrace u Hradce Králové

- kontrola a hodnocení procesů kolmatace zasakovacích objektů a infiltračního kolektoru,
- možnosti zajištění kvalitativní ochrany infiltračního pole.

Uměle vyvolaná břehová infiltrace

Uměle vyvolaná břehová infiltrace je přímou metodou získání vodárenského zdroje. Z technologického hlediska je většinou tvořena studňovým řadem, který je umístěn nedaleko zdroje povrchové vody. Jímáním podzemní vody v blízkosti vodního toku dochází k podpoření přirozené břehové infiltrace ze zdroje povrchové vody. Je tak získávána směs vody podzemní a povrchové.

Opatření bylo navrženo v pilotním povodí Orlice pro posílení zabezpečení dodávky pitné vody z úpravny vody v Hradci Králové. Zdrojem surové vody pro úpravnu je tok Orlice. Problémem, který omezuje využitelnost Orlice jako zdroje surové vody pro úpravu na vodu pitnou, je značné množství mikroorganismů a rovněž vysoká teplota vody. Pro zajištění surové vody vyšší jakosti bylo navrženo realizovat odběr nikoliv přímo z toku, ale ze studňových řadů umístěných podél břehů Orlice v úseku nad Malšovickým jezem přibližně 4 km nad soutokem Orlice a Labe. V případě celoročního provozu vodního zdroje by mohl být zároveň rovněž celoročně snížen odběr z hydrologicky napjatého povodí Dědiny. Mícháním vody z obou zdrojů by bylo možné dosáhnout optimální tvrdosti dodávané vody a předešlo by se problémům na distribuční síti způsobeným odlučováním inkrustace při krátkodobém provozu úpravny vody v Hradci Králové. Potenciálním problémem může být okolnost, že navrhované opatření se nachází v Evropsky významné lokalitě Natura 2000 „Labe a Orlice“. Návrh umístění studňových řadů znázorňuje obrázek 5.5, bližší specifikace je uvedena v tabulce 5.5. Možnost odběru podzemní vody podél obou břehů Orlice v nadjezí Malšovického jezu byla ověřena pomocí matematického modelu. Podrobně výsledky modelování popsali Baier a Uhlík (2011).

Tab. 5.5 Jímací řady podél toku Orlice

Označení	Místní název	Délka [m]	Počet studní
PBO-1	Na stoleté	300	8
PBO-2	Pod silnicí	300	8
LBO-1	Sýkorky	600	15

Modelování proudění podzemní vody při uplatnění břehové infiltrace v nivě Orlice

Modelové území bylo navrženo s ohledem na umístění hydrologických rozvodnic a vodních toků, které představují drenážní báze tak, aby veškeré zdroje podzemní vody v modelovém území byly generovány v ploše modelu. Hranice aktivního modelového území zahrnuje část Slezského předměstí a nivu řeky Orlice až po Malšovu Lhotu. Celková plocha modelového území je 65,5 km². Na většině zájmového území se vyskytují kvartérní sedimenty proměnlivé mocnosti. Nejmnocnější vrstva kvartérních sedimentů (písek, štěrk, hlína) je v blízkosti hlavních vodních toků (Labe, Orlice). V místě projektovaných jímacích řadů dosahuje kvartér mocností až 11,5 m. Báze kvartérních sedimentů v oblasti plánovaných jímacích řadů dosahuje průměrně úrovně 222 m n. m. Povrch dosahuje úrovně cca 232 m n. m. Mocnost kvartéru vyznívá směrem k hydrologickým rozvodnicím na terénních elevacích. V podloží kvartérních sedimentů se nacházejí horniny křídý tvořené vápnným jílovcem, prachovcem a slínovcem. Vyhodnocené koeficienty horizontální hydraulické vodivosti v celém modelovém území dosahují hodnot v řádech $n \cdot 10^{-3}$ m/s pro kvartérní sedimenty až $n \cdot 10^{-8}$ m/s pro horniny křídý vystupující k povrchu v místech terénních elevací a na okrajích zájmového území.

Za neovlivněných poměrů proudění podzemní vody je tok Labe a Orlice regionální drenážní bází – veškeré podzemní vody jsou drénovány do Labe, Orlice a jejich přítoků (resp. slepých ramen). Podzemní voda dominantně proudí v kvartérních sedimentech, popřípadě ve svrchních rozvětraných partiích sedimentů křídý. Přítok z podloží má na kvartérní vrstvu shodný účinek jako srážková infiltrace. Dotace kvartéru z podložních vrstev je v modelu simulována zadáním zvýšené srážkové infiltrace. Podzemní voda tvoří souvislou zvědeň s převážně volnou hladinou, která v relativně dobře propustných štěrcích komunikuje s hladinou v povrchových tocích. Hladina vody v Orlici je ovlivněná úrovní přelivné hrany Malšovického jezu. Nad jezovou zdrží je hladina vody udržována v úrovni 230,8 m n. m., v podjezí se hladina pohybuje kolem kóty 228,7 m n. m. Soutok Orlice s Labem leží v úrovni 227 m n. m. Na modelovém území se vyskytuje mnoho drenážních a melioračních systémů, starých náhonů a vodních ploch. Funkce těchto toků v hydrologickém a hydrogeologickém režimu je ve většině případů neznámá, což přispívá k nejistotám modelového řešení.

Pro realizované simulace byl použit matematický model proudění podzemní vody MODFLOW 2000, založený na metodě konečných diferencí. Pro kalibraci modelu bylo použito hladinové kritérium představující porovnání modelových a měřených hladin podzemní vody. Měřené hladiny podzemní vody byly získány z archivních dat geofondu. Měřená data tak pocházejí z různých časových období a nereprezentují ustálený stav proudění podzemní vody. V prostoru modelového území je podzemní voda doplňována infiltrací ze srážek a infiltrací z povrchových toků. Odhad hodnoty velikosti základního odtoku byl odvozen z hodnoty průtoku v Orlici s pravděpodobností překročení Q_{355d} v profilu ústí Orlice do Labe a činí 2,2 l/s/km². K odtoku podzemní vody dochází drenáží do povrchových toků a odběry podzemní vody z jímacích řadů (v prognózních simulacích).

Tab. 5.6 Varianty modelového řešení návrhu břehové infiltrace

Varianta	Typ simulace	Účel simulace	Hydr. vodivost [m/s]
1	stacionární kalibrace	současný stav při normálních hydrologických podmínkách	$2 \cdot 10^{-4}$
2a	stacionární prognóza	simulace po realizaci jímacích řadů zvýšená hydraulická vodivost	$1 \cdot 10^{-3}$
2b	stacionární prognóza	simulace po realizaci jímacích řadů	$2 \cdot 10^{-4}$
2c	stacionární prognóza	simulace po realizaci jímacích řadů snížená hydraulická vodivost	$4 \cdot 10^{-5}$

Vzhledem k nejistotě spojené s odhadem hydraulické vodivosti kvartérní zvodně bylo řešení realizováno variantně. Popis jednotlivých variant udává tabulka 5.6. Všechny uvedené varianty byly simulovány i pro podmínky odpovídající očekávaným dopadům klimatické změny se sníženou mírou dotace zásob podzemních vod o 15 %.

Vyhodnocení výsledků simulací

Modelové řešení proudění podzemní vody bylo kalibrováno při stacionární simulaci pro současné průměrné hydrologické podmínky. Nejlepší shody mezi pozorovanými a modelovanými hladinami podzemní vody bylo dosaženo pro průměrnou infiltraci ze srážek 143,5 l/s z celého modelovaného území a infiltraci z toků 0,6 l/s při uvážení hydraulické vodivosti kolektoru na úrovni $2 \cdot 10^{-4}$ m/s. Rozdíly mezi pozorovanými a modelovanými hladinami podzemní vody větší než 1 m byly zjištěny jen u několika objektů časově nekonzistentních. Vliv kolmatace břehů a dna byl v modelu zohledněn snížením koeficientu hydraulické vodivosti na hodnotu $1 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Poměry proudění a výšky hladiny podzemní vody v okolí navrhovaných studňových řadů byly kalibrovány tak, aby odpovídaly stavu zjištěnému terénní rekognoskací v době řešení. Hladina podzemní vody v oblasti studňového řadu nejbližší Malšovickému jezu na pravém břehu je zakleslá relativně těsně pod terénem, tvoří lokálně zamokřené plochy a tůně, které jsou předmětem ochrany. Hladina je zde v současnosti pravděpodobně výše než v době odvrtání některých vrtů. Pravděpodobně to je způsobeno změnou konstrukce jezu a v poslední době i kolmatací břehu Orlice, která částečně brání volné drenáži přitékající podzemní vody. Infiltrace z toku Orlice je na levém břehu omezena štětovou stěnou vedoucí cca 300 m proti proudu toku od Malšovického jezu. Na pravém břehu je ve stejné délce infiltrace omezena zpevněním břehů. V září 2011 byly v plochách přilehlých k toku hladiny podzemní vody v kolektoru a slepých ramenech výše než hladina vody v Orlici.

Odhad velikosti možného odběru podzemní vody v jednotlivých prognózních simulacích byl odvozen pro maximální hodnotu snížení hladiny podzemní vody na úroveň 227 m n. m., tedy přibližně 5 m pod terénem. Výsledný odhad velikosti odběru udávají tabulky 5.7 až 5.9. Tabulky uvádějí rovněž hodnoty stanovené pro hydrologické poměry ovlivněné klimatickou změnou s uvážením snížené míry infiltrace o 15 %. Platí, že s rostoucím parametrem hydraulické vodivosti roste celkové množství vody dostupné pro odběr a rovněž je vyšší podíl infiltrované vody z toku. Nejpravděpodobnější varianta, která pracuje s hodnotou hydraulické vodivosti kolektoru, jež byla odladěna při kalibraci (varianta 2b), udává celkové množství využitelné pro odběr 53 l/s. Přičemž podíl vody infiltrované z toku činí 78 %. Výsledek je v poměrně dobré shodě s odhadem vydatnosti štěrkopísků ve vybrané lokalitě, který byl realizován v šedesátých letech, kdy na základě

Tab. 5.7 Varianta 2a při stávajících poměrech a při snížené infiltraci vlivem klimatické změny (KZ), hydraulická vodivost kvartéru rovna $1 \cdot 10^{-3}$ m/s

Řad	Odběr z řadu [l/s]	Přítok z toku [l/s]	[%] z toku	Odběr s uvážením vlivu KZ [l/s]
PBO-1	30,0	24,9	83	30,4
PBO-2	17,1	11,3	66	16,6
LBO-1	52,1	43,3	83	51,3
celkem	99,2	79,5	80	98,3

Tab. 5.8 Varianta 2b při stávajících poměrech a při snížené infiltraci vlivem klimatické změny (KZ), hydraulická vodivost rovna $2 \cdot 10^{-4}$ m/s

Řad	Odběr z řadu [l/s]	Přítok z toku [l/s]	[%] z toku	Odběr s uvážením vlivu KZ [l/s]
PBO-1	15,2	11,0	73	15,5
PBO-2	10,6	6,5	61	10,2
LBO-1	27,3	24,0	88	26,7
celkem	53,0	41,5	78	52,4

čerpacích zkoušek a hydrologického pozorování na průzkumných vrtech byla vydatnost oblastí vyhodnocena na 65 l/s (Vrba 1962, v Dodatku k Hydrologické studii Orlické Štěrkopísky, RNDr. Jan Němeček, 1991).

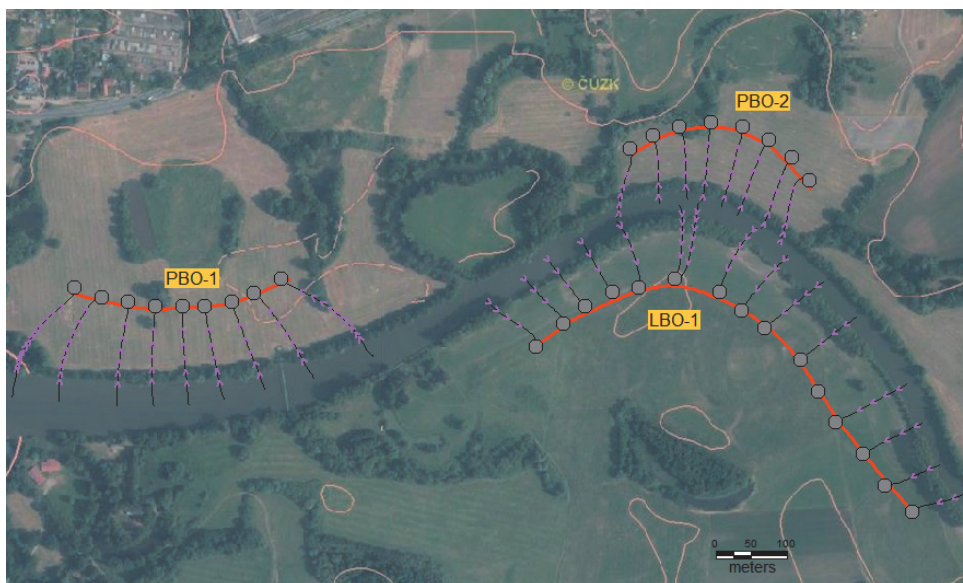
Doba dotoku infiltrované vody z toku do studňových řadů je znázorněna na obrázku 5.6. Průměrná vzdálenost jímacího řadu PBO-1 od břehů Orlice je 120 m a doba zdržení byla modelem odhadnuta na 70 dní. Vzdálenost jímacího řadu PBO-2 od břehu Orlice je 70–100 m a doba zdržení zde vychází 40–70 dní. Nejkratší doby zdržení vycházejí pro jímací řad LBO-1, který je navržen nejbližší toku Orlice. Doby zdržení se pohybují v rozmezí 30–60 dní.

Vlivem klimatické změny doprovázené snížením srážkové infiltrace o 15 % při zachování navržené hladiny ve studních by došlo k nevýraznému zmenšení odebíraného množství podzemní vody z jímacích řadů. U všech simulovaných variant nepřekračuje snížení odhadovaného množství více než 1 l/s. Snížení nátok infiltrované podzemní vody ze srážek k jímacím řadům kompenzuje zvýšení infiltrace z toku Orlice. Přímá infiltrace z Orlice poskytuje projektovanému infiltračnímu území značnou nezávislost na vývoji srážek v modelovém území. Došlo by však ke snížení hladiny podzemní vody podél rozvodnic modelového území v rozsahu 1–2 m.

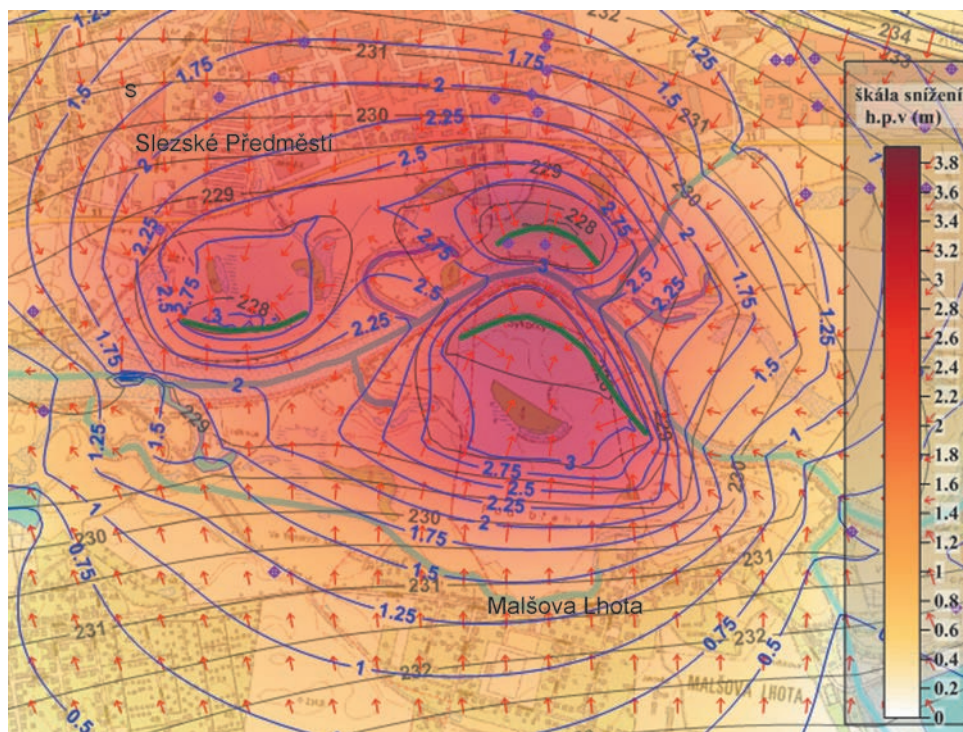
Na obrázcích 5.7 a 5.8 jsou znázorněny izolinie snížení hladiny podzemní vody oproti současnému stavu. Je z nich patrné, že na pravém břehu na okraji zástavby Slezského Předměstí by snížení činilo pro variantu 2a přibližně 2,5 m, pro variantu 2b 1,75 m a pro variantu 2c 0,3 m. Na levém břehu na okraji zástavby Mašovy Lhoty jsou velikosti snížení hladiny podle varianty 2a

Tab. 5.9 Varianta 2c při stávajících poměrech a při snížené infiltraci vlivem klimatické změny (KZ), hydraulická vodivost rovna $4 \cdot 10^{-5}$ m/s

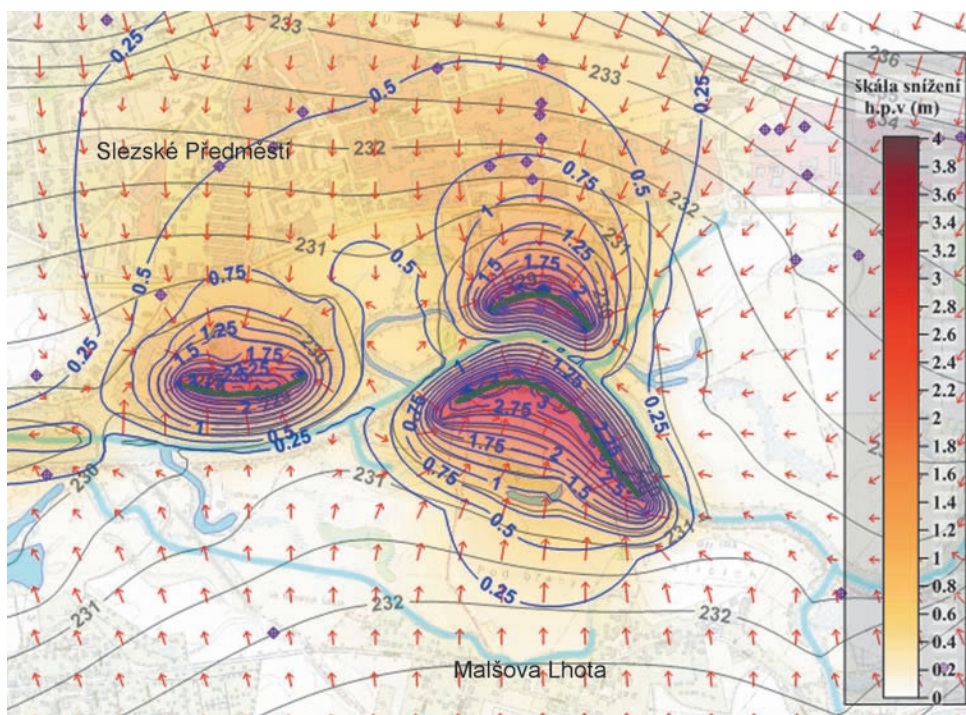
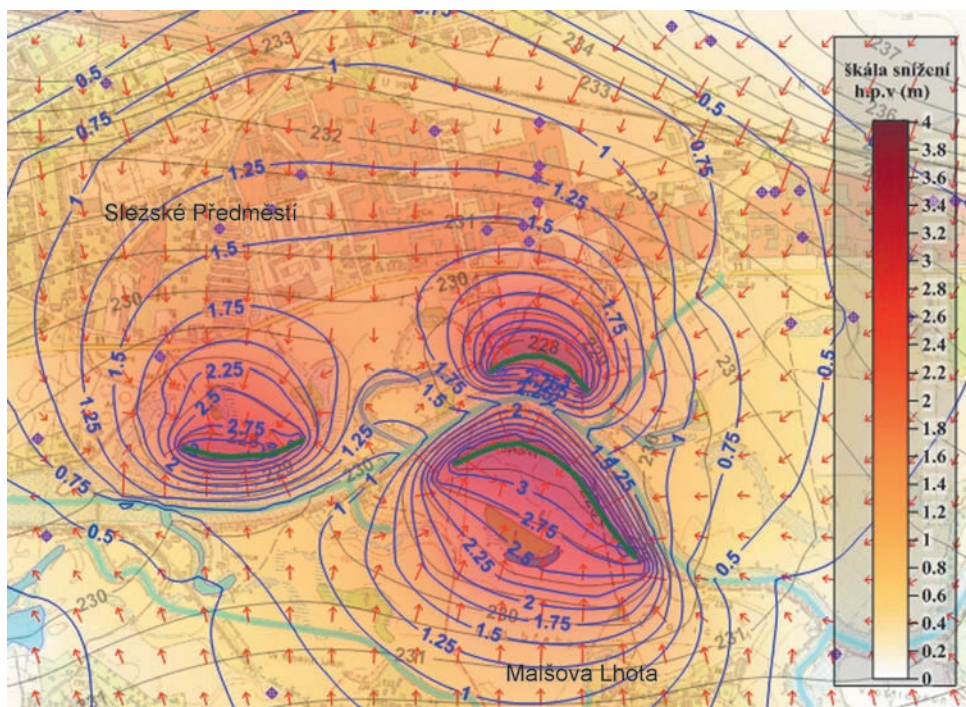
Řad	Odběr z řadu [l/s]	Přítok z toku [l/s]	[%] z toku	Odběr s uvážením vlivu KZ [l/s]
PBO-1	5,3	3,3	63	5,3
PBO-2	5,0	1,8	36	4,8
LBO-1	9,3	6,4	39	8,9
celkem	19,5	11,5	59	18,9



Obr. 5.6 Proudnice a doby zdržení podzemní vody v okolí jímacích řadů – varianta 2b, šipka odpovídá časovému kroku 10 dní



Obr. 5.7 Modelové hladiny podzemní vody a jejich snížení při odběru 99,2 l/s a parametru hydraulické vodivosti $1 \cdot 10^{-3}$ m/s



Obr. 5.8 Modelové hladiny a jejich snížení pro variantní nastavení parametru hydraulické vodivosti kvartérní zvodně v nivě Orlice – varianta 2b (53 l/s, $K=2 \cdot 10^{-4}$ m/s) nahoře, varianta 2c (19,5 l/s, $K=4 \cdot 10^{-5}$ m/s) dole

1–1,25 m, podle varianty 2b 0,75 m a podle varianty 2c 0,25 m. Hodnoty snížení hladiny podzemní vody směrem k zástavbě nejsou zanedbatelné a pravděpodobně by bylo nutné přijmout následná opatření.

Dále je třeba uvést skutečnost, že slepá ramena Orlice v okolí navržených jímacích řadů nemají ve většině případů přímé spojení s tokem. V jednotlivých ramenech by mohlo dojít k výraznému poklesu hladiny vody, nebo k jejich úplnému vyschnutí. Problém je možné technicky řešit propojením těchto ramen trubními systémy s Orlicí. Opatření by rovněž mohlo pozitivně ovlivňovat velikosti snížení hladiny podzemní vody směrem k zastavěným oblastem.

Posouzení jakosti vody určené pro břehovou infiltraci z Orlice

Jakost infiltrované vody je jednou z klíčových podmínek ovlivňujících možnosti realizace umělé infiltrace, především z hlediska ekonomické efektivity a technického řešení. Složení infiltrované vody zásadním způsobem ovlivňuje rozvoj procesů kolmatace infiltračních objektů, návazně pak kolmataci vlastního kolektoru a jímacích objektů. Obecně můžeme kolmataci definovat jako proces postupného utěšňování kolektoru při filtraci vody v okolí umělého hydrogeologického objektu (vrty, studny, zasakovací nádrže, drény apod.) nebo toku (v případě břehové infiltrace) zachycováním a hromaděním mechanických suspenzí nebo látek vysrážených z vody, které vznikají v důsledku fyzikálních, chemických nebo biologických procesů při interakci vody s horninovým prostředím nebo vsakované vody s podzemní vodou. V principu je kolmatace souborným výsledkem celé řady jevů (sedimentace, filtrace, zachycování suspendovaných částic v pórech horninového prostředí, chemické změny při kontaktu vody s horninovým prostředím, průběh biologických a mikrobiologických procesů společně s výsledkem jejich metabolických aktivit). Tyto procesy se navzájem ovlivňují.

Z hlediska kolmatace jsou nepříznivé především obsahy pevných nerozpuštěných látek (koloidů a suspenzí), obsahy různých forem Fe, Mn, biogenních látek (NO_3^- , NH_4^+ , P a dalších živin pro mikroorganismy, organických látek atd.). Jednoznačná kritéria jakosti vody pro infiltraci nejsou daná explicitně, stanovují se případ od případu. Často se k tomuto účelu používají výsledky kolmatačních zkoušek, protože jakost vody má zásadní vliv na průběh kolmatačních procesů, a tím i na technologickou náročnost provozu infiltrace.

Otázkou jakosti vody v řece Orlici a potenciálních problémů spojených s kolmatací infiltračních cest při jímání vody ze soustavy studňových řadů se zabýval RNDr. František Pastuszek. Pro posouzení využitelnosti povrchové vody pro břehovou infiltraci byly zpracovány výsledky rozborů vody provedené Královéhradeckou provozní, a.s., v době provozu úpravní vody v Hradci Králové v letech 2009–2011. S výjimkou jarních měsíců 2010 byly vzorky odebrány v době, kdy průtoky vody v Orlici byly velmi nízké. Výsledky rozborů byly porovnávány jednak s hodnotami doporučených limitních koncentrací vody pro zasakování (Jedlička et al., 1984) a dále z hlediska zařazení vody podle složek do jednotlivých tříd podle ČSN 75 7221 (1998).

Hodnoty fyzikálně-chemických ukazatelů ve většině případů vyhovují podmínkám pro břehovou infiltraci. Výjimku tvoří pouze biogenní ukazatele (NO_2^- , NO_3^- a fosfáty). Naopak mikrobiologické ukazatele indikují silné fekální znečištění. Výskyt velmi vysokých hodnot BSK₅, koliformních bakterií, fekálních bakterií, enterokoků i celkového počtu organismů má negativní vliv na jakost infiltrované vody. Ve většině případů tvoří živé organismy necelou polovinu celkového počtu organismů, což má negativní dopad na eutrofizaci vody v toku. Projevuje se to např. zvýšeným

Tab. 5.10 Doporučené limitní koncentrace látek ve vodě určené pro zasakování (Jedlička, Žáček, Moravcová, 1984)

Ukazatel	Hodnota	Jednotka
CHSK (Mn)	12	mg/l
rozpuštěné látky	1000	mg/l
nerozpuštěné látky	2	mg/l
Fe	1	mg/l
Mn	1	mg/l
saprobity	beta-mezosaprobity	–
celkový poč. organismů	10 ⁴	1 ml
<i>Bacterium coli</i>	10 ⁵	1 l

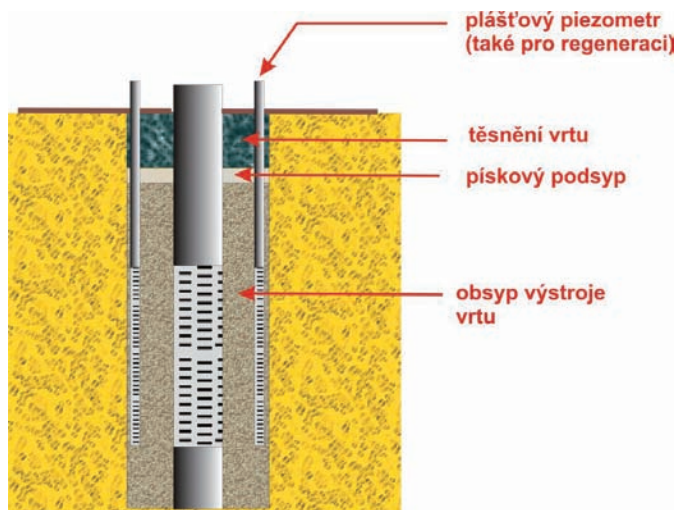
Tab. 5.11 Porovnání jakosti vody mezi vrtem VP0141 a surovou vodou odebranou z Orlice

Ukazatel	Vrt VP0141		Surová voda		Rozdíl surová v. - podzemní v.	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010
NH ₄ [mg/l]	0,166	0,093	0,152	0,140	-0,013	0,048
barva [mg Pt/l]	2,5	10	15,9	24,7	13,4	14,7
NO ₃ [mg/l]	31,20	32,10	9,15	15,05	-22,05	-16,60
NO ₂ [mg/l]	0,004	0,006	0,140	0,174	0,136	0,168
HPO ₄ [mg/l]	0,304	0,276	5,964	0,357	5,659	0,081
humínové l. [mg/l]	0,6	0,4	4,28	–	3,68	–
CHSK Mn [mg O ₂ /l]	1,345	1,185	8,978	3,883	7,633	2,698
konduktivita [mS/m]	39,6	42,3	24,8	43,3	-14,8	1,1
Mn celk [mg/l]	0,047	0,039	0,445	0,107	0,398	0,068
absorb. 254 [1/cm]	0,053	0,056	0,109	–	0,055	–
pH	6,6	6,4	7,4	7,3	0,8	0,9

obsahem NH₄⁺ v podzemní vodě v okolí toku. Vysoké počty mikroorganismů výrazně přispívají k rozvoji procesů kolmatace.

Pro porovnání jakosti podzemní vody kvartérní údolní terasy a povrchové vody v toku Orlice byla zpracována data z pozorovacího vrtu ČHMÚ VP0141 (Běleč nad Orlicí). Z vrtu VP0141 byla k dispozici data z let 1982–2010. Analýzy se zde provádějí dvakrát ročně. Údaje z tohoto vrtu byly porovnány s údaji o jakosti surové vody z Orlice. Porovnání bylo provedeno jen pro fyzikálně-chemické ukazatele, protože sledování mikrobiologických dat není na vrtu VP0141 prováděno. Výsledky porovnání sledovaných ukazatelů jsou uvedeny v tabulce 5.11. Tučně jsou vyznačeny ty ukazatele, které dosahují lepších výsledků v podzemní vodě. Zlepšení jakosti je kromě ukazatelů celkového železa a dusičnanů pozorováno u všech fyzikálně-chemických parametrů. U podzemních vod se nepředpokládá významné zatížení mikroorganismy.

Z uvedených skutečností vyplývá, že lze předpokládat silnou kolmataci toku Orlice vlivem indukované břehové infiltrace. Kolmatace bude způsobena především živými i neživými mikroorganismy, produkty jejich rozkladu, dále pak koloidy a suspenzemi zachycenými při infiltraci vody z toku do kvartérních náplavů. Mocnost kolmatační vrstvy je možné odhadovat na několik desítek centimetrů (cca 50–100 cm), přičemž podle analogie s výsledky kolmatačních zkoušek na jiných lokalitách je možné očekávat, že hodnoty koeficientu filtrace kolmatační vrstvy se v této vrstvě pohybují v rozmezí hodnot 1·10⁻⁶ až 1·10⁻⁷ m/s. Z hydraulického hlediska se přítomnost



Obr. 5.9 Návrh konstrukce jímacího vrtu pro břehovou infiltraci

kolmatační vrstvy ve dně a březích Orlice může projevít při odběru podzemní vody zvětšením snížení hladiny podzemní vody ve směru ke stávající zástavbě. Současně však má kolmatace pozitivní vliv na snížení přítomnosti nežádoucích mikroorganismů v jímané vodě.

Pro snížení důsledků kolmatace by bylo vhodné konstruovat jímací objekty podle schématu na obrázku 5.9 (min. průměr výstroje objektů 225 mm, vrtný průměr alespoň 425 mm, vybavení plášťovými piezometry). Navrhované plášťové piezometry plní dvojí funkci. Jednak je pomocí nich prováděna kontrola velikosti hydraulického skoku na plášti objektu, která je mírou kolmatace objektu, a dále při překročení určité velikosti hydraulického skoku na plášti objektu umožňují regeneraci nejen obsypu výstroje objektu, ale i jeho celé reaktorové zóny tak, aby došlo k obnovení původních hydraulických parametrů kolektoru v okolí objektu.

Umělá infiltrace povrchových vod do vod podzemních

Cílem umělé infiltrace povrchových vod do vod podzemních je doplnění zdrojů podzemní vody v intenzivně využívaných kolektorech a akumulace vody v době jejího nadbytku pro období jejího nedostatku (Hermann, 2007). Hermann mezi výhody umělé infiltrace řadí ochranu krajiny, neboť nedochází k záboru území, omezení ztrát výparem z volné hladiny a zlepšení jakosti vody filtračními procesy v geologickém profilu. Nezbytnou podmínkou pro realizaci opatření jsou vhodné hydrogeologické podmínky pro zasakování a pro opětovný odběr vody.

Umělá infiltrace byla navržena jako jedno z možných adaptačních opatření pro zvýšení dotace křídového kolektoru hydrogeologického rajonu 4220 Podorlická křída pro posílení vydatnosti jímacího území Litá v povodí Dědiny. Pro akumulaci vody povrchové bylo uvažováno s realizací nádrže v profilu u obce Mělčany. Oblast ještě do nedávné doby patřila mezi lokality hájené pro výhledovou akumulaci povrchových vod (MZe a MŽP, 2011).

Hermann (2007) ve své studii uvádí dvě varianty technického řešení řízené dotace – dotace kolektoru bělohorského souvrství (kolektor B) přes štěrky u obce Chábory a dále pomocí vsako-

vacích vrtů umístěných pod uvažovaným profilem hráze nádrže Mělčany. Jako místo opětovného odběru podzemních vod udává vrt LT-3 Pulice, který leží v profilu bohuslavického zlomu přibližně 5 km severozápadně.

Pro ověření možností realizace umělé infiltrace ve zvolené lokalitě a pro zpřesnění odhadovaného zvýšení vydatnosti rajonu Podorlická křída byl sestaven hydraulický model zájmové oblasti v programu MODFLOW a bylo provedeno zhodnocení hydraulického vlivu samotné nádrže Mělčany na proudění podzemí vody v hydrogeologické struktuře křídových sedimentů ve dvou základních variantách – bez uplatnění dalších technických opatření zaměřených na vyšší míru infiltrace vod povrchových do vod podzemních a dále pro idealizovanou variantu s odtěsněním dna nádrže, kdy uvažujeme celý povrch dna nádrže jako oblast, kde dochází k dotaci kolektoru bělohorského souvrství. Výsledky byly porovnávány se stávajícími poměry bez existence nádrže. Podrobně řešení popsal Uhlík (2011).

Modelování proudění podzemní vody v hydrogeologickém rajonu Podorlická křída

Profil hráze nádrže Mělčany je navrhován v úseku toku Dědiny mezi obcemi Chábory a Mělčany. Dědina zde opouští hydrogeologický rajon 6420 Krystalinikum Orlických hor a natéká na křídové souvrství hydrogeologického rajonu 4222 Podorlická křída. Sled křídových sedimentů začíná v zájmové oblasti bělohorským souvrstvím (kolektor B). Na většině území rajonu Podorlické křídý tvoří další vrstvu křídových sedimentů jizerské souvrství, které je vyvinuto v monotónní facii vápnatých jílovců až slínovců. Tvoří tedy relativně nepropustný strop kolektoru B, kde je komunikace podzemní vody omezena na jeho narušení v oblastech tektonických poruch.

V území Podorlické křídý se uplatňují jílovický zlom, opočenská flexura a bohuslavický zlom. Dané strukturní prvky definují tzv. dolní kru (mezi jílovitým zlomem a opočenskou flexurou), střední kru (mezi opočenskou flexurou a bohuslavickým zlomem) a horní kru (na východ od bohuslavického zlomu). Vzhledem k průběhu opočenské flexury a bohuslavického zlomu náleží oblast projektované nádrže do tzv. horní kry. Podzemní voda vlivem doprovodného rozpuštění v okolí zlomu přetéká z horní kry na střední kru a přes střední do dolní kry. Na liniích poruch ale vlivem zmenšení (i přerušení) průtočného profilu kolektoru bělohorského souvrství dochází ke skokové změně úrovně hladiny podzemí vody a k lokálnímu odvodnění (např. v lokalitě rezervace Zbytka, pramen Zlatý crk). Tato skutečnost zásadně snižuje průtočnost mezi jednotlivými hydrogeologickými krami.

Hlavními místy odvodnění kolektoru B jsou oblasti úseku Orlice mezi městy Kostelec nad Orlicí a Čestlice, soutoková oblast Labe, Úpy a Metuje v oblasti Jaroměř a místa křížení Dědiny s jílovickým a bohuslavickým zlomem a opočenskou flexurou. Významné umělé odvodnění struktury způsobuje soustava jímacích vrtů (řady Lt) mezi obcemi Bohuslavice a Mokré provozovaná Královéhradeckou provozní, a.s. Průměrný odběr podzemní vody z proudového systému Litá za rok 2010 dosahoval 312 l/s.

Projektovaná nádrž je situována při východním okraji sedimentů jizerského souvrství. Při nadřžení v úrovni 303,5 m n. m. by kolektor bělohorského souvrství měl být odtěsněn od vody v nádrži aktuálně uloženými sedimenty kvartéru (a později i naplaveninami na dně nádrže) a vápnitými jílovcí jizerského souvrství. Určení přesnější polohy okraje jizerského souvrství v údolí Dědiny (a rozsahu denudace) brání vrstva kvartérních sedimentů. Vrtnými pracemi v oblasti Chábor byly v podloží kvartérních sedimentů zastiženy přímo horniny kolektoru bělohorského souvrství. Z ob-

lasti předpokládaného přehradního profilu do oblasti Chábor (vzdálenost přibližně 1,5 km) je tedy mocnost jizerského souvrství z původní hodnoty 31 m zcela redukována.

Lze se domnívat, že hladina podzemní vody v kvartérních sedimentech v ploše projektované hráze přibližně odpovídá úrovni hladiny v toku. O úrovni hladiny podzemní vody v kolektoru v zájmové oblasti projektované nádrže jsou k dispozici pouze údaje z roku 1969, kdy byla v profilu předpokládaného přehradního tělesa (vrty J41–J44) zastížena hladina v úrovni 278,6–294,8 m n. m. Při relativně ploché úrovni stropu bělohorského souvrství (cca 266 m n. m.) tak dosahuje výtlak podzemní vody 12 a více metrů nad strop kolektoru. To by znamenalo, že případné nalepšení průtoku podzemní vody kolektorem může být realizováno zvětšením hydraulického gradientu, nikoliv zvětšením průtočné plochy.

Zaznamenaná nejvyšší úroveň hladiny ve vrtu J42 (294,8 m n. m.) svědčí o pravděpodobné infiltraci vody z Dědiny do horninového prostředí. Infiltrace zvýšila hladinu ve vrtu téměř k úrovni toku. Aktuálně však chybí objekty vhodné pro monitoring výtlakné úrovně kolektoru bělohorského souvrství. Během roku 2011 bylo provedeno zaměření postupných profilových průtoků v úseku od obce Masty až k Dobrušce. Významný úbytek vody z toku se však nepodařilo prokázat.

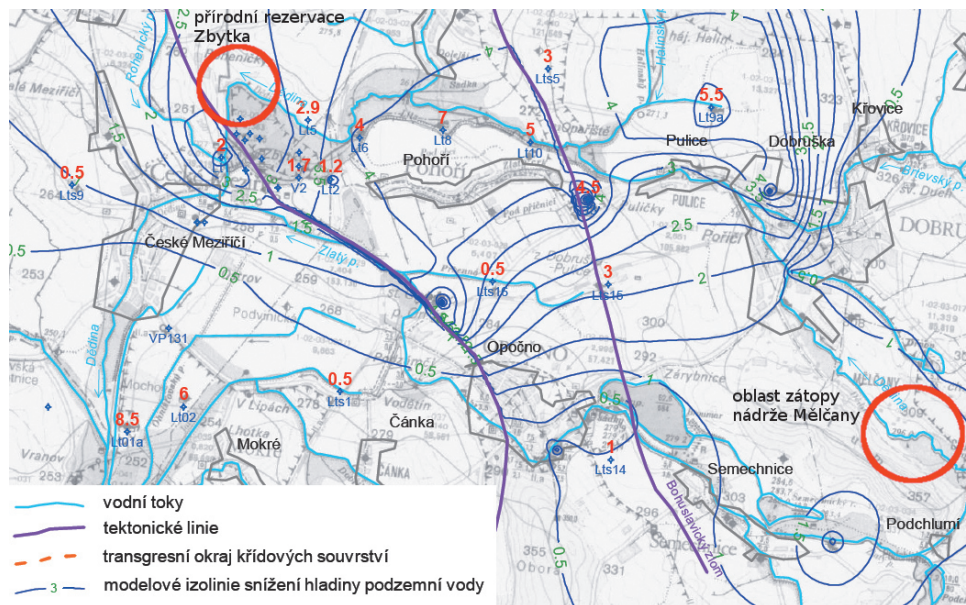
Poměry proudění podzemní vody ve struktuře před zahájením vodárenských odběrů byly simulovány v rámci varianty 0. Hydraulické zhodnocení vlivu existence údolní nádrže Mělčany na hydrogeologické poměry v oblasti proudového systému Litá je založeno na porovnání rozdílů dvou základních stacionárních simulací – jednak bez existence údolní nádrže se současnými odběry podzemní vody (varianta 1) a dále s existencí údolní nádrže a současnými odběry podzemní vody (varianty 2a a 2b). Ve stacionárních simulacích jsou zadány průměrné úrovně hladiny podzemní vody odpovídající průměrné infiltraci, průměrným odběrům a průměrné drenáži podzemní vody. Jako vstupní parametr pro simulaci varianty s nádrží byla zadána stálá úroveň hladiny 303,5 m n. m. Průměrná výška hladiny v nádrži tak činí 4 m. Průměrná srážková infiltrace v oblasti proudového systému Litá byla zadána hodnotou 2,25 l/s/km².

Simulace existence nádrže je zpracována variantně pro následující podmínky:

- při předpokladu odtěsnění nádrže od kolektoru bělohorského souvrství vzhledem k výskytu kvartérních sedimentů a sedimentů jizerského souvrství (varianta 2a), součinitel hydraulické vodivosti stávajících sedimentů kvartéru (uvažována čtyřmetrová mocnost) a podložních sedimentů jizerského souvrství byl zadán $4 \cdot 10^{-5}$ m/s, součinitel hydraulické vodivosti sedimentů jizerského souvrství byl zadán hodnotou $1 \cdot 10^{-8}$ m/s.
- s předpokladem dobrého hydraulického kontaktu nádrže a bělohorského souvrství, kdy je porušen kryt jizerského souvrství (varianta 2b), součinitel hydraulické vodivosti sedimentů kvartéru byl zadán $1,25 \cdot 10^{-4}$ m/s, součinitel hydraulické vodivosti sedimentů jizerského souvrství byl zadán hodnotou $5,5 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Výsledky modelování

Na základě simulace současných poměrů proudění podzemní vody (varianta 1) předpokládáme, že hladina v kolektoru bělohorského souvrství je v oblasti projektované nádrže Mělčany přibližně 5 m pod úrovní hladiny v Dědině. Aktuální ověření tohoto modelového výsledku chybí, modelová simulace je opřena o výsledky průzkumu, který provedl Bříza (1969). Modelový výsledek je podložen procesem kalibrace, kdy pozorovaný vzestup hladin směrem k jihu a východu od přírodní



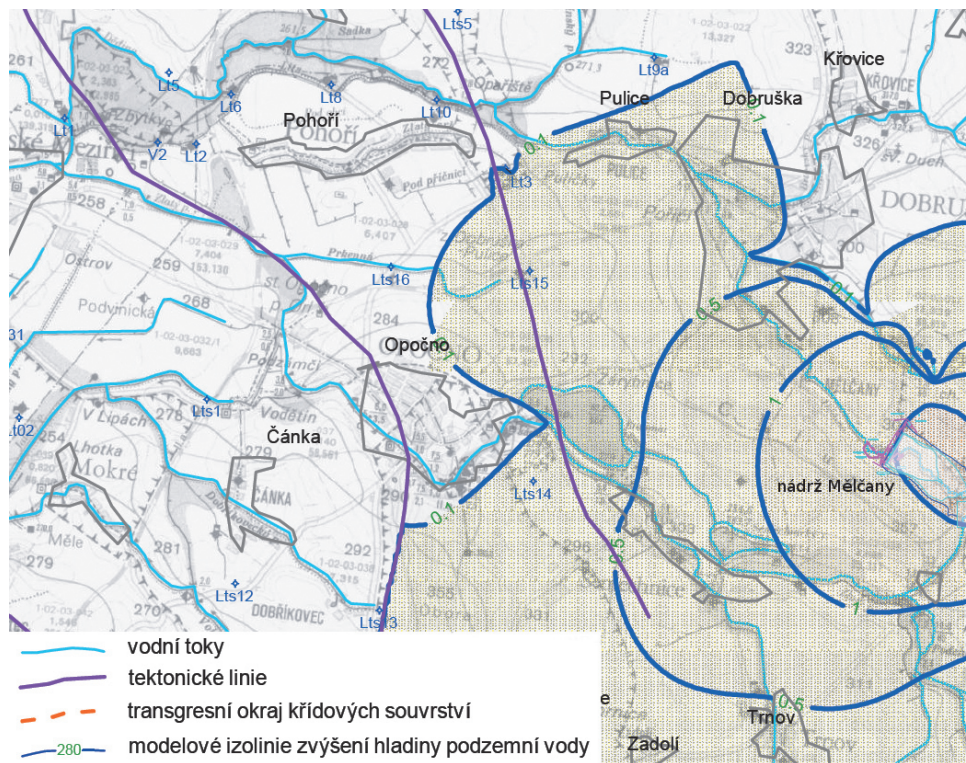
Obr. 5.10 Snížení hladiny podzemní vody vlivem průměrného jímání

rezervace „Zbytka“ byl v modelu docílen snížením hydraulické vodivosti kolektoru B (oproti oblasti České Meziříčí–Pohoří–Pulice). Již za současných podmínek zřejmě dochází k omezené dotaci kolektoru přes kvartérní sedimenty a sedimenty jizerského souvrství. Velikost dotace je ale bilančně nevýznamná, neboť se ji dvojnásobným měřením postupných profilových průtoků v úseku Měčany–Podbřezí nepodařilo prokázat. Snížení hladin vlivem stávajících odběrů je zobrazeno na obrázku 5.10. Snížení hladiny v kolektoru B v oblasti projektované nádrže Měčany vlivem odběru z vrtu V3-Semechnice se pohybuje okolo 1,2 m.

Vzestup hladiny podzemní vody pro kolektor B při současných odběrech a po výstavbě údolní nádrže Měčany (varianta 2a) je zachycen na obrázku 5.11. Z modelového výsledku usuzujeme, že při průměrné skladbě krytu kolektoru bělohorského souvrství, tj. 4 metrů kvartéru ($K=4 \cdot 10^{-5}$ m/s) a přibližně 15 metrů sedimentů jizerského souvrství ($K=1 \cdot 10^{-7}$ m/s), by k významné změně směru proudění podzemní vody v kolektoru B v oblasti nádrže nemělo dojít. Pozorovaný nárůst hladiny je vyvolán infiltrací vody z nádrže o velikosti 9,5 l/s. Tvar oblasti vzestupu hladiny podzemní vody je zachycen na obrázku 5.11.

Pro variantu 2b při současných odběrech a po výstavbě údolní nádrže Měčany byly zadány hodnoty hydraulické vodivosti kvartérní pokryvné vrstvy a vrstvy jizerského souvrství tak, aby tlaková výška daná úrovní hladiny v nádrži mohla přímo působit i v kolektoru bělohorského souvrství. Největší nárůst hladiny podzemní vody v kolektoru B přesahuje 7 m. Pozorovaný nárůst hladiny je vyvolán infiltrací z nádrže o velikosti 35,8 l/s. Zvýšení úrovně hladiny by mělo vyznívat v oblasti Křovic, Běstvin, Bohuslavic, Pohoří, Opočna a Přepych. Tvar oblasti vzestupu hladiny podzemní vody je zachycen na obrázku 5.12.

Z výsledků simulačního modelování vyplynulo, že vliv nádrže na oblast PR „Zbytka“ by byl pravděpodobně velmi malý až zanedbatelný. Příčinou je existence málo propustného krytu kolektoru v podobě bazální vrstvy jizerského souvrství budované jílovcí a současně i relativně malá pro-

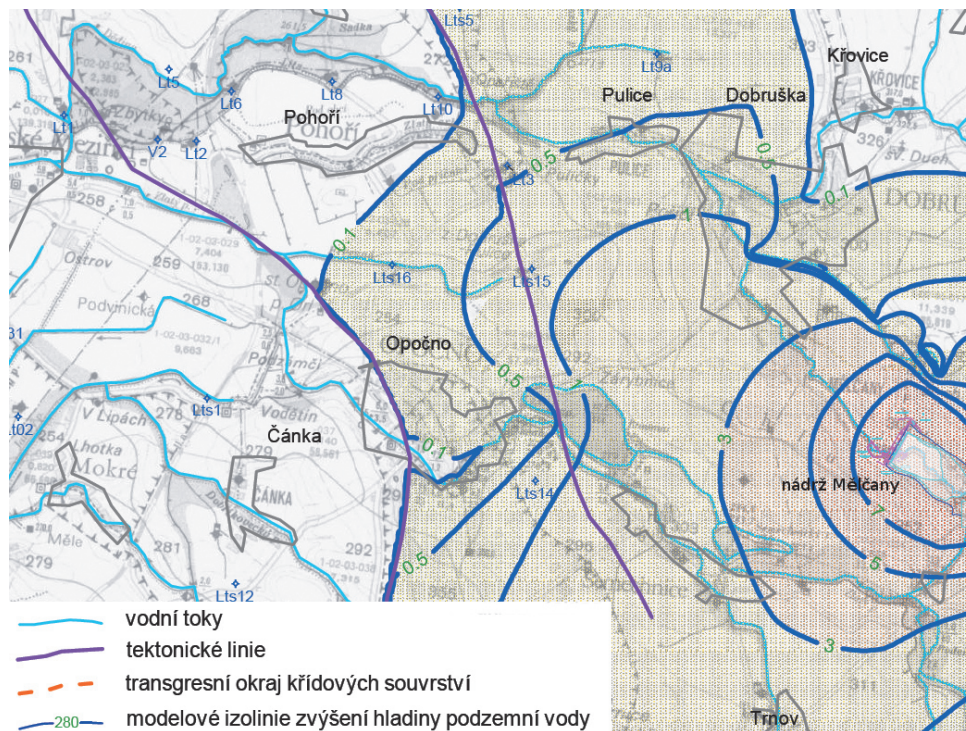


Obr. 5.11 Zvýšení hladiny podzemní vody vlivem akumulace vody v nádrži Mělnice – varianta 2a, dno nádrže odtěsněno

pustnost sedimentů kolektoru bělohorského souvrství v místě projektované nádrže. Z hlediska časového vývoje lze vzhledem k postupné progresi kolmatace predikovat postupné další zmenšování dotace podzemních vod vodami z nádrže. Nádrž Mělnice je situována relativně daleko od PR „Zbytka“. Vyvolaný nadbytek podzemní vody je odvodněn po směru proudění do říční sítě před dosažením oblasti rezervace a byl by z části využitelný v odběrných objektech v blízkosti nádrže po směru proudění podzemní vody. Vzhledem k uvedeným závěrům nebylo opatření dále hodnoceno z hlediska zranitelnosti vůči dopadům klimatické změny. Výsledky simulačního modelování vedou zpět k úvahám o vodárenském využití vody akumulované přímo v nádrži. Přímý odběr vody z nádrže byl odhadnut pro variantu 1 s hladinou zásobního objemu na úrovni 303,5 m n. m. na úrovni přibližně 60 l/s.

Na základě dostupných informací o hydraulických poměrech ve zvolené lokalitě se tedy modelováním nepodařilo očekávaná účinnost umělé infiltrace prokázat. Přesto by bylo rozumné podobné studie zpracovat pro další lokality potenciálně vhodné pro posilování vydatnosti zdrojů podzemní vody. Vytipováním lokalit vhodných pro modelové řešení umělé infiltrace v ČR se zabýval Hrkal (2011). Kromě hodnocené lokality jímacího území Litá Hrkal (2011) navrhuje zabývat se např. lokalitou fluvialního kvartérního kolektoru Labe v prostoru mezi Poděbrady a Čelákovci, kvarterem Lužnice u Majdaleny nebo jímacím územím Lednice.

Mezi oblastmi potenciálně vhodné pro zhodnocení účinnosti umělé infiltrace patří i jímací území v Holedeči v pilotním povodí Blšanky. Z hydrogeologického hlediska by oblastí vhodnou pro umístění zasakovacích vrtů byla lokalita bývalé pískovny nedaleko Holedeče, která leží ve směru



Obr. 5.12 Zvýšení hladiny podzemní vody vlivem akumulace vody v nádrži Mělnice – varianta 2b, simulováno dobré hydraulické propojení nádrže a křídového kolektoru

stoku podzemní vody do jímacího území. Zdrojem vody pro zasakování by byl tok Blšanky. Opatření by však vyžadovalo podrobnější vyhodnocení jakosti vody v toku z hlediska využitelnosti pro umělou infiltraci a požadavky na její akumulaci a předúpravu.

5.2.2 Propojování vodárenských systémů

Důležitým adaptačním opatřením v oblasti posilování odolnosti vodních zdrojů vůči očekávaným dopadům klimatické změny i vůči dalším nepříznivým vlivům je propojování vodovodních systémů v rámci jedné vodárenské společnosti nebo i systémů provozovaných různými společnostmi.

Infrastrukturní propojení mezi jednotlivými vodárenskými společnostmi často existují, ale vzhledem ke změnám majetkových poměrů ve vodárenství, které vedly k rozdrobení vodárenských systémů, jsou vodovody provozovány odděleně. Realizace (nebo udržování provozuschopnosti) dostatečně kapacitních propojení mezi jednotlivými vodárenskými společnostmi a zajištění potřebných tlakových podmínek umožňuje předávání vyrobené pitné vody do deficitních oblastí v případě výpadku některého z lokálních vodních zdrojů, ať už z důvodů nedostatečné kapacity nebo jakosti. Pro operativní řízení převodů vody je vhodné vypracovat manipulační řád nebo jiný smluvní dokument (např. dohodu vlastníků provozně související vodárenské infrastruktury), který vymezí podmínky spolupráce. Taková spolupráce funguje mezi společnostmi Vodárenská společnost Chrudim, a.s., a VAK Pardubice, a.s., mezi VAK Pardubice, a.s., a Královéhradeckou

provozní společností, a.s., a mezi Královéhradeckou provozní společností, a.s., a VAK Náchod, s.r.o., v rámci Vodárenské soustavy východní Čechy.

Propojování vodárenských systémů a míchání vod s odlišnou jakostí umožňuje jednak vzájemnou zastupitelnost vodních zdrojů a dále umožňuje vyrovnávat jakost vody dodávané do distribuční sítě (např. ztvrdování agresivních povrchových vod, snižování tvrdosti dodávané vody, ředění koncentrací nežádoucích chemických látek). Na Chrudimsku bylo realizováno propojením skupinového vodovodu Chrudim a skupinového vodovodu Heřmanův Městec, kde došlo ke kontaminaci podzemních vodních zdrojů triazinovými pesticidy tak, aby byl vodní zdroj vodovodu Heřmanův Městec alespoň částečně využitelný.

Na základě ekonomické analýzy v rámci rekonstrukce úpravní vody Hamry (VAK Chrudim) byla zprovozněna nová čerpací stanice u Chotěboře a v roce 2008 zahájena dodávka pitné vody z vodárenského systému Havlíčkobrodsko do skupinového vodovodu Hlinsko. K tomu byl využit stávající vodovodní řad DN 300, kterým byla do roku 2000 naopak dodávána pitná voda z úpravní vody Hamry do oblasti Chotěbořska (VAK Havlíčkův Brod). Tím je do budoucna zajištěna reciprocita dodávek pitné vody v obou směrech. Realizací další čerpací stanice v Havlíčkově Brodě by bylo možné zajistit propojení Hlinecka na Středočeskou vodárenskou soustavu zásobovanou z vodárenské nádrže Švihov na Želivce.

Pro zajištění obousměrného propojení Vodárenské soustavy východní Čechy a Středočeské vodárenské soustavy by bylo nutné realizovat tlakový přivaděč mezi úpravnou vody Práčov (Monaco) a vodojemem Studnice nad nádrží Hamry a realizovat dostatečně výkonnou čerpací stanici v úpravně vody Práčov (Monaco) a posilovací čerpací stanici u města Nasavrky. K popsanému systému již byla v roce 2006 zpracována projektová dokumentace, z ekonomických důvodů však projekt zatím nebyl realizován. Množství vody, které by bylo možné předat do Středočeské vodárenské soustavy, odpovídá současným přebytkům vody na vodárenské nádrži Křižanovice. Odhad velikosti rezervních vodních zdrojů, které by bylo možné naopak zajistit z Havlíčkobrodsko, by vyžadoval podrobný rozbor vodních zdrojů Středočeské vodárenské soustavy.

Vyhodnocení velikosti rezervy nalepšení na nádržích Křižanovice a Seč v povodí Chrudimky

Jedním z adaptačních opatření identifikovaných pro povodí Orlice, respektive pro oblast zásobovanou z vodárenského systému Vodovodů a kanalizací Hradce Králové, a.s., je navýšení množství vody předávané mezi Vodárenskou společností Chrudim, a.s., a VaK Pardubice, a.s., až do systému VaK Hradec Králové, a.s. Vzhledem k infrastrukturnímu propojení by bylo možné navýšením stávajícího využití rezervních vodních zdrojů v povodí Chrudimky doplnit nedostatečné vodní zdroje v oblasti Královéhradecka. Vyhodnocení rezervy vodních zdrojů především z nádrží Seč a Křižanovice pro současné hydrologické poměry a pro výhledové poměry bylo provedeno s využitím simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářské soustavy.

Pro řešení byl použit matematický simulační model dlouhodobě vyvíjený ve VÚV TGM, v.v.i., který popsal např. Pícek et al. (2008). Podstatou modelu je vodohospodářské řešení nádrží v měsíčním kroku. Model simuluje chování soustavy v diskrétních časových krocích na základě znalosti časových řad přirozených průtoků (tj. neovlivněných užíváním vody a regulací), požadavků užívání vody, technických parametrů prvků soustavy a do modelu zavedených pravidel regulace

odtoku (manipulačních pravidel). Struktura prvků soustavy a nároků na užívání vody jsou v simulačním modelu považovány za konstantní. Jedná se tedy o statický popisný simulační model, který simuluje zásobní funkci soustavy.

Pro sestavení modelu jsou využívány následující údaje:

- rozdělení objemů v nádrži,
- řídicí křivky hospodaření s vodou, které udávají požadované úrovně hladiny zpravidla pro jednotlivé měsíce roku – jsou povinnou součástí manipulačních řádů, kde jsou uvedeny formou tabulky i grafu,
- charakteristické křivky nádrže – čára zatopených ploch a objemů,
- kóta koruny hráze,
- technická kapacita převodů vody,
- údaje o odběrech z nádrže nebo vodních toků,
- hodnoty minimálních zůstatkových průtoků v profilech pod nádržemi a v dalších bilančních profilech,
- údaje o výparu z volné hladiny,
- pravidla vzájemné spolupráce nádrží.

Pro posouzení zabezpečení požadavků na užívání vody a minimálních zůstatkových průtoků je jako základní charakteristika uvažována zabezpečení podle doby trvání p_t , která je definována vztahem 5.1. Jako doplňující charakteristiky jsou uvažovány zabezpečení podle opakování p_o , pro jejíž stanovení lze uplatnit rovnici 5.2, kdy se za členy řady považují roky, zabezpečení podle objemu dodávky p_d , vyjádřená procentem objemu skutečně dodané vody z celkového požadovaného množství, hloubka poruchy vyjádřená v procentech nedodaného objemu vody (v daném měsíci) z celkového požadovaného objemu, délka poruchy, která vyjadřuje souvislou délku časové řady (zde měsíců), kdy nebyl zajištěn požadavek na užívání vody v plném rozsahu, a rezerva nebo deficit, jež jsou rozdílem mezi dosaženým průtokem a požadovaným minimálním průtokem při požadované zabezpečení podle doby trvání.

$$p_t = \frac{(m - 0,3)}{(n + 0,4)} \cdot 100 [\%] \quad (5.1)$$

m – počet členů časové řady, kdy je splněn požadovaný účel,
 n – počet členů řady.

$$p_o = \frac{(N - n_p)}{N} \cdot 100 [\%] \quad (5.2)$$

N – počet let provozu nádrže (délky časové řady pro vyhodnocení),
 n_p – počet let, kdy nastala porucha ve funkci nádrže.

Režim hladin a vyprázdnění zásobních prostorů vodních nádrží charakterizuje pole pravděpodobnosti překročení hladin v nádrži, které vyjadřuje kóty hladin nádrže dosažené s danou pravděpodobností překročení, procento členů časové řady (zde měsíců) a počet souvislých období,

Tab. 5.12 Návrhová zabezpečenosť podľa trvaní dle normy ČSN 75 2450

Účel nádrže	Minimální p_t [%]
Třída A	99,5
Třída B	98,5
Třída C	97,5
Třída D	95,0

v nichž dochází k vyprázdnění zásobního prostoru nádrže, a maximální délka souvislého období vyprázdnění zásobního prostoru nádrže. Simulační model neumožňuje automatickou optimalizaci. Odhad maximálně využitelných vodních zdrojů je řešen iteračně. Kritériem pro posuzování jednotlivých variant byla hodnota zabezpečení podle trvání dosažená pro danou variantu v porovnání se zabezpečení doporučenu podle normy ČSN 75 2405 (2004) (viz tabulku 5.12). Norma dále uvádí přípustné omezení odběru vody z nádrže při poruše (tzn. maximální hloubku poruchy). U odběrů třídy A a B se zpravidla předpokládá maximální přípustné omezení o 30 %. Požadavek na jinou velikost přípustného omezení se dokládá rozbořem. U ostatních tříd se v případě potřeby omezení stanoví individuálně.

Hodnota normou udávané návrhové zabezpečení se liší podle charakteru odběru uskutečňovaného z nádrže. Norma rozlišuje čtyři třídy významnosti odběratelů:

Třída A – zásobování vodou pro více než 150 000 obyvatel, jaderné elektrárny a tepelné elektrárny nad 500 MW, vybrané průmyslové podniky;

Třída B – zásobování vodou pro 50 000 až 150 000 obyvatel, tepelné elektrárny do 500 MW, průmyslové podniky celostátního významu;

Třída C – zásobování vodou pro méně než 50 000 obyvatel, průmyslové podniky oblastního významu, živočišná výroba mimo chov ryb a vodní drůbeže;

Třída D – vodní elektrárny, plavba, místní průmyslové podniky, závlahy, chov ryb a vodní drůbeže, lesnictví, rekreace.

Hydrologické podklady pro jednotlivé varianty řešení zahrnovaly přítoky do modelovaných nádrží (pro nádrž Seč veličina odpovídá součtu odtoku z nádrže Hamry a přítoku z mezipovodí, v případě nádrže Křižanovice odpovídá součtu odtoku z nádrže Seč a přítoku z mezipovodí). Pro řešení byly využity následující sady hydrologických podkladů:

- průtokové řady, jež jsou výstupem modelování hydrologické bilance pro skutečně pozorované srážky a teploty vzduchu pro kontrolní období 1963–1992, interpolované metodou Thiessenových polygonů pro dílčí povodí,
- resamplované (syntetické) průtokové řady, jež jsou výstupem modelování hydrologické bilance pro srážky a teploty vzduchu z období 1963–1992, generované metodou nejbližšího souseda do řady o délce 999 let (viz kapitolu 3.3.2),
- scénářové řady – resamplované (syntetické) průtokové řady modelované s uvažováním vlivu oteplení o 1, 2 a 3 °C.

Tab. 5.13 Rozdělení prostoru nádrže Hamry

Prostor	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [mil. m ³]	Plocha [ha]
Stálé nadržení	ode dna–592,6	0,133	11,6
Zásobní prostor	592,6–597,9	1,262	42,3
Ochranný ovladatelný prostor	597,9–600,1	1,160	65,7
Celkový ovladatelný prostor	ode dna–600,1	2,495	65,7
Celkový ochranný prostor	597,9–601,6	2,280	80,5
Celá nádrž	ode dna–601,6	3,620	80,5

Charakteristika nádrží

Vodní dílo Hamry prioritně slouží k zajištění odběru surové vody pro úpravu na vodu pitnou v průměrné výši 55 l/s se zabezpečeností 99,92 % nebo 75 l/s se zabezpečeností 99,71 %, dále slouží k zajištění minimálního zůstatkového průtoku v toku pod vodním dílem ve výši 0,08 m³/s se zabezpečeností 99,82 % a dále zajišťuje částečnou ochranu území pod přehradou před účinky povodní. Nádrž je schopna plně transformovat povodňové události odpovídající teoretické návrhové povodni s dobou opakování 20 let. Události odpovídající návrhové povodni s délkou 100 let jsou nádrží transformovány částečně. V nádrži je ovlivňována a zlepšována jakost vody účelovým rybářským hospodařením. Z nádrže je povolen odběr surové vody pro úpravu na vodu pitnou v množství maximálně 90 l/s a vypouštění vod pracích z úpravny v množství maximálně 40 l/s. Parametry nádrže jsou uvedeny v tabulce 5.13.

Úpravna vody odebírající surovou vodu z nádrže Hamry byla v roce 2009 rekonstruována a její současná kapacita činí 45 l/s. Voda odebíraná z nádrže Hamry je v poměru 1 : 1 míchána s vodou z podzemních zdrojů. V následujících letech je tedy možné počítat s odběrem vody z nádrže na úrovni 30 l/s, což představuje pokles oproti hodnotě uvažované manipulačním řádem v rozsahu od 25 do 45 l/s.

Vodní dílo Seč (VD Seč) slouží k zajištění minimálního zůstatkového průtoku v korytě řeky pod nádrží ve výši 0,14 m³/s, zajištění odstupňovaného minimálního zůstatkového průtoku v profilu vyrovnávací nádrže Padrtý ve výši 0,48–1,6 m³/s a v profilu vodoměrné stanice 0520 Svídnice ve výši 0,48–0,9 m³/s v závislosti na aktuální úrovni hladiny v nádrži a daném období v roce. Nádrž je využívána pro vodárenské účely. Povolený odběr 30 l/s je v současnosti využíván přibližně z jedné třetiny. Nádrž přispívá k zajištění dostatečného zabezpečení odběru vody z VD Křižanovaice pro úpravnu vody Práčov (Monaco). Nádrž je dále určena k zajišťování částečné ochrany území pod nádrží před negativními účinky povodní. Energetický potenciál odtoku z nádrže je využíván k výrobě elektrické energie na vodní elektrárně Seč na přivaděči ve špičkovém režimu a rovněž v průběžné malé vodní elektrárně u spodní výpusti VD Seč, která zpracovává minimální zůstatkové průtoky. Nádrž je dále využívána pro rekreaci a sportovní rybaření. Pro zvýšení ochrany území pod nádrží před povodněmi byla pro nádrž ověřena maximální hodnota odtoku z nádrže, která ještě nezpůsobí významné škody – tzv. mezní průtok, který odpovídá 40 m³/s, neškodný odtok z nádrže činí 30 m³/s. Parametry nádrže jsou uvedeny v tabulce 5.14. Na obrázku 5.13 jsou vykreslena pravděpodobnostní pole hladiny v nádrži Seč jednak podle modelovaných průtoků pro období 1963–1992 a dále pro syntetickou řadu průtoků modelovanou pro stejné období. Z obrázku je možné získat představu o rozptylu úrovně hladiny se 100% pravděpodobností zabezpečení podle trvání, který odpovídá přirozené variabilitě průtoků.

Tab. 5.14 Rozdělení prostoru nádrže Seč

Prostor	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [mil. m ³]	Plocha [ha]
Stálé nadržení	458,61–469,61	1,30	27,6
Zásobní prostor	469,61–486,81	14,02	166,0
Ochranný ovladatelný prostor	486,81–488,61	3,17	
Celkový ovladatelný prostor	458,61–488,61	18,49	
Neovladatelný ochranný prostor	488,61–490,11	3,30	220,1
Celá nádrž	458,61–490,11	21,80	220,1

Tab. 5.15 Rozdělení prostoru nádrže Křižanovice

Prostor	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [mil. m ³]	Plocha [ha]
Stálé nadržení	383,4–396,1	0,42	11,4
Zásobní prostor	396,1–404,1	1,62	31,8
Celá nádrž	383,4–404,1	2,04	31,8

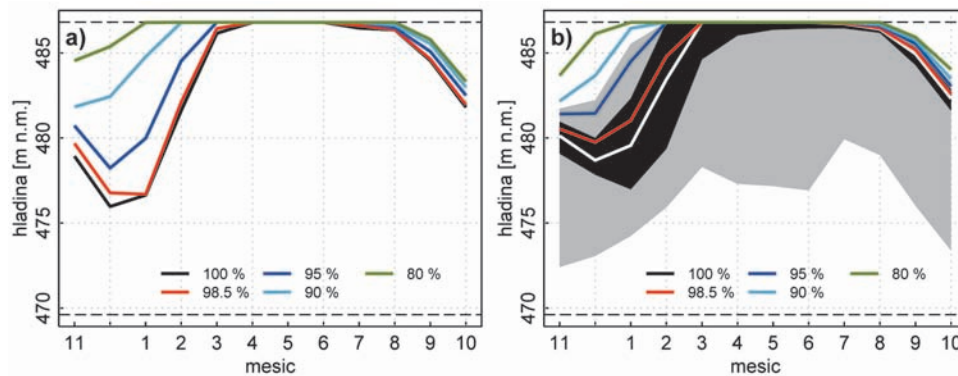
Vodní dílo Křižanovice je v současné době primárně určeno pro zajištění odběrů vody pro úpravnu vody Práčov (Monaco) v povoleném množství 170 l/s. Nádrž dále slouží k zajištění minimálního zůstatkového průtoku v korytě řeky Chrudimky pod vodním dílem ve výši 0,29 m³/s a v bilančním profilu Svídnice pod vyrovnávací nádrží Práčov ve výši minimálně 0,48 m³/s (pro období 1. 3. až 31. 8.) až 0,9 m³/s (pro období 1. 9.–28. 2.). Energetický potenciál povrchové vody je využíván ve špičkové vodní elektrárně Práčov I s maximální hlností turbíny 13 m³/s, dále v průtočné malé vodní elektrárně Práčov II s maximální hlností 4,0 m³/s a rovněž v malé vodní elektrárně v hrázi VD Křižanovice s maximální hlností 0,2 m³/s. Voda pro vodní elektrárnu Práčov I je přiváděna z nádrže Křižanovice tlakovým přivaděčem o délce 3,16 km. Z tohoto přivaděče je uskutečňován odběr vody pro úpravnu vody Práčov. Tlakové potrubí pro převod vody do úpravně má délku přibližně 4 km. Na obrázku 5.14 je zachyceno schéma nádrže a přivaděčů na elektrárnu a na úpravnu vody. Nádrž Křižanovice dále zajišťuje dodržování neškodného průtoku při povodních v korytě pod hrází vyrovnávací nádrže Práčov v řídicím limnigrafickém profilu Svídnice ve výši 35 m³/s, za určitých podmínek může být dodržován tzv. mezní odtok ve výši až 45 m³/s. Parametry nádrže jsou uvedeny v tabulce 5.15.

Výsledky simulačního modelování

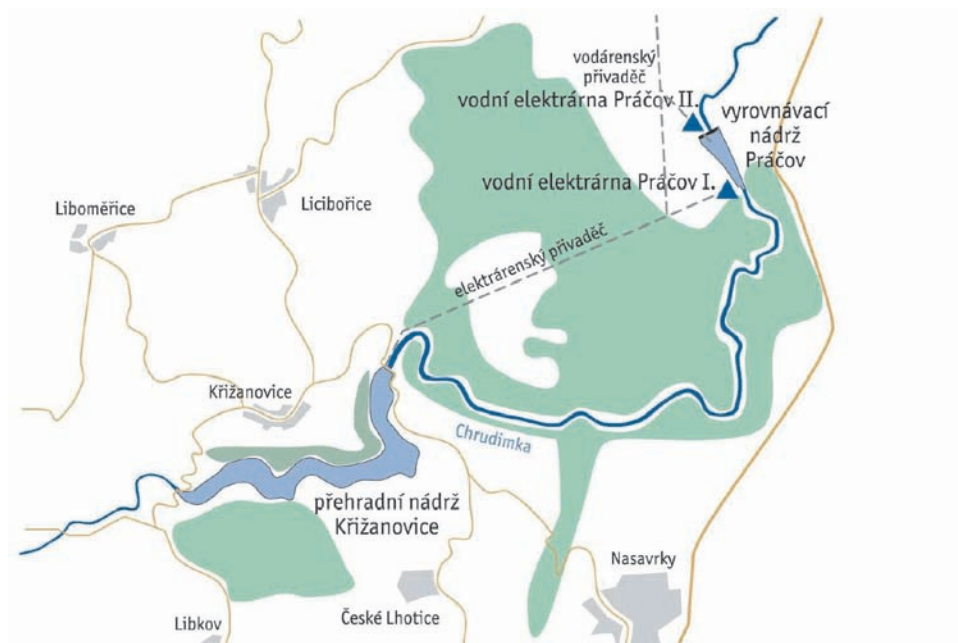
Simulační modelování bylo provedeno s cílem odhadu maximálního možného odběru z nádrže Křižanovice při plnění dalších požadavků v soustavě nádrží Seč–Křižanovice podle variantně nastavených priorit jednotlivých požadavků uvedených v manipulačních řádech obou nádrží. Odhadovaná rezerva odpovídá velikosti dalšího možného odběru nad rámec odběrů realizovaných v roce 2007. Iteračním způsobem byla postupně zpřesňována hodnota rezervy s požadovaným zabezpečením podle trvání (p_t), která pro obě nádrže odpovídá hodnotě 98,5 %. Simulační modelování proběhlo jednak pro resamplované řady modelované pro kontrolní období a dále pro resamplované řady modelované s uvažovaným oteplením o 1, 2 a 3 °C.

Varianta 1 – zajištění stávajících požadavků na odběry a na minimální zůstatkové průtoky

Varianta 1 byla navržena s cílem ověřit, do jaké míry je možné zajistit současné požadavky na odběry a zároveň požadavky na zachování minimálních zůstatkových průtoků v profilech VD Hamry (0,08 m³/s), VD Seč (0,14 m³/s), VD Křižanovice (0,29 m³/s) a v kontrolních profilech i při uvážení pokračujícího oteplení. V kontrolním profilu Padrtý byl uvažován minimální zůstatkový



Obr. 5.13 Pravděpodobnostní pole hladin v nádrži Seč pro období 1963–1992 pro modelované průtoky na základě pozorovaných vstupních dat (vlevo) a pro syntetickou řadu o délce 999 hydrologických let generovanou na základě klimatických podmínek z období 1963–1992 za stávajících odběrů z nádrže; pro úroveň hladiny s pravděpodobností překročení 100 % syntetické řady šedá oblast znázorňuje rozptyl výsledků získaných pro 500 náhodných úseků syntetické řady o délce 29 let, černá oblast znázorňuje interkvartilové rozpětí a bílá čára reprezentuje medián náhodných vzorků



Obr. 5.14 Schéma soustavy nádrží Křižanovice a Práčov, zdroj: Povodí Labe, s.p.

průtok na úrovni 0,48 m³/s celoročně, v kontrolním profilu Svídnice podle manipulačního řádu VD Křižanovice průtok ve výši 0,48 m³/s pro období 1. 3.–31. 8. a 0,9 m³/s v období 1. 9. až 28. 2. Pro vodohospodářské řešení byla uplatněna řídicí křivka předepsaná dispečerským grafem v manipulačním řádu VD Seč tak, aby nedošlo k vyprázdnění nádrže v letním období. Priorita dodržení úrovně hladiny v letním období je však volena nejnižší ze všech požadavků.

Přehled výsledků simulačního modelování pro jednotlivé výpočetní profily je uveden v tabulce 5.16. Z výsledků vyplynulo, že požadovanou zabezpečenost podle trvání u odběrů a minimálních zůstatkových průtoků bude možné zachovat i při oteplení o 3 °C. Nicméně nebude dodržen požadavek normy o maximální hloubce poruchy. Tento požadavek není dodržen u odběrů z nádrže Křižanovice pro úpravnu vody Práčov (Monaco) už při oteplení o 1 °C. Pro odběry z nádrže Hamry vychází maximální hloubka poruchy při uvážení nárůstu teploty vzduchu o 3 °C 81 %. Vodní dílo náleží do kategorie C dle významnosti a pro tato vodní díla norma maximální přípustnou hloubku poruchy neuvádí. Výsledek modelování indikuje, že nebude možné udržet požadavek na zvýšené nalepšení v kontrolním profilu Svídnice v zimním období.

Tab. 5.16 Přehled výsledků simulačního modelování funkce nádrží Hamry, Seč a Křižanovice při zajištění stávajících požadavků na odběry a minimální zůstatkové průtoky (varianta 1)

Název požadavku	Scénář	Roční odběr [tis. m ³]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
				p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
ÚV Hamry	res. 63–92	939	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	res. 63–92	231	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	res. 63–92	3557	98,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Hamry	+ 1 °C	939	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+ 1 °C	231	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 1 °C	3557	98,5	99,986	99,83	99,99	100
ÚV Hamry	+ 2 °C	939	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+ 2 °C	231	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 2 °C	3557	98,5	99,927	99,23	99,94	100
ÚV Hamry	+ 3 °C	939	97,5	99,997	99,73	99,99	80,8
ÚV Seč	+ 3 °C	231	97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 3 °C	3557	98,5	99,827	99,63	99,83	100

Název kontrolního profilu	Scénář	Požadov. min. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
				p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
Padrty	res. 63–92	0,48	98,5	99,994	94,93	100	0
Svídnice	res. 63–92	0,48–0,9	98,5	99,994	94,93	100	0
Padrty	+ 1 °C	0,48	98,5	99,977	99,73	99,99	65,6
Svídnice	+ 1 °C	0,48–0,9	98,5	99,969	99,73	99,99	79,3
Padrty	+ 2 °C	0,48	98,5	99,927	99,23	99,97	74,0
Svídnice	+ 2 °C	0,48–0,9	98,5	99,902	99,13	99,95	85,0
Padrty	+ 3 °C	0,48	98,5	99,794	98,73	99,90	74,0
Svídnice	+ 3 °C	0,48–0,9	98,5	99,802	98,63	99,89	85,0

Varianta 2 – zajištění stávajících požadavků na odběry při snížení požadavků na minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice

Z výsledků řešení varianty 1 vyplynul návrh varianty 2, která zachovává podmínky platné pro variantu 1 s tím rozdílem, že i v kontrolním profilu Svídnice je celoročně navržen minimální zůstatkový průtok na úrovni 0,48 m³/s (hodnota odpovídá průměru průtoků s pravděpodobností překročení Q_{330d} a Q_{355d} pro profil VD Křižanovice). Tím se předejde prázdnění nádrží Seč a Křižanovice

v zimním období. Pro takto upravené požadavky platí, že všechny tři nádrže vyhoví požadavkům normy ČSN 75 2405 pro kontrolní období i pro oteplení až o +2 °C. Při oteplení až o +3 °C nevyhoví z hlediska maximální hloubky poruchy kontrolní profil Padrty, kde maximální hloubka poruchy činí 56 %.

Varianta 3a – maximální rezerva odběru z nádrže Křižanovice, při snížení požadavků na minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice

Varianta 3a byla modelována pro průtokové řady generované pro kontrolní období a pro oteplení o +1 °C a o +2 °C při snížení požadavků na zachování minimálního zůstatkového průtoku v kontrolním profilu Svídnice celoročně na úrovni 0,48 m³/s. Cílem řešení bylo pomocí iteračního přibližování odhadnout maximální rezervu odběru z nádrže Křižanovice, kterou by bylo možné zajistit při dodržení požadavků normy ČSN 75 2405, za podmínek využití celého zásobního prostoru VD Seč a VD Křižanovice. Metoda současně zajišťuje nalepšení průtoků v profilu VD Seč a VD Křižanovice s vyšší prioritou, než pro samotný simulovaný odběr představující hledanou rezervu. Manipulace v zásobním prostoru nerespektují dispečerský graf pro VD Seč.

Přehled výsledků simulačního modelování pro jednotlivé výpočetní profily je uveden v tabulce 5.17. Odhad možného navýšení odběru z nádrže Křižanovice při zachování požadavků na zabezpečení podle normy činí pro výhledové oteplení o 1 °C 140 l/s, pro výhledové oteplení o 2 °C 130 l/s. Pro odhad rezervy na této úrovni nedochází ke snižování hladiny v nádrži Seč v měsících červen až srpen pod úroveň 483 m n. m.

Tab. 5.17 Přehled výsledků simulačního modelování množství dostupných vodních zdrojů na nádrži Křižanovice při snížení požadavků na minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice (varianta 3a)

Název požadavku	Scénář	Roční odběr [tis. m ³]	Rezer. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
					p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
ÚV Hamry	res. 63–92	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	res. 63–92	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	res. 63–92	3 557		98,5	99,994	99,93	100	0
Křiž. rezerva	res. 63–92	4 730	0,15	98,5	99,969	99,83	99,99	56
Seč hladina 483 m n. m.	res. 63–92	–	–	98,5	99,91	99,83	–	–
ÚV Hamry	+1 °C	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+1 °C	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+1 °C	3 557		98,5	99,994	99,93	100	0
Křiž. rezerva	+1 °C	4 415	0,14	98,5	99,977	99,83	99,995	39
Seč hladina 483 m n. m.	+1 °C	–	–	98,5	99,73	99,97	–	–
ÚV Hamry	+2 °C	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+2 °C	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+2 °C	3 557		98,5	99,994	99,93	100	0
Křiž. rezerva	+2 °C	4 100	0,13	98,5	99,986	99,83	99,997	31
Seč hladina 483 m n. m.	+2 °C	–	–	98,5	99,4	99,13	–	–

Název kontrolního profilu	Scénář	Požadov. min. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
				p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
Padrty	res. 63–92	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0
Svídnice	res. 63–92	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0
Padrty	+1 °C	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0
Svídnice	+1 °C	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0
Padrty	+2 °C	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0
Svídnice	+2 °C	0,48	98,5	99,994	99,93	100	0

Varianta 3b – maximální rezerva odběru z nádrže Křižanovice, při snížení požadavků na minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice a při využití regulačního stupně

Varianta 3b byla modelována pro průtokové řady generované s uvážením vlivu oteplení o +3 °C při snížení požadavků na zachování minimálního zůstatkového průtoku v kontrolním profilu Svídnice celoročně na úrovni 0,48 m³/s. Podobně jako u varianty 3a bylo cílem simulace stanovit maximální rezervu odběru z nádrže Křižanovice, kterou by bylo možné zajistit při dodržení požadavků normy ČSN 75 2405, za podmínek využití celého zásobního prostoru VD Seč a VD Křižanovice. Varianta současně zajišťuje nalepšení průtoků v profilu VD Seč a VD Křižanovice s vyšší prioritou než pro samotný simulovaný odběr představující hledanou rezervu.

Vzhledem k výraznému vlivu oteplení na hydrologii v této variantě je nutné řešit úlohu s využitím regulačních stupňů v zásobním prostoru VD Seč. Z výsledků varianty 1 počítané bez rezervy vyplynulo, že je možné zajistit požadovanou zabezpečenost podle trvání, ale požadavky normy nejsou splněny z hlediska maximální hloubky poruchy. Využitím regulačních stupňů a vhodnou manipulací lze hloubky poruchy výrazně redukovat a rozprostřít je do většího počtu měsíců tak, aby stále nebyla porušena požadovaná zabezpečenost podle trvání. Pro simulační modelování tedy bylo navrženo, aby požadavky na odběry vody a minimální průtoky v profilech VD Seč, VD Křižanovice a kontrolní profil Svídnice byly v případě poklesu hladiny pod dispečerskou křivku VD Seč omezeny na 70 %.

Výsledky simulačního modelování jsou uvedeny v tabulce 5.18. Maximální rezerva, kterou je možné z nádrže získat, byla odhadnuta na 70 l/s. U žádného z požadavků není maximální hloubka poruchy větší než 30 %. Požadovaná zabezpečenost podle trvání u odběrů a minimálních zůstatkových průtoků je zajištěna s výjimkou kontrolního profilu Padrtý pod nádrží Seč. Při navrženém řízení odtoku z nádrže Seč zde dochází pro 10 % simulačního období k omezení minimálního zůstatkového průtoku na úroveň nižší než požadovaných 0,48 m³/s.

Tab. 5.18 Přehled výsledků simulačního modelování množství dostupných vodních zdrojů na nádrži Křižanovice při snížení požadavků na minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice a při zavedení regulace (varianta 3b)

Název požadavku	Scénář	Roční odběr [tis. m ³]	Rezer. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
					p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
ÚV Hamry	+ 3 °C	939		97,5	99,977	99,73	99,991	81
ÚV Seč	+ 3 °C	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 3 °C	3 557		98,5	99,994	99,93	100	0
Křiž. rezerva	+ 3 °C	2 208	0,07	98,5	99,986	99,83	99,997	21
Seč hladina 483 m n.m.	+ 3 °C	–	–	98,5	99,610	99,43	–	–

Název kontrolního profilu	Scénář	Požadov. min. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
				p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
Padrtý	+ 3 °C	0,48	98,5	90,985	21,18	99,10	30
Svídnice	+ 3 °C	0,48	98,5	99,068	95,127	99,876	27

Varianta 4 – maximální rezerva odběru z nádrže Křižanovice, při dodržení požadavku na zabezpečenost odběrů podle trvání

Varianta 4 je zaměřena především na hledání rezervy v odběru povrchové vody za podmínek využití celého zásobního prostoru VD Seč a VD Křižanovice pouze s ohledem na požadovanou

zabezpečení odběru podle doby trvání. Současně je zajištěno nalepšení na úroveň minimálního zůstatkového průtoku v profilu VD Seč ($0,14 \text{ m}^3/\text{s}$) a VD Křižanovice ($0,29 \text{ m}^3/\text{s}$) s vyšší prioritou než pro samotný simulovaný odběr představující hledanou rezervu. Minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Padrty byl navržen na úrovni $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$ celoročně, minimální zůstatkový průtok v kontrolním profilu Svídnice byl uvažován podle pravidel manipulačního řádu VD Křižanovice ve výši $0,48\text{--}0,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Zajištění nalepšení průtoku v kontrolních profilech Padrty a Svídnice má však přiřazenu nejnižší prioritu. Varianta nerespektuje řídicí křivku dispečerského grafu uvedeného v manipulačním řádu. Zajištění požadavku odběru představující počítanou rezervu působí výrazným způsobem na prázdnění nádrží Seč a Křižanovice, a není tedy zajištěna kóta hladiny v letním období daná dispečerským grafem VD Seč.

Přehled výsledků simulačního modelování pro jednotlivé výpočetní profily je uveden v tabulce 5.19. Pro hydrologické poměry odpovídající kontrolní periodě byla pomocí modelu odhadnuta rezerva pro navýšení odběru odpovídající přibližně $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Celkové nalepšení ze soustavy Seč, Křižanovice včetně stávajících odběrů ($0,12 \text{ m}^3/\text{s}$) a včetně minimálního zůstatkového průtoku v profilu pod nádrží Křižanovice na úrovni $0,29 \text{ m}^3/\text{s}$, vyhodnocené na základě syntetické řady o délce 999 hydrologických let, tedy odpovídá $1,11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Při zvýšení teploty vzduchu o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ poklesne rezerva na hodnotu $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a celkové nalepšení na $1,01 \text{ m}^3/\text{s}$ (pokles o 9 % oproti hodnotě stanovené pro kontrolní období). Při zvýšení teploty vzduchu o $2 \text{ }^\circ\text{C}$ činí odhad rezervy $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ a celkové nalepšení $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$ (pokles o 27 %), při zvýšení teploty vzduchu o $3 \text{ }^\circ\text{C}$ pak rezerva klesá k hodnotě $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ a celkové nalepšení na $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$ (pokles o 36 %). Takových výsledků však bylo dosaženo při snížení zabezpečení podle trvání minimálního zůstatkového průtoku v kontrolním profilu Svídnice pod úroveň 97,8 % a při nedodržení požadavku na maximální hloubku poruchy. Tato varianta představuje horní hranici možného využití akumulované vody pro odběry a rovněž pro výrobu elektrické energie, která ovšem vede k významným poruchám v zabezpečení požadavků v kontrolním profilu Svídnice pro více jak 10 % simulované doby.

Souhrn

Z výsledků simulačního modelování vyplývá, že nádrže Seč a Křižanovice jsou strategickým vodním zdrojem, který představuje dlouhodobě využitelnou rezervu pro zásobování vodou v deficitních oblastech Vodárenské soustavy východní Čechy. Pro její využití by bylo nutné provést rekonstrukci úpravní vody Práčov (Monaco), kde je v současné době udržována v provozu jedna ze dvou technologických linek, a obnovit tak původní projektovou kapacitu úpravní na 350 l/s . Z výsledků modelování je ale patrné, že pokud dojde k oteplení nad $2 \text{ }^\circ\text{C}$, pravděpodobně by taková kapacita nebyla plně využitelná z důvodů poklesu dostupných vodních zdrojů. Reálný odhad dostupných vodních zdrojů nad rámec stávajícího využití při oteplení do $2 \text{ }^\circ\text{C}$ činí 130 l/s , při oteplení až o $3 \text{ }^\circ\text{C}$ však klesá k hodnotě 70 l/s .

5.2.3 Realizace nového vodního zdroje v lokalitě chráněné pro výhledovou akumulaci povrchových vod

V roce 2011 bylo schváleno definitivní znění nové verze Generelu lokalit chráněných pro akumulaci povrchových vod, které obsahuje výběr 65 území z původních více než dvou set, kde

Tab. 5.19 Přehled výsledků simulačního modelování množství dostupných vodních zdrojů na nádrži Křižanovice pro variantu 4 s uvážením prázdnění zásobního objemu nádrží Seč a Křižanovice, požadavky na minimální zůstatkový průtok v kontrolních profilech Padrty a Svídnice mají nižší prioritu

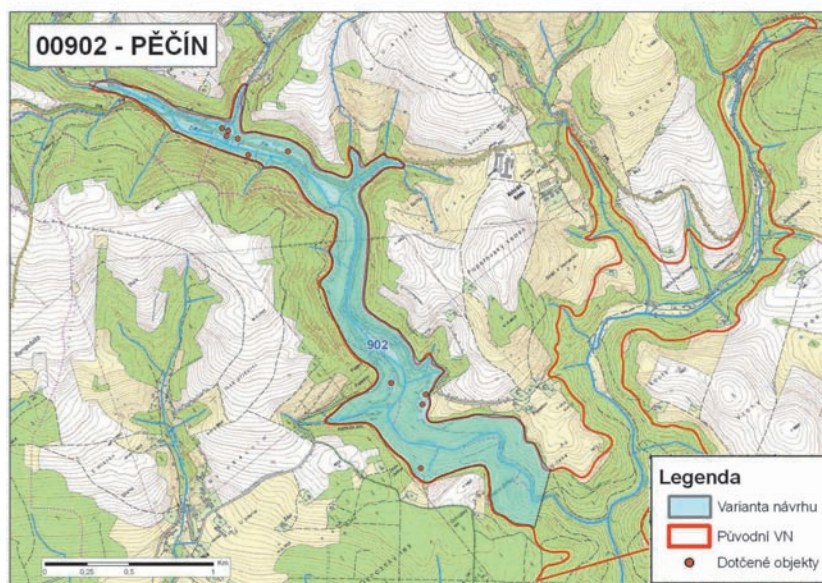
Název požadavku	Scénář	Roční odběr [tis. m ³]	Rezer. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
					p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
ÚV Hamry	res. 63–92	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	res. 63–92	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	res. 63–92	3 557		98,5	99,994	99,93	100	0
Křiž. rezerva	res. 63–92	22 075	0,700	98,5	98,476	91,43	99,10	100
ÚV Hamry	+ 1 °C	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+ 1 °C	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 1 °C	3 557		98,5	99,986	99,83	99,99	100
Křiž. rezerva	+ 1 °C	18 922	0,600	98,5	98,468	91,93	98,97	100
ÚV Hamry	+ 2 °C	939		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Seč	+ 2 °C	231		97,5	99,994	99,93	100	0
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 2 °C	3 557		98,5	99,969	99,63	99,98	100
Křiž. rezerva	+ 2 °C	12 614	0,400	98,5	98,776	94,73	99,11	100
ÚV Hamry	+ 3 °C	939		97,5	99,997	99,73	99,99	81
ÚV Seč	+ 3 °C	231		97,5	99,952	99,43	99,96	100
ÚV Monaco (Křiž.)	+ 3 °C	3 557		98,5	99,869	99,03	99,91	100
Křiž. rezerva	+ 3 °C	9 461	0,300	98,5	98,559	93,63	98,84	100

Název kontrolního profilu	Scénář	Požadov. min. [m ³ /s]	Požadov. zabezp. p _t [%]	Dosažené hodnoty			Max. hl. poruchy [%]
				p _t [%]	p _o [%]	p _d [%]	
Padrty	res. 63–92	0,48	98,5	99,16	94,23	99,70	71
Svídnice	res. 63–92	0,48-0,9	98,5	97,73	88,62	98,64	83
Padrty	+ 1 °C	0,48	98,5	98,97	94,03	99,60	72
Svídnice	+ 1 °C	0,48-0,9	98,5	97,54	88,62	98,60	83
Padrty	+ 2 °C	0,48	98,5	98,84	94,23	99,54	72
Svídnice	+ 2 °C	0,48-0,9	98,5	98,06	91,63	99,00	84
Padrty	+ 3 °C	0,48	98,5	98,48	93,33	99,33	72
Svídnice	+ 3 °C	0,48-0,9	98,5	97,83	90,62	98,80	84

bude zachováno územní hájení s omezeným využitím těchto území. Vybrané oblasti jsou morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchových vod a při jejich výběru bylo přihlédnuto k environmentálním a socio-ekonomickým důsledkům územní ochrany. Přijetí dokumentu, i když ve velmi zredukované podobě, představuje klíčové adaptační opatření, které umožňuje zajistit nový zdroj vody pro úpravu na vodu pitnou nebo umožňuje zajistit ochranu před účinky povodní v případě nepříznivého vývoje hydrologických poměrů nebo navýšení požadavků na vodní zdroje (MZe a MŽP, 2011).

Vyhodnocení nalepšení z návrhové nádrže v lokalitě Pěčín na Zdobnici

V pilotním povodí Orlice je z hlediska možného získání nového vodního zdroje nejzajímavějším územím lokalita Pěčín na Zdobnici, která spadá do kategorie A. Kategorii A tvoří území, jejichž vodohospodářský význam spočívá především ve schopnosti vytvořit či doplnit zdroje pro zásobování pitnou vodou. Ostatní lokality jsou kategorie B, tedy jejich primární účel je protipovodňová ochrana, pokrytí místních požadavků na vodu a nalepšování průtoků. Nádrž realizovaná v lokalitě Pěčín by mohla mít víceúčelový charakter, kromě vodárenského účelu by umožňovala využití



Obr. 5.15 Území chráněné pro výhledovou akumulaci povrchových vod u obce Pěčín nad soutokem Zdobnice a Říčky; bledě modře vyznačen aktuální rozsah územní ochrany

energetického potenciálu akumulované vody, částečnou ochranu území pod nádrží před účinky povodní a nalepšování průtoků v profilu pod nádrží.

Lokalita Pěčín leží v povodí s vysokým průměrným ročním specifickým odtokem (viz mapu na obrázku 2.4). Z výsledků modelování dopadů klimatické změny pro povodí k vodoměrné stanici 0270 ve Slatině nad Zdobnicí však vyplynulo, že v povodí bude pravděpodobně docházet k většímu rozkolísání odtoku v ročním chodu s výhledem do budoucna. Povodí reaguje na projekce dopadů klimatické změny poměrně citlivě. K referenčnímu roku 2085 činí předpokládaný pokles celkového ročního odtoku 25 % oproti průměru za kontrolní období 1961–1990 (průměr z osmi projekcí klimatických modelů). Lokalita zasahuje do CHKO Orlické hory a regionálního biocentra a biokoridoru. Mapa aktuálního území chráněného pro akumulaci povrchových vod je na obrázku 5.15.

Identifikované opatření bylo posouzeno z hlediska jeho potenciální účinnosti jednak pro časové řady průtoků modelované na základě pozorovaných klimatických podmínek pro kontrolní období 1961–1990, 1961–2009 a rovněž pro časové řady průtoků modelované s uvážením výsledků simulací regionálních klimatických modelů. Jedná se o stejné projekce, které byly použity pro simulační modelování soustavy nádrží Seč a Křižanovice a jejichž přehled je uveden v tabulce 3.4. Pro sestavení sady vstupních dat (srážek, teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu) odvozených z projekcí klimatických modelů byla využita přírůstková metoda korekce systematických chyb s uvážením změny v průměrech klimatických veličin v jednotlivých dnech v roce (Hanel a Vizina, 2010) (výhledová změna variability projektovaná klimatickými modely nebyla zohledněna). Průtoková řada byla získána z výsledků hydrologického modelu BILAN, který byl kalibrován s využitím řady odvozené z pozorované řady průtoků v profilu 0270 Slatina nad Zdobnicí. Pro předběžný návrh nádrže Pěčín bylo stanoveno maximální nalepšení z nádrže s hodnotou zabezpečení podle trvání 100 % a 98,5 % při daném zásobním objemu metodou zjednoduše-

ného vodohospodářského řešení. Pojmeme nalepšení zde rozumíme celkový zabezpečený odtok z nádrže, tedy součet možného odběru vody z nádrže a minimálního zůstatkového průtoku.

Pomocí simulačního modelu nádrže sestaveného v programu HEC-ResSim 3.0. bylo následně provedeno ověření zabezpečení návrhové hodnoty odběru při navržené manipulaci v zásobním prostoru nádrže. Manipulace byla navržena tak, aby pokud možno eliminovala vliv nádrže na hydrologický režim toku v úseku pod nádrží. Řešení proběhlo pro odběr na úrovni 200 l/s, který by byl potřeba pro doplnění chybějících vodních zdrojů Vodárenské soustavy východní Čechy. HEC-ResSim je program s grafickým rozhraním, který umožňuje simulaci funkce vodních děl a jejich soustav jak za povodňové situace, tak v obdobích sucha (Sovina, 2009). Byl vyvinut složkou armády USA zaměřenou na hydrologii a provoz vodních děl – US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources. Skládá se ze tří hlavních modulů – Watershed setup, Reservoir network a Simulation, které dovolují sestavení a nastavení modelu a následnou simulaci.

Charakteristika navržené nádrže Pěčín

Pro vodní dílo Pěčín existují tři varianty umístění a výšky hráze. Původní varianta vychází ze Směrného vodohospodářského plánu z roku 1988. Počítá s umístěním hráze až pod soutok Zdobnice s Říčkou. Z důvodů střetu vodohospodářských zájmů se zájmy ochrany přírody vznikly další dvě redukované varianty. Obě varianty uvažují s umístěním hráze nad soutokem na toku Zdobnice. První varianta počítá s výškou hráze 75 m na kótě 525 m n. m. a s celkovým objemem 26,28 mil. m³, druhá varianta počítá se sníženou úrovní hráze na úrovni 515 m n. m. a objemem 17,12 mil. m³. Rozdělení prostoru nádrže pro obě varianty udává tabulka 5.20.

Posouzení možností odběrů vody z nádrže a nalepšování průtoků ve Zdobnici bylo provedeno pro redukované varianty. Pro nádrž neexistuje ucelená projektová dokumentace, bylo tedy nutné neznámé parametry nádrže navrhnout. Návrh parametrů vycházel z doporučení uvedených v publikaci Patery a kol. (2002). Vzhledem k tomu, že nádrž je umístěna v úzce zařízlém údolí, byla horní úroveň prostoru stálého nadržení stanovena 15 m ode dna na kótě 465 m n. m., což odpovídá objemu 0,23 mil. m³. Zbylý objem byl rozdělen v poměru 80 % na zásobní (22,04 mil. m³) a 20 % ochranný (3,90 mil. m³ pro první variantu), jelikož nádrž je určena primárně pro zásobení vodou a nalepšování malých průtoků pod nádrží.

Charakteristiky nádrže (čára zatopených ploch a objemů) byly vyhodnoceny v programu ArcGis, konkrétně nástroje SurfaceVolume_3D v modulu 3D analyst. Ten umožňuje řezat topografický rastr v příslušných horizontálních rovinách a počítat ke každé objem a plochu. Vstup do analýzy tvořil digitální model terénu v rozlišení 10 x 10 m. Dvě spodní výpusti byly navrženy tak, aby každá dokázala převést průtok, který odpovídá druhému stupni povodňové aktivity na Zdobnici, tedy 23 m³/s. Spodní výpusti byly navrženy o DN 1000 mm. Konzumpční křivka byla spočtena podle vzorce 5.3 pro výtok volným otvorem pro $\mu_v = 0,85$. Minimální zůstatkový průtok v profilu pod nádrží byl navržen na 0,17 m³/s jako průměr z hodnot Q_{330d} a Q_{355d} . Vykreslení a spočtení plochy povodí pro zmíněné profily bylo provedeno v ArcGis za použití nástrojů v modulu Spatial analyst/Hydrology. Velikost průtoku v profilu hráze byla stanovena s využitím hydrologické analogie na základě poměru ploch povodí k profilu vodoměrné stanice 0270 Slatina na Zdobnici. Pro upřesnění odhadovaného dlouhodobého průtoku by bylo potřeba provést účelová měření průtoků v profilu hráze a ve vodoměrné stanici Slatina nad Zdobnicí.

Tab. 5.20 Rozdělení prostoru nádrže Pěčín

Var.	Prostor	Kóty hladiny [m n. m.]	Objem [mil. m ³]	Plocha [ha]
1	Stálé nadržení	450,0–465,0	0,23	4,8
	Zásobní prostor	465,0–521,0	22,04	100,1
	Celkový ochranný prostor	521,0–525,0	3,90	105,9
	Celá nádrž	450,0–525,0	26,17	105,9
2	Stálé nadržení	450,0–465,0	0,23	4,8
	Zásobní prostor	465,0–510,6	13,80	73,9
	Celkový ochranný prostor	510,6–515,0	3,10	85,0
	Celá nádrž	450,0–515,0	17,12	85,0

$$Q = \mu_v \cdot S \cdot \sqrt{2g \cdot h_t} \quad (5.3)$$

μ_v – výtokový součinitel,

S – průtočná plocha výpusti při plném otevření [m²],

h_t – hloubka těžiště otvoru pod hladinou [m].

Hydrologické poměry

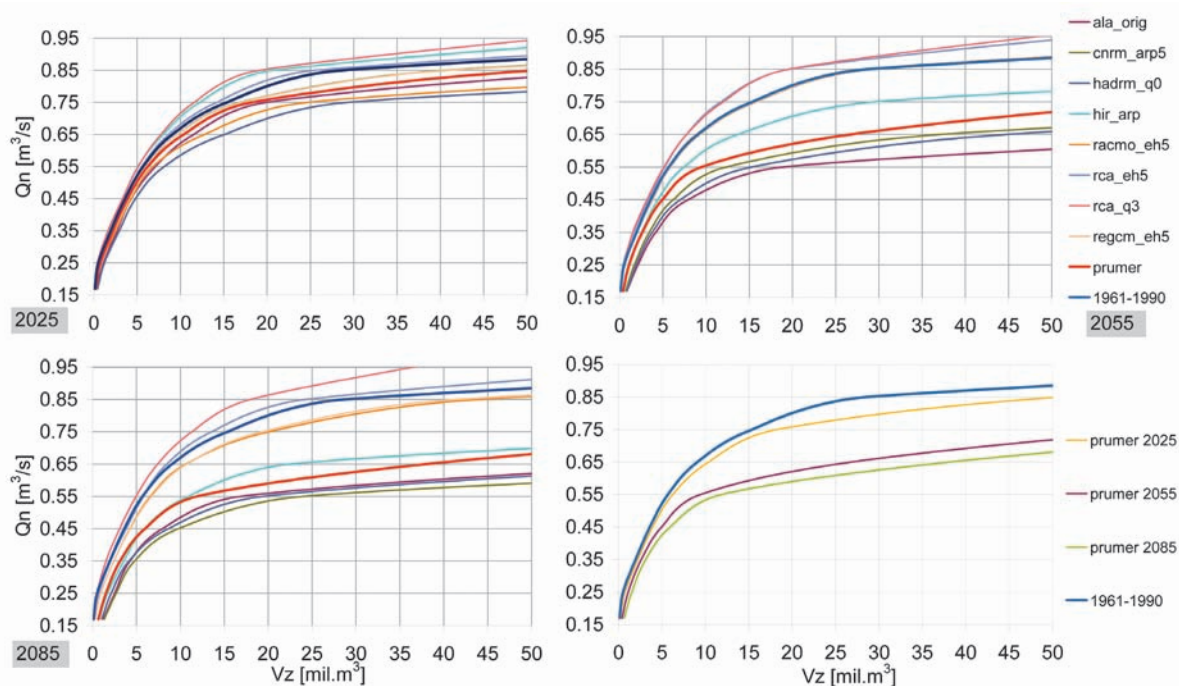
tok	Zdobnice
hydrologické číslo povodí	1-02-01-039
plocha povodí	38,15 km ²
průměrné roční srážky P_a	1 179 mm/rok
průměrný dlouhodobý průtok Q_a	0,87 m ³ /s

Návrh manipulace v zásobním a ochranném prostoru nádrže

- udržovat úroveň hladiny v nádrži na kótě 521 m n. m. pro variantu 1 nebo 510,6 m n. m. v případě varianty 2
- zlepšovat průtok na 0,7 m³/s do hladiny 500 m n. m., v rozmezí hladiny 500–480 m n. m. udržovat zlepšený průtok 0,37 m³/s a pod úrovní hladiny 480 m udržovat zlepšený průtok 0,17 m³/s, který odpovídá hodnotě minimálního zůstatkového průtoku; stejný postup i v případě varianty 2
- v případě povodní udržovat neškodný průtok pod VD 11 m³/s nebo tak, aby nebyl překročen druhý stupeň povodňové aktivity 23,3 m³/s v profilu 0270 Slatina na Zdobnici

Výsledky vyhodnocení nalepšení z nádrže Pěčín

Pro vodní dílo Pěčín bylo cílem simulací stanovit maximální možné nalepšení pro podmínky odpovídající kontrolní periodě 1961–1990 a pro scénáře klimatické změny pro výhledová období 2010–2039, 2040–2069 a 2070–2099 pro zabezpečení v době trvání p_t danou normou ČSN 75 2405 (typ významnosti nádrže B – 98,5 %) a pro zabezpečení 100 % pro obě varianty. Výsledky zjednodušeného vodohospodářského řešení zachycují grafy na obrázku 5.16. Grafy znázorňují vztah mezi zlepšeným průtokem z nádrže a jejím zásobním objemem při použití osmi scénářů (ALA_ORIG, CNRM_ARP5, HADRM_Q0, HIR_ARP, RACMO_EH5, RCA_EH5, RCA_Q3 a REGCM_EH5). Červeně je vyznačen průměr výsledných scénářových hodnot, tmavě



Obr. 5.16 Závislost hodnoty nalepšení na velikosti navrženého zásobního objemu nádrže Pěčín se zabezpečeností 98,5 % pro pozorované průtoky, průtoky modelované s uvážením scénářů klimatické změny a průměr ze scénářů pro referenční roky 2025, 2055, 2085 a srovnání period

modře pak výsledek pro kontrolní periodu 1961–1990. Čtvrtý graf zobrazuje srovnání průměrných hodnot nalepšení pro jednotlivé periody s pravděpodobností zabezpečení podle trvání 98,5 %.

Odhadovaná maximální hodnota nalepšení pro výhledové období 2070–2099 se zabezpečeností 100 % stanovená na základě průměru osmi scénářových řad přítoků činí $0,67 \text{ m}^3/\text{s}$ pro variantu 1 se zásobním objemem na úrovni $22,04 \text{ mil. m}^3$ a pro variantu 2 $0,59 \text{ m}^3/\text{s}$ se zásobním objemem na úrovni $13,80 \text{ mil. m}^3$. Při minimálním zůstatkovém průtoku $0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ po celý rok by odhad maximálního dlouhodobě udržitelného odběru z nádrže tedy pro variantu 1 činil $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ a pro variantu 2 pak $0,42 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnoty nalepšení pro obě varianty při zabezpečenosti 98,5 % a 100 % jsou uvedeny v tabulce 5.21. Tabulka obsahuje i minimální a maximální hodnotu nalepšení celého souboru osmi klimatických scénářů. Z výsledků je patrné, že hodnota nalepšení klesá pro výhledové období 2010–2039 o 3–4 %, pro výhledové období 2040–2069 o 10–14 % a pro nejvzdálenější období o 14–18 % (v závislosti na uvažované variantě návrhu a hodnotě zabezpečení). Nejistota spojená s volbou konkrétního klimatického scénáře, kterou je možné postihnout v rámci vybraného souboru klimatických projekcí, se pro výhledové období 2010–2039 pohybuje v rozsahu -13 % až +20 %, pro výhledové období 2070–2099 v rozsahu -24 % až +27 %.

S využitím modelu sestaveného v programu HEC-RESSim byly realizovány simulace pro průtoky modelované za období 1961–1990 a 1961–2009 a pro scénářové řady pro výhledová období pro obě varianty řešení. Z výsledků modelování pro výhledová období byl průběh úrovně hladiny v nádrži stanoven jako průměr z výsledků získaných pro jednotlivé scénáře. Z průběhu úrovně hladiny

Tab. 5.21 Hodnoty nalepšení v m³/s pro daný referenční rok a zabezpečení pro lokalitu Pěčín

Varianta	pst	1975	2010–2039			2040–2069			2070–2099		
			min.	prům.	max.	min.	prům.	max.	min.	prům.	max.
1	98,5 %	0,80	0,70	0,78	0,87	0,55	0,72	0,86	0,54	0,69	0,87
	100 %	0,79	0,67	0,77	0,92	0,55	0,69	0,83	0,51	0,67	0,85
2	98,5 %	0,73	0,63	0,71	0,78	0,50	0,65	0,78	0,48	0,62	0,79
	100 %	0,72	0,60	0,69	0,80	0,48	0,62	0,74	0,46	0,59	0,75

v nádrži byla vykreslena pravděpodobnostní pole hladin pro řešená období. Pravděpodobnostní pole pro období 1961–1990 a pro scénářové řady pro variantu návrhu 2 jsou na obrázku 5.17.

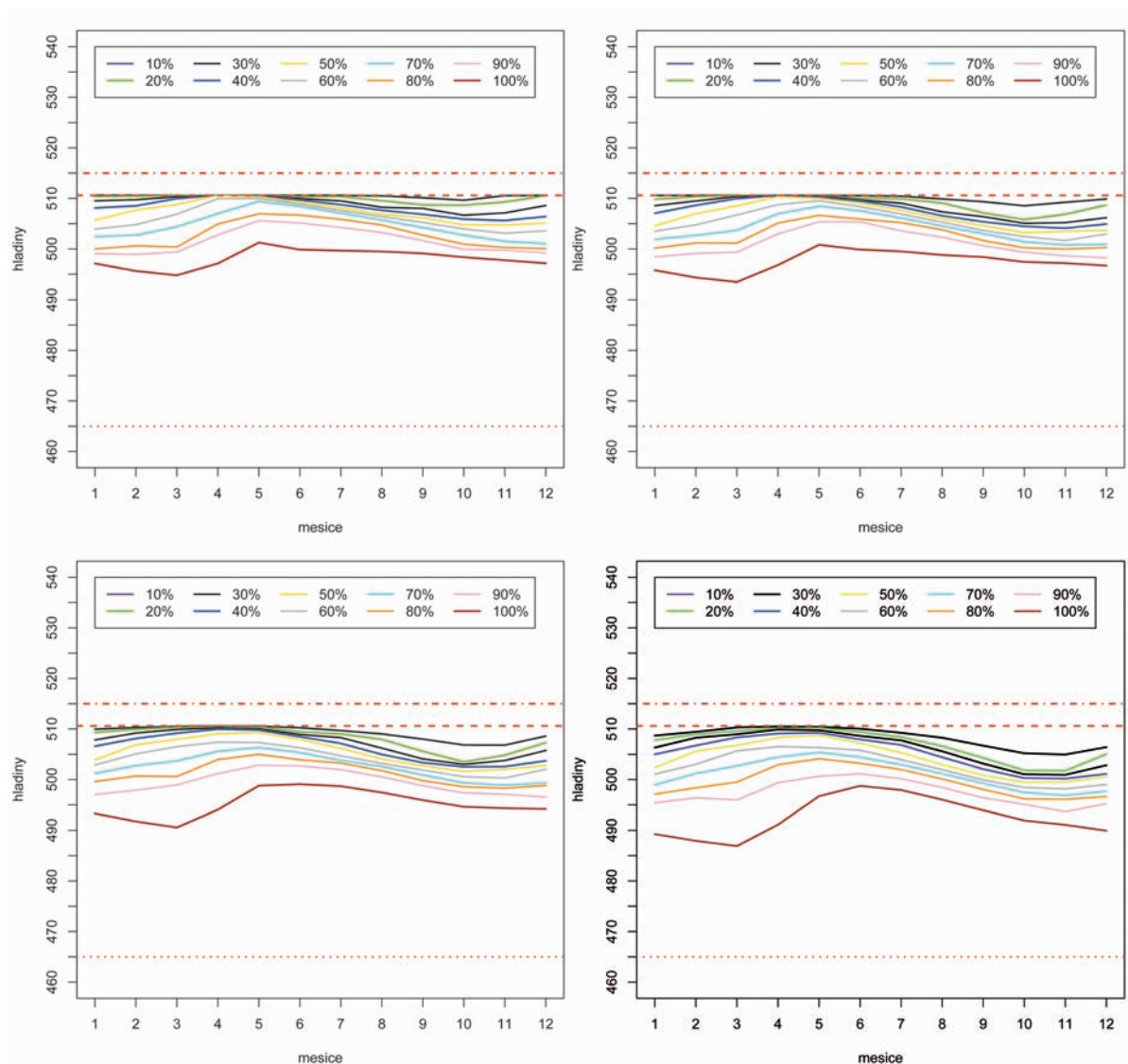
Z výsledků pro variantu 1 plyne, že VD Pěčín je při navržené manipulaci v zásobním prostoru nádrže schopno zabezpečit požadovaný odběr 200 l/s i s výhledem do budoucna. V žádném období nenastane pokles hladiny v nádrži pod úroveň 480 m n. m., od které je snížena míra nalepšení pouze na hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Zabezpečení podle doby trvání odběru na úrovni 200 l/s by tedy odpovídala 100 %. Podobný závěr lze učinit i pro řešení realizované pro variantu 2 pro téměř všechny simulované scénáře. Porucha v zabezpečení požadovaného odběru nastala pouze pro jeden scénář vycházející z projekce modelu CNRM_ARP5 pro výhledové období 2070–2099.

Výsledky simulačního modelování dokládají význam ochrany lokalit pro výhledovou akumulaci povrchových vod v rámci územního plánování, neboť představují potenciál pro získání strategického vodního zdroje, který by mohl přispět k posílení odolnosti dotčeného území vůči suchu a nedostatku vody.

5.2.4 Úprava účelu funkce nádrže a její optimalizace

Nastavení pravidel manipulace a priority účelu nádrže nejsou neměnné. Změny klimatických a hydrologických poměrů a rovněž změny v požadavcích na funkce nádrže je možné zohlednit v rámci pravidelné revize manipulačního řádu. Jde ovšem o adaptační opatření, které vyžaduje dosažení konsenzu mezi stávajícími uživateli vody z nádrže (např. provozovateli vodních elektráren) a mezi potenciálními novými uživateli, při uvážení požadavků na snížení nepříznivých důsledků hospodaření s vodou na ekologický stav úseku toku pod nádrží, kdy nelehkou úlohu při hledání kompromisu sehrává správce povodí. Nástrojem pro identifikaci kompromisního řešení představuje simulační modelování funkce nádrže nebo soustavy nádrží pro různé varianty nastavení manipulačních pravidel.

Pro pilotní povodí Orlice by např. bylo možné uvážit realizaci odběru vody pro vodárenské účely z nádrže Pastviny. Z výsledků studie Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe (Kašpárek et al., 2008) vyplynulo, že v profilu nádrže Pastviny je aktivní bilanční stav, tedy že hodnota minimálního zůstatkového průtoku v profilu pod nádrží je zajištěna na vyšší úrovni zabezpečení, než je vyžadována normou ČSN 75 2405 i při uvážení vybraného scénáře klimatické změny pro výhledové období 2071–2100. Nádrž Pastviny v současné době není vodárensky využívána. Účelem nádrže je zajištění částečné ochrany území pod nádrží před



Obr. 5.17 Pravděpodobnostní pole simulovaných hladin nádrže Pěčín – varianta 2 pro referenční roky 1975, 2025, 2055 a 2085 (průměrná hladina pro 8 projekcí RCM modelů) při navržené manipulaci v zásobním prostoru

účinky povodní, odstupňované nalepšování průtoků v profilu pod nádrží, energetické využití a rekreace. Pro posílení odolnosti vodních zdrojů v pilotním povodí Orlice by tedy přicházelo v úvahu připojit ke stávajícím požadavkům rovněž požadavek na zajištění odběru pro vodárenské účely.

5.2.5 Realizace nové malé vodní nádrže

Zvýšení retence vody v povodí, které by mělo potenciální vliv na množství vody v povrchových tocích, je možné zajistit pomocí malých vodních nádrží nebo jejich soustavy. Nutnou podmínkou je, že případné další účely takové nádrže jsou podřízeny její primární funkci – nalepšování průtoků v období sucha.

Opatření bylo navrženo pro pilotní povodí Blšanky pro zajištění zabezpečení minimálního průtoku v Blšance s cílem předcházet nepříznivým účinkům sucha a nedostatku vody na vodní ekosystémy a ekosystémy vázané na vodu a rovněž zajistit dostatečnou vodnost v toku pro odběry vody pro závlahu. V rámci řešení samostatné hydrologické studie (Kašpárek a Mrkvičková, 2008) byly vytipovány lokality vhodné pro realizaci malé vodní nádrže z hlediska morfologie terénu. Byla hledána úzká údolí, rozšiřující se proti směru toku, která by byla vhodná pro výstavbu nádrže. Dále bylo uváženo současné využití území. V budoucích zátopách není zástavba, souvislý les, silnice, železnice, výjimečně do zátopy zasahují osamělé budovy či okraje lesa nebo remízy. Hledány byly profily pro vybudování vodních nádrží s délkou hráze do 300 m a zatopenou plochou nad 10 ha. Bylo nalezeno 21 profilů, které jsou zachyceny na obrázku 5.18.

V rámci řešení projektu bylo v roce 2012 provedeno měření průtoků v účelově navržené síti měrných profilů nejen na Blšance, ale i na jejích přítocích. Z výsledků měření je možné učinit odhad o hydrologických poměrech v dílčích částech povodí (viz mapu na obrázku 2.10) a upřesnit výběr lokality vhodné pro realizaci malé vodní nádrže. Pro posouzení velikosti nalepšení byly vybrány lokality na Blšance v profilu pod Mukoděly nad soutokem s Mlýneckým potokem (na obrázku 5.18 označeno č. 6) a v profilu pod obcí Kryry nad soutokem s Očihoveckým potokem (místní název Hřebíčkovský mlýn, č. 11). Jedná se o lokality, které by mohly být velmi dobře využitelné pro odběr vody pro zemědělskou závlahu a mohly by přispívat k nalepšování průtoků ve střední části povodí. Dále byla vybrána lokalita na Želečském potoce nedaleko obce Železná, která je vhodná pro realizaci vodní nádrže především díky velmi výhodným morfologickým podmínkám, nalepšování z nádrže by rovněž mohlo přispět k posílení vodnosti Blšanky v její dolní části. Lokalita ovšem není příliš vhodná z hlediska hydrologických poměrů.

Posouzení velikosti nalepšení a jeho očekávané změny v souvislosti s dopady klimatické změny bylo provedeno rovněž pro dvě existující nádrže – pro nádrž Vidhostice na Mlýneckém potoce a pro nádrž Kryry na potoku Podhora. Obě nádrže byly vyhodnoceny jako potenciálně vhodné pro nalepšování průtoků v období sucha. Nádrž Vidhostice je v současné době pro tento účel využívána. Nádrž Kryry byla realizována především pro zajištění odběrů vody pro závlahu, pro tento účel však již není využívána a mohla by se tedy podílet na nalepšování průtoků v málovodném období. V povodí Blšanky existuje lokalita zařazená mezi území chráněná pro výhledovou akumulaci povrchových vod na Podvineckém potoce nad obcí Kryry. Morfologické poměry by umožňovaly realizaci nádrže o velikosti zásobního objemu až 12,5 mil. m³. Aktuální verze Generelu území chráněných pro výhledovou akumulaci povrchových vod však již počítá pouze s variantou umístění nádrže, která umožňuje akumulaci o velikosti maximálně 4,6 mil. m³. Potenciální

Tab. 5.22 Výsledky zjednodušeného vodohospodářského řešení zásobní funkce nádrže pro vybrané lokality v povodí Blšanky

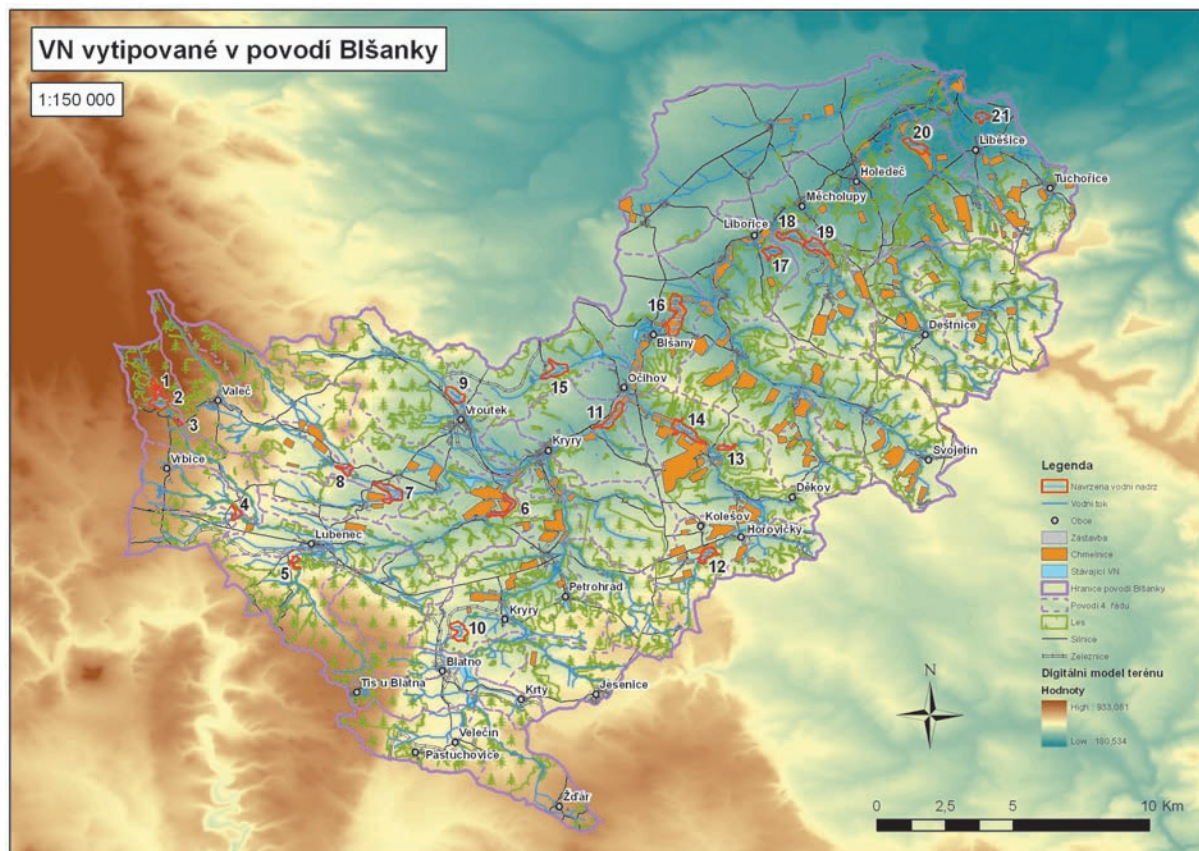
Profil Tok	Kryry Podvinecký potok			Kryry Podhora	Nádrž Vidhostice Mlýnecký	Mukoděly Blšanka	Hřebíč. mlýn Blšanka	Železná Želečský p.
Q _a [m ³ /s]	0,135			0,090	0,126	0,180	0,646	0,027
Vz [mil. m ³]	5,0	10,0	12,5	0,086	0,808	0,604	0,555	1,788
nalepšení [m ³ /s]								
1968–1990	0,094	0,120	0,131	0,017	0,046	0,053	0,118	0,023
+1 °C, -5 % P	0,067	0,086	0,088	0,010	0,031	0,033	0,065	0,017
+1 °C, +0 % P	0,080	0,101	0,107	0,012	0,037	0,041	0,085	0,020
+1 °C, +5 % P	0,087	0,115	0,123	0,015	0,041	0,046	0,100	0,022
+1 °C, +10 % P	0,093	0,125	0,137	0,017	0,046	0,053	0,119	0,024
+2 °C, -5 % P	0,061	0,073	0,075	0,007	0,026	0,027	0,050	0,015
+2 °C, +0 % P	0,070	0,090	0,092	0,010	0,032	0,035	0,069	0,018
+2 °C, +5 % P	0,081	0,105	0,111	0,012	0,036	0,040	0,083	0,021
+2 °C, +10 % P	0,088	0,119	0,127	0,016	0,042	0,048	0,107	0,023
+3 °C, -5 % P	0,059	0,063	0,065	0,007	0,024	0,026	0,046	0,013
+3 °C, +0 % P	0,065	0,077	0,079	0,008	0,028	0,030	0,057	0,016
+3 °C, +5 % P	0,075	0,093	0,095	0,011	0,033	0,036	0,071	0,018
+3 °C, +10 % P	0,082	0,105	0,113	0,013	0,037	0,041	0,086	0,021

oblast zátopy je znázorněna na obrázku 5.20. I tato lokalita byla posouzena z hlediska velikosti nalepšení pomocí zjednodušeného vodohospodářského řešení.

Odhad nalepšení byl stanoven jednak na základě průtoků pozorovaných v profilu Holedeč a dále na základě řad modelovaných s uvažováním vlivu oteplení o 1–3 °C v kombinaci s relativní změnou srážek o -5 % až +10 %. Změna klimatických poměrů byla uvažována jako konstantní v roce a nebyly tedy zohledněny očekávané změny v rozložení srážek během roku. Výsledky tedy slouží především pro získání představy o zranitelnosti povodí vůči celkovým změnám klimatických poměrů. Přehled výsledků získaných pro vybrané profily je uveden v tabulce 5.22.

Z výsledků vyplývá, že stávající nádrž na potoce Podhora by měla pravděpodobně velmi malé možnosti posílit vodnost Blšanky v období malých průtoků, odhad nalepšení z nádrže klesá k jednotkám l/s při zvýšení teploty vzduchu o 2 °C při poklesu ročních srážek o 5 %. Naopak výsledky řešení naznačují, že možnosti nalepšování z nádrže Vidhostice jsou v současnosti vyšší než stávající minimální zůstatkový průtok na úrovni 20 l/s. Vyšší míra využívání akumulované vody v nádrži není v současnosti možná především z důvodů požadavků na zachování podmínek pro chov ryb. Zajímavým poznatkem je, že srovnatelnou míru nalepšení by bylo možné zajistit z nádrží na Blšance v profilu pod obcí Kryry (Hřebíčkovský mlýn) se zásobním objemem 0,555 mil. m³ a z nádrže realizované v území chráněném pro výhledovou akumulaci povrchových vod na Podvineckém potoce se zásobním objemem na úrovni 5 mil. m³. Pro oba profily se odhad nalepšení pohybuje v rozmezí 50–100 l/s v závislosti na uvažovaném scénáři klimatické změny. Jak bylo možné očekávat, velikost nalepšení, které by bylo možné realizovat z nádrže na Želečském potoce, je relativně malá. Pro lepší využití získaného zásobního objemu v daném profilu by musela být nádrž dotována převodem vody z jiného zdroje mimo povodí nádrže.

Z výsledků je patrné, jak výrazně působí zvýšení teploty vzduchu na odhad nalepšení z nádrží. Například pro nádrž na Blšance v profilu pod obcí Kryry (Hřebíčkovský mlýn) dochází už při zvýšení teploty vzduchu o 1 °C k poklesu nalepšení o 28 % při srovnání s výsledkem pro období 1968–1990. Při oteplení o 3 °C dochází k redukci nalepšení nádrže téměř o polovinu.



Obr. 5.18 Lokality vhodné z geomorfologického hlediska pro realizaci nové malé vodní nádrže, zdroj: Kašpárek a Mrkvičková (2008)



Obr. 5.19 Oblast potenciální zátopu vodní nádrže na Želečském potoce

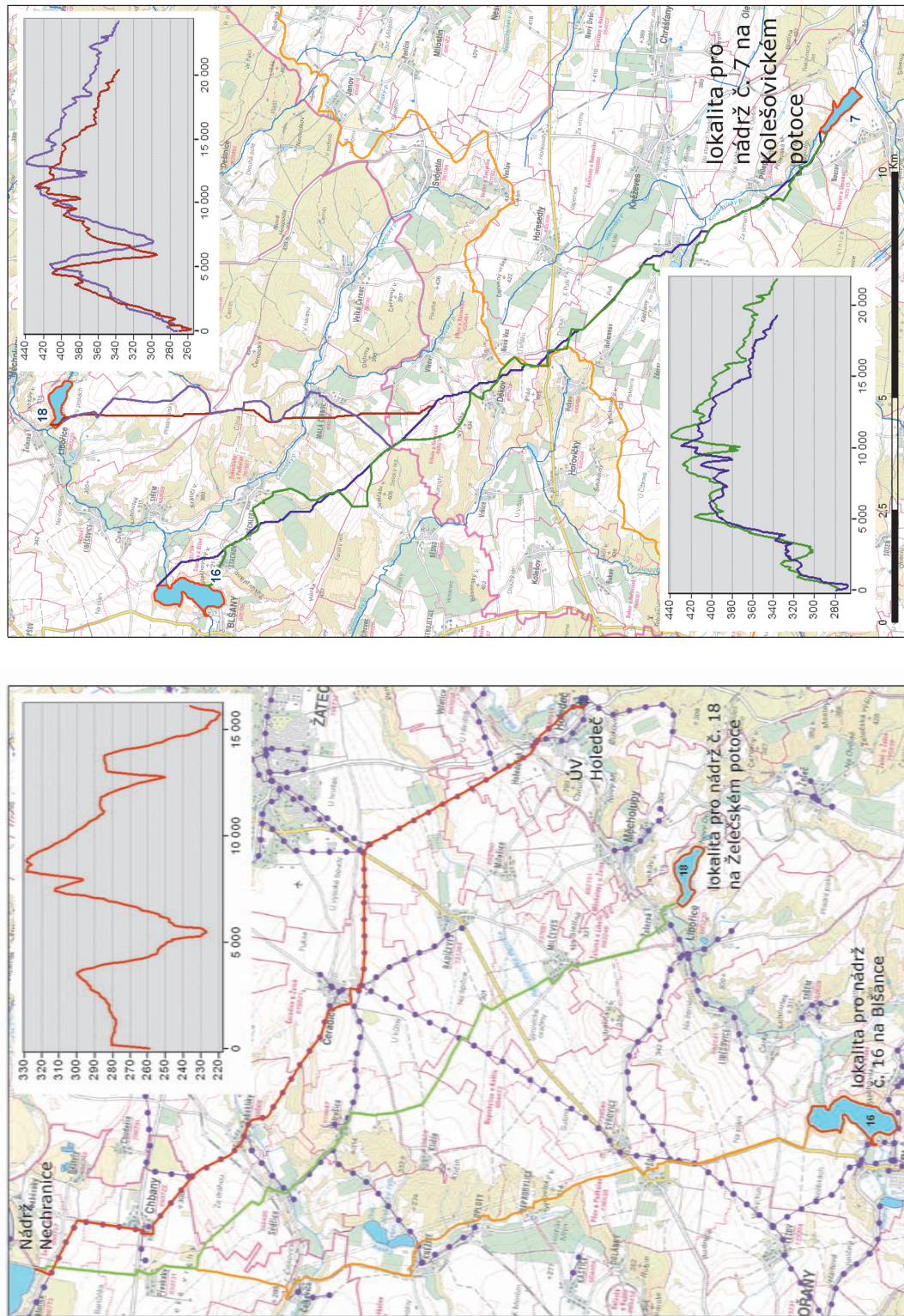


Obr. 5.20 Oblast potenciální zátopy nádrže na Podvineckém potoce nad obcí Kryry

5.2.6 Převod vody

Převody vody umožňují vyrovnávat dostupnost vodních zdrojů mezi povodími s rozdílnou mírou využívání vodních zdrojů. K převodům vody dochází velmi často v rámci vodárenské infrastruktury, méně často pak za účelem zvýšení vodnosti povrchových toků. Přesto by se na tuto možnost řešení problémů s nedostatkem vody nemělo zapomínat, neboť se může jednat o velice robustní opatření, které může vést k oživení ekonomického rozvoje dotované oblasti. Opatření ovšem vyžaduje pečlivé posouzení bilance zdrojů a požadavků na ně kladených ve zdrojové oblasti.

Opatření by přicházelo v úvahu pro řešení nedostatku vodních zdrojů v pilotním povodí Blšanky v okamžiku, kdy by se hydrologické podmínky v povodí začaly vyvíjet podle pesimistických scénářů klimatické změny a zároveň by došlo k výraznému nárůstu požadavků na odběry vody z povrchových zdrojů pro potřeby závlahy. Možným zdrojem vody pro převod je nádrž Nechranice, která byla navrhována s uvážením požadavků na odběry vody pro závlahu v sousedních povodích. Na mapách na obrázku 5.21 je vykreslen návrh trasování přivaděče vody z Nechranic do povodí Blšanky do jedné z lokalit uvažovaných pro realizaci nádrže nebo popřípadě k úpravě vody v Holedeči a dále pak až do povodí Rakovnického potoka.



Obr. 5.21 Návrh trasování přiváděče surové vody z nádrže Nechranice do vybraných profilů v povodí Blišanky (vpravo) a návrh trasování převodu z povodí Blišanky až do povodí Rakovnického potoka (vlevo), grafy znázorňují výškový profil trasy

6 Závěr

Při současné úrovni poznání není možné v dohledné době počítat s výrazným zúžením rozptylu výsledků modelování dopadů klimatické změny na základě projekcí klimatických modelů, které by usnadnilo rozhodování o přijímání potřebných adaptačních opatření. S určitou mírou nejistoty při rozhodování o realizaci adaptačních opatření je třeba se vyrovnat a naučit se s ní pracovat. Zavádění adaptačních opatření do praxe však na druhou stranu vyžaduje zajištění legitimacy takového kroku na základě srozumitelných argumentů a předpokládá, že výhody spojené s realizací opatření převažují náklady a případné nepříznivé vedlejší dopady takových opatření. Navržená metodika posuzování dopadů klimatické změny a navrhování adaptačních opatření popsána v předložené publikaci zohledňuje nejistoty spojené s dostupnými informacemi o možných dopadech klimatické změny i nejistoty pramenící z reakce společnosti na probíhající změny. Z výsledků popsanych dílčích analýz je možné získat představu o potenciálních nebezpečích, která mohou vyvstat v souvislosti s očekávanými dopady klimatické změny a o jejich rizikovosti z hlediska závažnosti jejich následků a jejich pravděpodobnosti výskytu. Takové podklady mohou dále sloužit pro zajištění širší podpory pro realizaci vhodných adaptačních opatření.

Při rozhodování o výběru výsledné varianty opatření je třeba umožnit širší diskusi mezi zástupci správců povodí, státní správy, představiteli významných skupin odběratelů, zástupci organizací ochrany přírody a dalších neziskových organizací působících v daném regionu tak, aby byly eliminovány možné nepříznivé důsledky zamýšlené akce pro některou z dotčených zájmových skupin. Pro povodí a hydrogeologické rajony, které mají přeshraniční charakter, je třeba navázat diskusi o zamýšlených adaptačních opatřeních i se zahraničním partnerem. Veřejné připomínkové řízení k přípravě plánů povodí představuje vhodný mechanismus pro zajištění prostoru pro takové jednání. Proces navrhování adaptačních opatření však může probíhat i mimo rámec plánování v oblasti vod.

Z výsledků dosavadních studií věnovaných problematice očekávané účinnosti adaptačních opatření a z výsledků simulačního modelování realizovaného v rámci vlastního řešení projektu vyplynulo, že rozhodující význam pro lepší zvládnání sucha a nedostatku vody v povodí a následných problémů spojených s nedostatkem vodních zdrojů v souvislosti s očekávanými dopady klimatické změny budou mít především opatření na vodohospodářské infrastrukturu, která zahrnují úpravu stávajícího využívání a řízení existujících objektů na infrastrukturu (např. změny manipulačních řádů nádrží, dohody o spolupráci vodárenských společností aj.) a rovněž realizaci prvků nových (např. převodů vody, nových vodních nádrží, využívání umělé infiltrace atd.). Význam adaptačních opatření v ploše povodí (protierozní opatření, revitalizace vodních toků, změna využití území aj.) spočívá především v ochraně jakosti vody před důsledky eroze půdy a ve snižování

odtoku při lokálních krátkodobých intenzivních srážkách nepřesahujících retenční kapacitu půdy (Kašpárek et al., 2011).

Prvním krokem směrem k adaptaci na dopady klimatické změny je doplnění monitoringu množství a jakosti dostupných vodních zdrojů především v oblastech, které jsou už v současnosti bilančně napjaté a kde už v současnosti dochází ke střetům zájmů mezi jednotlivými odběrateli a také se zájmy ochrany přírody. Takový krok vede k získávání klíčových podkladů pro rozhodování o dalším postupu a pro navrhování adaptačních opatření.

Pokračování výzkumu v oblasti dopadů klimatické změny a navrhování adaptačních opatření je třeba zaměřit na otázku vlivu klimatické změny na frekvenci výskytu povodňových událostí a jejich charakter. Jedná se o oblast, která vyžaduje uplatnění scénářů klimatické změny, jež vycházejí z projekcí klimatických modelů a zahrnují vliv změny variability klimatických veličin projektovaný těmito modely. Odhad vlivu klimatické změny na frekvenci povodňových událostí bude rovněž vyžadovat uplatnění vhodného algoritmu pro generování syntetických průtokových řad v síti vodoměrných stanic.

6.1 Závěry a doporučení pro pilotní povodí Orlice a Chrudimky

Posouzení dopadů klimatické změny pro povodí Orlice a Chrudimky zahrnovalo rozbor výsledků vodohospodářské bilance sestavované pro kontrolní profily povrchových vod a pro hydrogeologické rajony, analýzu trendů v časových řadách teploty vzduchu, srážek, průtoků a úrovně hladiny podzemní vody. Modelování dopadů klimatické změny na složky hydrologické bilance a především na velikost celkového odtoku z povodí bylo provedeno s uvážením aktuálně dostupných projekcí klimatických modelů a rovněž pro zjednodušené scénáře klimatické změny uvažující pouze vliv postupného zvýšení teploty vzduchu o 1 °C za 30 let. Ukázalo se, že v povodí Chrudimky výsledky zjednodušených klimatických scénářů vedou ke srovnatelným odhadům dopadů klimatické změny na odtokovou výšku jako při uplatnění scénářů sestavených na základě souboru projekcí regionálních klimatických modelů pro výhledová období 2010–2039 a 2040–2069. Bylo by třeba ověřit, zda je takový závěr všeobecně přijatelný i pro další povodí v ČR.

Pro sestavení průtokových řad v povodí Chrudimky proběhlo testování generování syntetické řady s využitím algoritmu resamplingu podle nejbližšího souseda. Výsledné časové řady byly uplatněny pro simulační modelování zásobní funkce vodárenských nádrží v povodí Chrudimky. Aplikace algoritmu pro povodí k vodoměrné stanici Přemilov potvrdila dobrou schopnost algoritmu reprodukovat deficity, které se vyskytly v pozorované řadě, byl ovšem identifikován problém s podhodnocením četnosti průtoků s nižší pravděpodobností překročení v časové řadě. Pro další aplikaci algoritmu pro vodohospodářské řešení nádrží bude třeba věnovat této skutečnosti pozornost.

Na základě provedených analýz byly pro vodní zdroje v povodí Orlice a Chrudimky identifikovány nežádoucí stavy související s očekávanými dopady klimatické změny na vydatnost a jakost vodních zdrojů. Jedná se především o možný pokles vydatnosti zdrojů podzemní vody v jímacím území Litá, poškození nebo ztrátu chráněných ekosystémů v lokalitě Natura 2000 „Zbytka“.

snížení zabezpečení nalepšení vodárenských nádrží na řece Chrudimce, zvýšení teploty vody v toku Orlice na úroveň, kdy již není upravitelná na vodu pitnou, snížení vydatnosti zdrojů podzemní vody v jímacím území v oblasti Borohrádku v souvislosti s klesající mírou dotace zásoby podzemní vody a zhoršení jakosti vody odebírané z nádrží Hamry, Seč a Křižanovice v souvislosti s důsledky nadměrné eutrofizace akumulované vody. Mezi obecně platné nežádoucí stavy s vysokým hodnocením rizika patří rovněž snížení ředící kapacity vodních toků v období sucha a zvýšení požadavků na odběry vody pro závlahu.

Nedostatek vodních zdrojů v pilotním povodí Orlice, který je zapříčiněn především zpřísněním ochrany ekosystémů vázaných na úroveň hladiny podzemní vody v oblasti ovlivněné čerpáním v jímacím území Litá, je doporučeno řešit v první fázi rozšířením spolupráce mezi vodárenskými společnostmi a navýšením převodů vody v rámci Vodárenské soustavy východní Čechy směrem do deficitních oblastí Pardubicka a Hradecka. Simulačním modelováním bylo ověřeno, že z vodárenských nádrží Seč a Křižanovice by bylo možné navýšit odběr vody až o 140 l/s při uvážení oteplení o 1 °C, o 130 l/s při uvážení oteplení o 2 °C a o 70 l/s při uvážení oteplení o 3 °C. Opatření by však vyžadovalo rekonstrukci úpravní vody Práčov (Monaco), kde je v současné době v provozu jen jedna ze dvou technologických linek. Zvýšení odběru pro vodárenské účely by ovlivnilo provoz vodních elektráren na soustavě nádrží. Vedlo by ke zvýšení průtoku v přivaděči ke špičkové elektrárně Seč, ale rovněž pravděpodobně ke dlouhodobému snížení hydraulického spádu vzhledem k většímu využití zásobního prostoru nádrže Seč. Ke snížení výroby elektrické energie by pravděpodobně došlo ve vodní elektrárně Práčov I, která je zařazena až za napojením vodárenského přivaděče. Rovněž by došlo ke snížení produkce v malé vodní elektrárně Práčov II na vyrovnávací nádrži Práčov a v profilu hráze nádrže Křižanovice. Celkový dopad zvýšení odběru pro vodárenské účely na produkci elektrické energie by bylo třeba posoudit výpočtem. Navýšení odběrů pro vodárenské účely by vyžadovalo úpravu stávajících manipulačních řádů nádrží Seč a Křižanovice především ve smyslu snížení hodnoty minimálního zůstatkového průtoku v kontrolním profilu Svídnice v zimním období, která je v současné době nastavena s ohledem na požadavky malých vodních elektráren.

Opatření, které by mohlo přispět k zajištění stabilní jakosti surové vody odebírané pro úpravu na vodu pitnou v úpravně vody v Hradci Králové, je realizace břehové infiltrace v nivě Orlice nad Malšovickým jezem na okraji Hradce Králové. Z výsledků simulačního modelování vyplynulo, že by bylo možné v této lokalitě uskutečnit odběr v rozsahu 20–50 l/s v závislosti na skutečných hydraulických vlastnostech kolektoru i při uvážení výhledových hydrologických poměrů. Zdroj surové vody by nebyl tak zranitelný vůči dalšímu zvyšování teploty vzduchu nebo případným výkyvům jakosti v souvislosti s extrémními hydrologickými situacemi. Ustálení jakosti vody by přispělo k optimalizaci nákladů spojených s procesem úpravy vody, na druhou stranu by však vyšší náklady byly spojeny s čerpáním surové vody oproti stávajícímu odběru přímo z vodního toku. Návrh studňových řádů vyžaduje zohlednit potřebu regenerace vrtu vzhledem k očekávanému procesu kolmatace. Realizace břehové infiltrace by dále vyžadovala následná opatření na zajištění úrovně hladiny ve slepých ramenech Orlice, která by mohla být čerpáním podzemní vody negativně ovlivněna.

Simulačním modelováním se nepodařilo prokázat pozitivní efekt realizace nádrže Mělčany na dotaci podzemních vod odebíraných v jímacím území Litá, především z důvodů hydrogeologických poměrů v oblasti potenciální zátopy a rovněž pro velkou vzdálenost mezi místem infiltrace po-

vrchové vody a místem jímání. Další úvahy o zřízení umělé infiltrace povrchových vod do vod podzemních v oblasti jímacího území Litá by se mohly zaměřit přímo na oblast jímacího území.

Výrazné navýšení disponibilních vodních zdrojů v povodí Orlice by představovala výstavba nové nádrže v profilu u obce Pěčín, který je chráněn pro výhledovou akumulaci povrchových vod. Z výsledků vodohospodářského řešení nádrže vyplynulo, že pro klimatické podmínky, které odpovídaly kontrolnímu období 1961–1990, by bylo možné z nádrže se sníženou úrovní kóty hráze (varianta 2) zajistit celkové nalepšení 0,73 m³/s při zabezpečení dle doby trvání 98,5 %. Pro výhledové období 2070–2099 by odhadované nalepšení pokleslo na úroveň 0,62 m³/s. Pomocí simulačního modelování funkce nádrže (konstrukční parametry nádrže a způsob manipulace v zásobním prostoru nádrže byly předběžně navrženy) bylo ověřeno, že i pro výhledové období 2070–2099 by bylo možné zajistit odběr alespoň na úrovni 200 l/s. Realizace nové nádrže je opatření vnímané v současné době jako velmi kontroverzní. Vzhledem k tomu, že opatření vede ke zhoršení fyzikálních podmínek dotčeného útvaru povrchových vod, z hlediska platné legislativy ve vodním hospodářství by bylo třeba pro jeho realizaci uplatnit výjimku z dosažení cíle ochrany vod (viz kapitolu 4.2.4). Jedná se tedy o opatření, které bude legitimní až v okamžiku, kdy jakákoliv jiná opatření nebudou dostatečně efektivní.

Doporučením pro povodí Orlice v souvislosti s pozorovaným nepříznivým trendem ve vývoji hladiny podzemní vody ve vrtech blízko Borohrádku (vrty VP0125 Borohrádek, VP0126 Žďár nad Orlicí a VP0127 Poběžovice u Holic), kde je v současné době prováděn odběr podzemních vod, je zajištění podrobnějšího monitoringu vývoje hladiny podzemní vody, popřípadě přehodnocení stávající míry využívání vodního zdroje.

6.2 Závěry a doporučení pro pilotní povodí Blšanky

V povodí Blšanky došlo mezi periodami 1968–1990 a 1991–2011 k poklesu dlouhodobého průměrného průtoku téměř o 30 %. V roce 2007 bylo zaznamenáno úplné vyschnutí dolního úseku toku Blšanky. Hydrogeologický rajon Holedeč je dlouhodobě hodnocen jako pasivní z hlediska vodohospodářské bilance. Pro povodí Blšanky tedy bylo klíčové zabývat se současnou mírou využívání zdrojů podzemní vody v jímacím území Holedeč a jeho vlivem na množství vody v povrchovém toku. Dále byla hledána opatření pro posílení vodnosti toku během období malých průtoků.

Z výsledků posouzení vydatnosti zdrojů podzemní vody v hydrogeologickém rajonu Holedeč vyplynulo, že by bylo možné stávající odběr na úrovni přibližně 33 l/s navýšit o dalších 15 l/s. Vzhledem ke skutečnosti, že většina takto získaných vodních zdrojů by byla využita mimo povodí Blšanky a navýšení stávajících odběrů by vedlo k prodloužení úseku toku, kde je hladina podzemní vody pod úrovní koryta, nedoporučujeme takový krok realizovat. Chybějící vodní zdroje v oblastech zásobovaných vodárenskou společností Severočeské vodovody a kanalizace, s.r.o., doporučujeme doplnit z úpravny vody Žlutice, která při současných odběrech a nastavení manipulačního řádu disponuje rezervou vodních zdrojů na úrovni 60 l/s. Dále bylo zjištěno, že hydrogeologický rajon Holedeč není uzavřený z hlediska bilance podzemních vod. Jímání pro úpravnu vody Holedeč využívá vodní zdroje i ze sousedního rajonu Rakovnické pánve. Vzhledem k omezeným

vodním zdrojům vlastního hydrogeologického rajonu Holedeč vede tato skutečnost k nepříznivým výsledkům hodnocení vodohospodářské bilance, neboť způsob hodnocení neumožňuje vliv sousedního rajonu zohlednit. Dále se prokázalo, že snížení dotace zásob podzemních vod očekávané v souvislosti s projevy klimatické změny by vedlo k zaklesnutí hladiny podzemních vod především v oblastech rozvodnic. Při poklesu dotace zásob podzemních vod o 15 % by mohlo dojít k poklesu hladiny podzemní vody o 4–6 metrů v obcích Čeradice, Radíčeves, Citoliby, Tuchořice, Želeč, Deštnice a v přilehlém okolí.

Pro řešení nedostatku povrchových vod doporučujeme omezit využití nádrže Vidhostice pro chov ryb a využívat zásobní prostor nádrže především pro nalepšování průtoků v Blšance během málovodného období. V dalším kroku by bylo možné vybudovat novou vodní nádrž na Blšance v profilu pod obcí Kryry (Hřebíčkovský mlýn), která by mohla přispět nalepšením průtoků až o 100 l/s při uvážení klimatických podmínek během období 1968–1990. S uvážení zvýšení teploty o 3 °C by však efekt nalepšení poklesl až o 50 %. Srovnatelnou míru nalepšení by mohla zajistit rovněž nádrž realizovaná v profilu zařazeném do Generelu území chráněných pro výhledovou akumulaci povrchových vod na Podvineckém potoce nad obcí Kryry (MZe a MŽP, 2011). Velikost nalepšení z nádrže byla hodnocena rovněž ve studii Kašpárek a Mrkvičková (2008). Při uvažovaném zásobním objemu nádrže 5 mil. m³ byla velikost nalepšení z nádrže k výhledovému období 2070 až 2100 odhadována v rozsahu 52–88 l/s v závislosti na uvažovaném scénáři klimatické změny. Pro upřesnění návrhových parametrů nádrží by bylo vhodné zřídit monitoring velikosti průtoku v profilech uvažovaných nádrží nebo alespoň pokračovat v jednorázových měřeních průtoků ve vhodně zvolené síti doplňkových vodoměrných profilů.

Pokud by v souvislosti s rostoucím vláhovým deficitem došlo k dalšímu zvýšení požadavků na odběry vody pro zemědělskou závlahu, pravděpodobně by bylo nejrobustnějším řešením nedostatku vody v povodí Blšanky realizovat převod vody z nádrže Nechranice nebo z nádrže Žlutice do jednoho z profilů buď existující, nebo nově postavené vodní nádrže. Přivaděč by mohl dále pokračovat až do povodí Rakovnického potoka, kde dochází ke stejnému vývoji hydrologických poměrů jako v povodí Blšanky.

7 Summary

The monograph summarizes the results of a research project called "Research on adaptation measures to eliminate the impacts of climate change in regions of the Czech Republic", which was carried out by the Department of Hydrology of the T. G. Masaryk Water Research Institute in 2008–2012. The project was supported by the National Agency for Agricultural Research of the Ministry of Agriculture of the Czech Republic.

The aim of the project was to provide a guidance document for organisations involved in the process of water management planning and other subjects which are willing to act pro-actively in context of adaptation to climate change in water management. Proposed methodologies were tested and applied in three pilot river basins in the Czech Republic – in the Orlice river basin, in the Chrudimka river basin (both sub-basins of the Upper and Middle Elbe river district) and in the Blšanka river basin (a sub-basin of the Ohre and lower Elbe river district). The guidance is focused on measures for eliminating the impacts of climate change on long-term hydrological balance or on the structure of hydrological balance components within the annual cycle.

The monograph is divided into one introducing and four main chapters. The second chapter includes short descriptions of the pilot river basins and identifies the main observed or expected problems of water management in these regions. The third chapter contains the recommended analyses for climate change impact assessment, identification of potential hazardous events and risk assessment. The descriptions of proposed analyses are followed by examples of their implementation on one of the pilot river basins. The fourth chapter deals with the proposal of suitable adaptation options and describes the criteria for comparing the options and decision making. The fifth chapter presents the examples of adaptation measures, which were proposed to eliminate the most significant risks of climate change impact on the pilot river basins.

Generally, there exist mainly two options to deal with the fact that the increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere probably causes the global environmental change. The first option is focused on eliminating the main cause of the problem – the greenhouse gases emissions. The goal of these actions is to mitigate the scope of the climate change. The second option is focused on the process of adaptation to moderate the expected harmful impacts of global environmental change and to exploit possible beneficial opportunities. Any intervention, which leads to lowering the vulnerability of the man-made or natural system to the predefined acceptable level, can be considered as an adaptation measure. The vulnerability can be understood as a risk to be adversely affected. So, we can define an adaptation strategy as a tool for better coping with such a risk.

The challenging task in the adaptation measures proposal is to deal with large uncertainty of results of the climate change impact modelling. As it is not really likely that a clear answer about the scope and timing of the climate change impacts will be soon available, there is a need for integrating the uncertainty into the process of adaptation measures proposal. On the other hand, the implementation of any adaptation measure requires to ensure legitimacy of such a decision and public support. It is also essential to compare the pros and cons of the action. The guidance for the adaptation measures proposal involves the methods of risk assessment and risk management into the process of decision making. This approach enables to count on direct impacts driven mainly by the environment and for the indirect impacts related to the reaction of the society to the environmental changes as well.

When making a decision about implementing an adaptation measure, public consultation process creates a good opportunity for all stakeholders and other subjects to take part in the discussion and it helps to gain public support for such an action. Public consultation of the River Basin District Plans represents a very suitable platform for presenting and discussing adaptation measures.

From the results of modelling of adaptation measures efficiency, we can conclude that in the regions of the Czech Republic the adaptation measures on the water management infrastructure will have the most significant effect on availability of water resources. The effect of the adaptation actions in agriculture and landscaping is mainly based on protecting the quality of available water, so such measures play an important role in adaptation process as well.

Literatura

- Baier, J., Uhlík, J. (2011) Modelové řešení proudění podzemní vody při uplatnění břehové infiltrace podél toku Orlice. Technická zpráva, Progeo, s.r.o., Praha.
- Buishand, TA., Brandsma, T. (2001) Multisite simulation of daily precipitation and temperature in the Rhine basin by nearest neighbor resampling. *Water Resources Research*, 37(11), 2761–2776.
- Bříza, J. (1969) Orientační inženýrsko-geologický průzkum pro vodní dílo Mělčany u Dobrušky. Technická zpráva, MS Stavební geologie, Praha.
- ČSN 75 2405 (2004) *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*. Český normalizační institut, Praha.
- ČSN 75 7221 (1998) *Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod*. Český normalizační institut, Praha.
- ČSN IEC 300-3-9 (1997) *Management spolehlivosti – Analýza rizika technologických systémů*. Český normalizační institut, Praha.
- Durance, I., Ormerod, SJ. (2007) Climate change effects on upland stream macroinvertebrates over a 25-year period. *Global Change Biology*, 13(doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01340.x), 942–957.
- EC-b (2012) *A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources, COM/2012/0673 final*. European Commission, Brusel.
- ECE (2009) *Guidance on Water and Adaptation to Climate Change*. Economic Commission for Europe, New York, Ženeva, ISBN 978-92-1-117010-8.
- Hanel, M., Vizina, A. (2010) Hydrologické modelování dopadů změn klimatu v denním kroku: korekce systematických chyb a přírůstková metoda. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 52(mimořádné č. II), 17–21, příloha Vodního hospodářství č. 11/2010.
- Hanel, M., Vizina, A. (očekávaný rok publikace 2013) Hydrologické modelování dopadů změn klimatu, skriptum České zemědělské univerzity v Praze, Fakulty životního prostředí, nepublikováno.

- Hanel, M., Kašpárek, L., Horáček, S. (2007) Studie hydrologických poměrů v povodí Srpiny. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M., et al. (2011) *Odhad dopadu klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-87402-22-1.
- Hermann, Z. (2007) Varianty řízené dotace podzemních vod z VD Mělčany. Technická zpráva, Povodí Labe, s.p.
- Hewitt, CD., Griggs, DJ. (2004) Ensembles-based Predictions of Climate Changes and their Impacts. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 85, 566.
- Hrkal, Z. (2010) Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Hrkal, Z. (2011) Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR, DÚ 4 Návrh pilotních lokalit. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Jedlička, B., Moravcová, V., Žáček, L. (1984) Účinek kolmatace ve vsakovacích nádržích. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, Účelová publikace VÚV 11.
- Johnstone, K., Brown, A., Goldthorpe, M. (2009) *Adapting to climate change: a guide to its management in organizations*. Institute of Environmental Management and Assessment, Lincoln.
- Kašpárek, L. (2009) O možnostech rekonstrukce vyčíslení řad průtoků. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 51(mimořádné č. I), 13–16, příloha Vodního hospodářství č. 11/2009.
- Kašpárek, L., Mrkvičková, M. (2008) Studie potřeb vody pro povodí vodních toků Blšanka a Liboc. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Kašpárek, L., Vizina, A., Vlnas, R., Vyskoč, P., Pícek, J. (2008) Posouzení dopadů klimatické změny na vodohospodářskou soustavu povodí Labe. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Kašpárek, L., Vyskoč, P., Vizina, A., et al. (2009a) Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Labe. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
- Kašpárek, L., Vyskoč, P., Vizina, A., et al. (2009b) Výhledová studie potřeb a zdrojů vody v oblasti povodí Ohře, II. Etapa. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., a Vodohospodářský rozvoj a výstavba, a.s., Praha.
- Kašpárek, L., Horáček, S., Pavlásek, J., et al. (2011) *Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopnosti v povodí Rakovnického potoka*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-87402-14-6.

- Kněžek, J. (1977) Výzkum ochrany podzemních vod před znečištěním škodlivinami. Technická zpráva, archiv SČVK, a.s.
- Kožín, R., Hanel, M., Mrkvičková, M. (2011) Validace generátoru srážek a teploty vzduchu pro simulace hydrologické bilance na povodí Chrudimky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 53(mimořádné č. III), 14–17, příloha Vodního hospodářství č. 11/2011.
- Kos, Z. (2011) Dynamický minimální zůstatkový průtok pod nádržemi. Technická zpráva, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha.
- Kyselý, J. (2009) Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *International Journal of Climatology*, (29), 1745–1758, doi:10.1002/joc.1784.
- Mísař, Z., Havlena, V., Weiss, J. (1983) *Geologie ČSSR I Český masiv*. Státní pedagogické nakladatelství v Praze.
- MZe a MŽP (2011) *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha.
- Nakicenovic, N., Swart, R. (2000) *Special report on emissions scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Novický, O., Treml, P. (2009) *Teploty vody v tocích České republiky*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, ISBN 978-80-85900-91-0.
- Novický, O., Vizina, A., Kašpárek, L., et al. (2009) Klimatická změna v povodí Vltavy. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
- Olmer, M. (2006) *Hydrogeologická rajonizace České republiky – Sborník geologických věd 23*. Sborník geologických věd 23, Praha.
- Pastuszek, F. (2011) Studie břehové infiltrace z Orlice a orientační posouzení umělé infiltrace v okolí navrhované nádrže Mělčany z hlediska jakosti a kolmatace. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Patera, A., Nacházel, K., Fošumpaur, P. (2002) *Nádrže a vodohospodářské soustavy 10*. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.
- Pícek, J., Vyskoč, P., Zeman, V. (2008) Simulační model množství povrchových vod: zásobní funkce vodohospodářské soustavy. Technická zpráva, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
- Preteš, J., ed. (2010) *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření (IV)*. ČHMÚ, závěrečná zpráva o řešení projektu VaV SP/1a6/108/07 za rok 2010.
- Procházka, M., Deyl, M., Novický, O. (2001) *Technology for detecting trends and changes in time series of hydrological and meteorological variables – user manual*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

- Prudhomme, C., Wilby, R.L., Crooks, S., Kay, A.L., Reynard, N.S. (2010) Scenario-neutral approach to climate change impact studies: Application to flood risk. *Journal of Hydrology*, 390, 198–209.
- Pumma, J.M., Gold, S. (2011) *Formulating Climate Change Scenarios to Inform Climate-Resilient Development Strategies: A Guidebook for Practitioners*. United Nations Development Programme, New York, USA.
- Šauer, P. (2008) *Základy ekonomiky životního prostředí I*. Nakladatelství a vydavatelství litomyšlského semináře, Praha, ISBN 978-80-86709-13-0.
- Šercl, P. (2008) Hodnocení metod odhadu plošných srážek. *Meteorologické zprávy*, 61(2).
- Slámová, R., Martínková, M., Krysanova, V. (2010) Strategie adaptace na hydrologické dopady změny klimatu. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 58(4), 233–244, doi: 10.2478/v10098-010-0022-0.
- Sovina, J. (2009) *Optimalizace operativního řízení vodohospodářských soustav v souvislosti s hydrologickými extrémami – disertační práce*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí.
- Tallaksen, L.M., van Lanen, H.A.J. (2004) *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Elsevier, Amsterdam.
- Trenberth, K.E., Dai, A., Rasmussen, R.M., Parsons, D.B. (2003) The changing character of precipitation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 84, 1205–1217.
- Tuhovčák, L., Ručka, J., Kožíšek, F., et al. (2010) *Analýza rizik veřejných vodovodů*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno, ISBN 978-80-7204-676-8.
- Uhlík, J. (2006) Jímací území Litá, přírodní rezervace Zbytka – hydraulické a hydrologické hodnocení ovlivnění odběrů při variantách institutu minimální hladiny ve vrtu Lt-5. Technická zpráva, Progeo, s.r.o.
- Uhlík, J. (2011) Simulace hydraulického vlivu projektované nádrže Mělčany na proudový systém Litá. Technická zpráva, Progeo, s.r.o., Praha.
- Uhlík, J. (2012) Hydraulické a hydrologické zhodnocení hydrogeologického rajonu 4550 a jímacího území Holedeč. Technická zpráva, Progeo, s.r.o., Praha.
- Vacek, J. (1958) *Hydrogeologická studie území připadajícího v úvahu pro vybudování vodovodu žatecko-lounského*. Hydrogeologický průzkum a jímání vody, Praha, archiv SČVK, a.s.
- White Paper (2009) *WHITE PAPER: Adapting to climate change: Towards a European framework for action*. Commission of the European Communities, Brusel.

Redakční rada

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Ing. Václav Bečvář, CSc., Ing. Šárka Blažková, DrSc., Ing. Petr Bouška, Ph.D., RNDr. Blanka Desortová, CSc., RNDr. Josef Fuksa, CSc., Ing. Jana Hubáčková, 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

NAVRHOVÁNÍ ADAPTAČNÍCH OPATŘENÍ PRO SNIŽOVÁNÍ DOPADŮ KLIMATICKÉ ZMĚNY NA HYDROLOGICKOU BILANCI V ČR

Ing. Magdalena Mrkvičková, Ing. Roman Kožíň, Ing. Martin Hanel, Ph.D., Ing. Adam Beran,
Ing. Jan Brabec, Ing. Oldřich Novický a Ing. Renata Fridrichová

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, v roce 2012

Odpovědný redaktor: Mgr. Josef Smrťák

Vydání první

Počet stran: 133

Náklad: 200 ks

Tisk: Gaudeo, s.r.o.

ISBN 978-80-87402-25-2