



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra hydrauliky a hydrologie**

**Vliv změn klimatu a kyselá atmosférická depozice na ekologický
průtok horského povodí v podmínkách střední Evropy**

**Impact of climate changes and acid atmospheric deposition
on ecological discharge of a mountain catchment in Central Europe**

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

Vedoucí práce: Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.

Eva Pažourková

Praha, 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pažourková Jméno: Eva Osobní číslo: 394925

Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie

Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3647R015) Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vliv změn klimatu a kyselé atmosférické depozice na ekologický průtok horského povodí v podmínkách střední Evropy

Název bakalářské práce anglicky: Impacts of climate changes and acid atmospheric deposition on ecological discharge of a mountain catchment in Central Europe

Pokyny pro vypracování:

Tato studie by měla zahrnovat:

- Stručný rozbor problematiky ekologického průtoku v horských oblastech mírného podnebí střední Evropy.
- Popis geneze odtoku v podmínkách alpského a horského prostředí.
- Analýza vlivu atmosférické depozice síry a dusíku na okyselování vodního prostředí a jeho oživení.
- Použití dostupných klimatických scénářů pro odhad denních teplot vzduchu a úhrnů atmosférických srážek.
- Aplikace modelu HBV k predikci denní průtoků v období klimatického normálu 2071-2100.
- Závěrečná diskuze na téma změn dosavadního chápání ekologického průtoku v horském povodí.

Seznam doporučené literatury:

Allan, J. D., Castillo, M. M. (2007) Stream ecology: structure and function of running waters. Springer (2nd edition), 436 pp.

IPCC (2013). Climate change 2013: The physical science basis. The fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. WMO, Geneva.

Křeček, J., Hořícká, Z. (2006) Forests, air pollution and water quality: influencing health in the headwaters of Central Europe's "Black Triangle". Unasylva 57(2): 46-49.

Shaw, E.M. (2011): Hydrology in practice. 4th edition, Span Press, London, 560 pp.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Josef Křeček, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 24.2.2016 Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2016

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

25. 2. 2016

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně, bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem č. 1/2009 ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze 22. 5. 2016

Eva Pažourková

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu této práce Doc. Josefu Křečkovi za odborné vedení a rady při jejím zpracování.

Tato práce vznikla za podpory projektů Earthwatch Institute (Mountain Waters of the Czech Republic), GAČR (CLIMHEAD) a SGS-ČVUT (Ekologický průtok v horském povodí ovlivněném kyselou atmosférickou depozicí, 14/128/OHK1/2T/11).

Obsah

Obsah	5
Abstrakt.....	7
Abstract	7
Klíčová slova	8
Keywords	8
Seznam použitých zkratk	8
1. Úvod	9
2. Význam horských povodí.....	9
2.1 Geografické členění	9
2.2 Tvorba a ochrana vodních zdrojů – množství a kvalita vody	11
2.2.1 Ochranná pásma vodních zdrojů (OPVZ)	12
2.2.2 Citlivé oblasti.....	12
2.2.3 Zranitelné oblasti	13
2.2.4 Tvorba vodních zdrojů.....	13
2.2.5 Chráněné oblasti přirozené akumulace vody (CHOPAV).....	14
2.2.6 Území chráněná pro akumulace povrchových vod	14
2.3 Protipovodňová ochrana	14
2.3.1 Povodeň	14
2.3.2 Ochrana před povodněmi.....	15
2.4 Sucho	15
2.4.1 Příčiny sucha	16
2.4.2 Sucho hydrologické.....	16
2.4.3 Opatření proti suchu	17
2.5 Biodiverzita	17
3. Ekologický průtok.....	18
3.1 Definice	18
3.2 Zhodnocení dosavadních přístupů	19
3.3 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny a acidifikace.....	19
3.3.1 Ekologický průtok v podmínkách acidifikace	19
3.3.2 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny.....	20
4. Klimatické změny a kyselá atmosférická depozice	21
4.1 Klimatické změny	21
4.1.1 Metodika stanovení klimatických změn	21
4.1.2 Projevy a dopady klimatických změn	22
4.1.3 Možná opatření.....	25
4.2 Kyselá atmosférická depozice	25
4.2.1 Emise síry	26
4.2.2 Emise dusíku	26
4.2.3 Další zdroje acidifikace.....	27
4.2.4 Suchá a mokrá depozice	27
4.2.5 Kyselá atmosférická depozice v ČR a její dopady	27
5. Metodika.....	28
5.1 Zájmová povodí	28
5.1.1 Povodí L'adového plesa ve Vysokých Tatrách	29

5.1.2	Povodí Sklářského potoka v Jizerských horách.....	30
5.1.3	Dílčí povodí Litavky v Brdech.....	31
5.2	Stanovení minimálních průtoků	32
5.3	Stanovení denních průtoků modelem HBV.....	33
5.4	Odhad průtoků v období klimatického normálu 2071-2100	35
5.5	Doplňující indikace biodiverzity povrchových vod	36
6.	Výsledky a diskuze	37
6.1	Změna hodnot ekologického průtoku	37
6.2	Acidifikace prostředí.....	41
6.3	Vliv povodňových průtoků.....	41
7.	Závěry.....	43
	Seznam obrázků.....	44
	Seznam tabulek.....	44
	Seznam použité literatury.....	45

Abstrakt

Ekologický průtok je definován jako minimální průtok pro zachování přírodního prostředí tekoucích vod a jeho stanovení se liší podle regionálních podmínek. Cílem této práce je analýza vlivů změny klimatu a kyselé atmosférické depozice na pojetí ekologického průtoku v podmínkách malého povodí pramenných oblastí střední Evropy. Pro malá povodí 1. řádu tří vegetační stupňů (alpínský, smrko-jedlo-bukový a jedlo-bukový) byly pomocí modelu HBV stanoveny denní průtoky v období klimatického normálu 2071-2100. V porovnání se současným stavem lze očekávat snížení minimálních průtoků Q_{330} o 50 % v alpínském stupni (nad hranicí lesa), o 60 % ve smrko-jedlo-bukovém a o 75 % ve stupni jedlo-bukovém. V podmínkách významné kyselé atmosférické depozice se významně projevuje vliv povodňových situací na oživení vodních toků. V těchto podmínkách je účelné uvažovat geneticky rozdílné typy povodní (bleskové z přivalových dešťů, regionální z dlouhotrvajících dešťů a povodně z tání sněhu) s ohledem na epizodickou a sezónní acidifikaci povrchových vod. Pojetí ekologického průtoku by mělo zahrnovat rozmezí průtoku (spodní a horní hranici), ve kterém jsou zachovány přijatelné podmínky pro zachování vodních ekosystémů.

Abstract

Ecological discharge is generally considered as a minimum flow for sustainable life in stream channels, and its assessment differs according to regional conditions. The aim of this thesis is to analyse impacts of the global climate change, and the acid atmospheric deposition on ecological discharge in first-order streams of three vegetation units (alpine, spruce-fir-beech, and fir-beech zones). The HBV model was employed to predict the daily discharge in all three headwater units during the period of 2071-2100. In comparison with recent situation, the minimum flow Q_{330} will probably decrease by 50 % in the alpine zone (above the timber line), 60 % in the spruce-fir-beech zone, and 75 % in the fir-beech zone. But, in conditions of significant acid atmospheric deposition, flood events might be critical phenomena for the stream biota (stressing the life by low pH toxic forms of aluminium). There, it seems to be important to consider different genesis of flood events: summer rainstorms (flash floods), regional rain and snow-melt initiated floods. Therefore, the ecological discharge should consider both extreme situations: minima and maxima of stream-flow.

Klíčová slova

Ekologický průtok, Klimatické změny, Minimální zůstatkový průtok, Biodiverzita, Kyselá atmosférická depozice, Acidifikace, Sucho, Povodeň

Keywords

Ecological discharge, Climate changes, Minimal residual flow, Biodiversity, Acid atmospheric deposition, Acidification, Drought, Flood

Seznam použitých zkratek

AV	Akademie věd
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
GCM	Globální klimatický model (global climate model)
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPAV	Chráněná oblast přirozené akumulace vod
IFIM	Instream Flow Incremental Methodology
MZP	Minimální zůstatkový průtok
OPVZ	Ochranná pásma vodních zdrojů
PHABSIM	Physical Habitat Simulation
RCM	Regionální klimatický model (regional climate model)
SRES	Special Report on Emissions Scenarios (Speciální zprávy o emisních scénářů)
VÚV T. G. M.	Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garrigua Masaryka

1. Úvod

V současné době je problematika ekologického průtoku (tj. průtoku, který je předpokladem pro zachování biodiversity vodního prostředí) předmětem častých diskuzí zejména pod vlivem rostoucího antropogenního ovlivňování vodních toků a očekávaných změn klimatu. Praktické aplikace teorie ekologického průtoku se většinou omezují na zachování minimálního průtoku ve vodních tocích pod vodohospodářskými objekty. Opomíjena je dosud problematika ekologického průtoku v pramenných horských oblastech s dopady na biodiverzitu a stabilitu vodního prostředí.

Dlouhodobá hydrologická pozorování na území ČR zahrnují především větší povodí s uzavěrovými profily v nižších nadmořských výškách, v současné době však řešení aktuálních problémů vodního hospodářství vyžaduje aplikaci dat z malých povodí v horských oblastech (rostoucí rizika bleskových povodní, sezónního deficitu vodní bilance, zdraví vodních ekosystémů v návaznosti na plošné zdroje znečištění a kvalitu vody atd.). Cílem této studie je analýza možných ekologických dopadů rozsahu průtoku v horském povodí, ovlivněném kyselou atmosférickou depozicí.

2. Význam horských povodí

2.1 Geografické členění

Demek et al., [13], rozdělují georeliéf, chápáno jako ohraničený celek území vykazující shodné charakteristiky (území s podobnou nadmořskou výškou, genezí a morfologií), do pěti hlavních typů:

- Akumulační roviny
- Sníženiny (pánve, kotliny, brázdy atd.)
- Pahorkatiny (ploché s převýšením 30-75 m a členité 75-150 m)
- Vrchoviny (ploché 150-200 m a členité vrchoviny 200-300 m)
- Hornatiny (ploché 300-450 m a členité 450-600 m)

Kromě morfologie je důležitou charakteristikou zájmových povodí půdně-vegetační pokryv. Přirozenou klimaxovou vegetaci charakterizuje vegetační stupňovitost podle změny klimatu s nadmořskou výškou. Zlatník [46] popsal na území bývalého Československa deset

vegetačních stupňů podle původní skladby přirozených lesních porostů, v Tab. 1 jsou uvedeny vegetační stupně, které se vyskytují na území ČR.

Vegetační stupeň	Průměrná roční teplota (°C)	Malé vegetační období průměrná denní teplota nad 10 °C (dny)	Průměrná nadmořská výška v ČR (m n. m.)
1. dubový	> 9	> 170	150-300
2. buko-dubový	8,5	cca 165	200-400
3. dubo-bukový	8	cca 155	300-500
4. bukový	6,5	cca 145	400-700
5. jedlo-bukový	5,5	cca 130	600-1000
6. smrko-jedlo-bukový	4	cca 115	550-1200
7. smrkový	2	cca 80	1000-1350
8. klečový (subalpínský)	1	cca 50	> 1250

Tab. 1: Vegetační stupně na území ČR

V horských povodích se vyskytují vegetační stupně:

4. Bukový vegetační stupeň

Optimální dřevinou je buk (*Fagus sylvatica*), uplatnění dalších dřevin je pouze sporadické. V tomto pásu převažuje zemědělská půda, své zastoupení najdou i louky a pastviny.

5. Jedlo-bukový vegetační stupeň

Tato oblast se nachází ve vyšších polohách vrchovin a středních polohách hornatin. Do dnešních dob je zde vysoké zastoupení lesů soustředěné v rozsáhlých komplexech, v přírodních smíšených lesích se vyskytovaly hlavně jedle, buk a smrk, dnes jsou nahrazeny vysoce produktivními smrkovými monokulturami. Zbytky přírodních lesů jsou sdruženy v pralesových rezervacích. Charakteristický je výskyt rašelinišť. Jedlo-bukový vegetační stupeň je poslední, kde je možné pěstování polních plodin, zastoupeny jsou zde i louky (s vlhkomilnými a rašeliništními druhy) a pastviny.

6. Smrkovo-jedlo-bukový vegetační stupeň

Zastoupení smrku je větší než v předchozím stupni. Typické jsou hluboké rašeliny s kosodřevinami a boreálními druhy. Nad zemědělskou půdou, která je užívána jako louky a pastviny, převládá v současnosti lesní porost, tvořený hlavně smrkovou monokulturou.

7. Smrkový vegetační stupeň

Horní hranice tohoto stupně je zároveň horní hranicí lesa. Fauna i flóra odpovídá severské smrkové tajze s druhy ze sibiřských a boreálních oblastí. V tomto stupni již není zemědělství možné, kvůli špatným klimatickým podmínkám, pouze odlesněné plochy je možné využívat jako louky a pastviny. Přebírají zde smrkové porosty průměrného vzrůstu, které mají hlavně ochranný a vodohospodářský význam. Právě v tomto vegetačním stupni jsou lesní porosty nejvíce náchylné k poškození z důvodu působení kyselé atmosférické depozice.

8. Klečový vegetační stupeň

Je charakterizován téměř souvislým porostem z kosodřevin. V místech, kde nejsou kosodřeviny, rostou travnato-bylinná alpinská společenstva. V dnešní době jsou tyto oblasti ohroženy nadměrnou rekreační činností.

9. Alpínský vegetační stupeň

Nad horní hranicí lesa je stupeň Alpínský (1900 - 2200 m n. m.) - tato přírodní krajina je bez stromů a větších keřů, vegetaci tvoří jen bylinný porost (alpínsko-travnatobylinná společenstva s typickými vysokohorskými druhy organismů arкто-alpínského rozšíření).

Evidence vegetačních stupňů může být modifikována zvláštnostmi mezoklimatu (např. föhnové efekty) i mikroklimatu (např. lokální inverze nebo vrcholový fenomén). Typickým projevem těchto klimatických zvláštností je inverze vegetační stupňovitosti v hlubších údolích, ovlivněných hromaděním chladného vzduchu.

Biota v určité oblasti a nadmořské výšce nám může prozradit, o jaký vegetační stupeň se jedná, bohužel v dnešní době intenzivního zemědělství a hospodaření jsou přirozené druhy často nahrazovány. Nejlépe je tento jev pozorovatelný na lesnickém hospodářství, kde je možné pozorovat nahrazování přirozených druhů za smrkové monokultury. Kromě této klasifikace existuje lesnický typologický systém ÚHÚL, [12], kde soubory lesních typů jsou řazeny mimo vegetační stupně, [46].

2.2 Tvorba a ochrana vodních zdrojů – množství a kvalita vody

Podmínky ochrany a tvorby vodních zdrojů upravuje je Zákon o vodách (254/2001 Sb.), [44], který k tomuto účelu používá následující legislativní nástroje:

2.2.1 Ochranná pásma vodních zdrojů (OPVZ)

OPVZ jsou stanoveny vodoprávním úřadem k ochraně jakosti, vydatnosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemní a povrchové vod využíváných nebo využitelných pro zásobování pitnou vodou. Stanovení ochranných pásem je vždy veřejným zájmem. Odpadne-li důvod ochrany, může vodoprávní úřad změnit či zrušit ochranné pásmo.

Obecně je v OPVZ zakázána jakákoliv činnost, která by mohla vést ke zhoršení vydatnosti, jakosti či zdravotní nezávadnosti vodního zdroje. Činnosti, které vedou k nežádoucím, poškozujícím nebo ohrožujícím vlivům na vodní zdroj stanovuje vodoprávní úřad, který je zakazuje. Za prokázané omezení užívání pozemků a staveb v ochranném pásmu, náleží vlastníkům těchto pozemků a staveb náhrada škody, kterou je povinen zaplatit subjekt využívající vodní zdroj.

Ochranná pásma se dělí na ochranná pásma I. stupně, která slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostřední blízkosti odběrného nebo jímacího zařízení, a na ochranné pásmo II. stupně, které slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti tohoto vodního zdroje.

Ochranné pásmo I. stupně

Je vodoprávním úřadem stanoveno jako souvislé území. U vodárenských nádrží je ochranné pásmo I. stupně stanoveno po celé ploše nádrže při maximálním vzduším, u ostatních nádrží s vodárenským využitím je ochranné pásmo I. stupně stanoveno 100 m od odběrného zařízení. U vodních toků záleží, zda jde o tok s jezovým vzduším nebo bez něj, zjednodušeně je ochranné pásmo 200 m nad místem odběru proti proudu, po proudu minimálně 50 m od místa odběru a šířce ochranného pásma 15 m, ve vodním toku zahrnuje minimálně jednu třetinu jeho šířky v místě odběru. U zdrojů podzemní vody je ochranné pásmo I. stupně vymezeno hranicí 10 m od jímacího zařízení.

Do ochranného pásma I. stupně je zakázán vstup a vjezd mimo osoby, které mají právo k odebrání vody z tohoto vodního zdroje nebo pro osoby, které jsou vlastníky vodního díla.

Ochranné pásmo II. stupně

Ochranné pásmo II. stupně je vymezené území vně ochranného pásma I. stupně, může být tvořeno jedním souvislým nebo několika oddělenými celky v hydrologického povodí nebo hydrogeologického rajonu.

2.2.2 Citlivé oblasti

Za citlivé oblasti se považují oblasti útvarů povrchových vod, u kterých v důsledku zvýšené koncentrace živin může dojít v blízké budoucnosti k nevyhovující jakosti vod. Dále jsou

to oblasti, které se využívají, nebo je zde předpoklad, že se budou využívat jako zdroje pitné vody a koncentrace dusičnanů v těchto vodách přesahuje hodnotu 50 mg/l nebo u nichž je z hlediska zájmů chráněných tímto zákonem nutný vyšší stupeň čištění odpadních vod.

Citlivé oblasti vznikají dle nařízení vlády a ze zákona je dáno, že tyto oblasti podléhají přezkoumání v pravidelných intervalech, které nejsou delší než 4 roky.

2.2.3 Zranitelné oblasti

Jedná se o oblasti povrchových nebo podzemních vod, které jsou využívány nebo jsou určeny jako zdroje pitné vody, v nichž hodnota koncentrace dusičnanů přesahuje 50 mg/l nebo této hodnoty mohou dosáhnout. Zároveň jde o vody povrchové, u nichž dochází k zhoršení jakosti vody z důsledku vysoké koncentrace dusičnanů ze zemědělských zdrojů.

Tyto oblasti jsou stanoveny nařízením vlády, které zároveň stanoví možnosti používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření.

Území podléhá pravidelným přezkoumání s případnými úpravami v intervalech, které nejsou delší než 4 roky, při přezkoumání se hodnotí úspěšnost navržených opatření.

2.2.4 Tvorba vodních zdrojů

Zdroje vody je možné rozdělit na zdroje podzemní a povrchové. Poměr jejich spotřeby je téměř shodný, podzemní voda je využívána asi o procento více. Je zřejmé, že každý z těchto typů má svoje klady a zápory.

Podzemní voda je obecně kvalitnější, protože nebývá tolik ovlivňována okolními vlivy jako voda povrchová. V podzemní vodě je minimum organismů, je téměř bez kyslíku, teplotně je stálější než voda povrchová, má vyšší obsah rozpuštěných látek a minerálů. Fyzikálně-chemické složení podzemní vody závisí především na půdě a horninách, s nimiž přichází do styku. Zdroje podzemní vody jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Zdroje podzemní vody můžeme považovat za obnovitelné, záleží na množství srážek a infiltrační schopnosti půdy.

Povrchová voda je mnohem náchylnější na vnější vlivy, má vyšší obsah kyslíku, koncentraci organismů, teplotně je méně stálá. Jakost vody závisí na množství znečištění z bodových zdrojů, na průtočném množství a mění se po délce i šířce toku, u nádrží se zase mění v závislosti na hloubce. Na druhou stranu jímání povrchové vody je snadnější, ale její úprava na vodu pitnou je většinou nákladnější, než je tomu u vody podzemní. Jsou dotovány vodami podzemními a srážkami.

Obecně lze říct, že pro možnou tvorbu či doplňování vodních zdrojů musí být splněny některá kritéria. Například pro možnou infiltraci do půdy nesmí být déšť příliš prudký, aby nedošlo pouze k povrchovému odtoku, a zároveň půda musí být v dobrém stavu, aby měla zachovanou

infiltrační schopnost. V dnešní době, kdy na našem území je velká část ploch zpevněných, nedochází k infiltraci v takové míře a dešťová voda je odváděna přímo do toků nebo do ČOV, což způsobuje její rychlý odtok z území. V důsledku těchto změn a mnoha dalších došlo ke zmenšení schopnosti udržení vody v krajině na našem území, což zhoršuje dotování vodních zdrojů. I ve vodním zákoně je uvedeno, že vlastníci pozemku se o ně mají starat tak, aby nedocházelo k odnosu půdy erozní činností vody, a mají dbát o zlepšení retenční schopnosti krajiny.

2.2.5 Chráněné oblasti přirozené akumulace vody (CHOPAV)

Jedná se o oblasti, které pro své přírodní podmínky tvoří významnou přirozenou akumulaci vod. Tyto oblasti určuje vláda svým nařízením. V oblastech CHOPAV je zakázáno zmenšování a odvodňování lesních pozemků, odvodňování zemědělských pozemků, těžení rašeliny, radioaktivních surovin a nerostů povrchovým způsobem, a dále ukládání radioaktivních odpadů a oxidu uhličitého.

2.2.6 Území chráněná pro akumulace povrchových vod

Je to území morfologicky, geologicky i hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchových vod sloužící pro zmírnění následků povodní a sucha. V územně plánovací dokumentaci jsou tyto oblasti označeny jako území chráněná pro akumulaci povrchových vod. Činnosti, které by vedly ke snížení nebo podstatnému ztížení budoucí funkce těchto území, jsou zakázány.

Soupis území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území sestavuje Ministerstvo zemědělství s Ministerstvem životního prostředí. Tento dokument slouží jako podklad územně plánovací dokumentace.

2.3 Protipovodňová ochrana

2.3.1 Povodeň

Povodní se rozumí takový jev, kdy dojde k přechodnému a výraznému zvýšení hladiny vodního toku nebo jiných povrchových vod, při kterém voda zaplavuje území nacházející se mimo koryto vodního toku a může způsobit škody na majetku či životech. Povodně mohou být způsobeny přírodními jevy, jako jsou tání sněhu, zvýšený srážkový úhrn nebo chod ledů. Povodeň může být způsobena i jinými událostmi, což jsou havárie vodních děl způsobující povodňovou vlnu.

Vyhlášení a ukončení povodně u nás charakterizují stupně povodňové aktivity, které máme celkem tři (značící bdělost, pohotovost, ohrožení).

2.3.2 Ochrana před povodněmi

Je zajištěna systematickou prevencí a operativními opatřeními. Tento pojem označuje činnosti a opatření k předcházení a zvládnutí povodňového rizika v ohroženém území. Operativní opatření se řídí podle povodňových a krizových plánů.

K zajištění ochrany před povodněmi je každý povinen umožnit vstup, případně vjezd na své pozemky, popřípadě stavby těm, kteří řídí, zajišťují a provádějí zabezpečovací a záchranné práce, přispět na příkaz povodňových orgánů osobní a věcnou pomocí k ochraně životů a majetku před povodněmi a řídit se příkazy povodňových orgánů. Pokud při této činnosti vznikla vlastníkově pozemku či stavby škoda, má nárok na její náhradu.

Od devadesátých let minulého století Českou republiku postihují extrémní povodně, které mají za následky katastrofální škody na veřejných i privátních subjektů a bohužel také ztráty na životech, jejichž počet přesáhl 100 obětí. Od té doby vláda ČR schválila několik usnesení, která se zabývají problematikou povodní a lepší prevencí před nimi. Těmito směrnici byla například definována organizace povodňových orgánů a komisí, povodňové plány a vymezení záplavových území. Dále byla v roce 2010 vládou přijat Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodně blízkých opatření, v které jsou i přírodně blízká opatření usnesena jako přijatelná a zároveň byla označena jako rovnocenná opatření k technickým návrhům, které byly do této doby většinou zastoupeny. Dále se zabývá provázaností protipovodňových opatření s opatřeními na změnu klimatu. Koncepce dále zahrnuje požadavky evropské směrnice 2007/60/ES o vyhodnocování a zvládnutí povodňových rizik, konkrétně vymezení oblastí s významným povodňovým rizikem, zpracování map povodňového rizika a nebezpečí a zpracování plánů pro zvládnutí povodňových rizik.

Mezi přírodně blízké opatření můžeme zahrnout snížení vodní eroze, zvýšení množství zadržené vody v krajině (neboli zvýšit její retenční schopnost), zvýšit infiltrační kapacitu půdy, eliminovat zatížení vod nadměrným přísunem živin a dbát na správné hospodaření v oblasti zemědělství a lesnictví.

Jako konkrétní opatření ať už technické nebo přírodní je možné uvést například revitalizace některých toků, výstavba suchých retenčních nádrží, rekonstrukce a odbahnění rybníků a vodních nádrží a mnoho dalších, [19], [26] a [44].

2.4 Sucho

Definice sucha není jednoznačná. Obecně je sucho charakterizováno nedostatkem vody způsobeným dočasným deficitem srážek oproti dlouhodobému průměru v dané lokalitě,

v tomto případě mluvíme o suchu meteorologickém, které vyjadřuje primární příčinu sucha. V případě zhoršování situace se začne projevovat pokles disponibilního množství vody v půdě, pak hovoříme o suchu zemědělském. Pokud jsou deficitně ovlivněny zdroje povrchové a podzemní vody jedná se o suchu hydrologické, které ve velkém měřítku může mít dopad na životní prostředí a lidskou činnost s řadou možných socio-ekonomických dopadů.

2.4.1 Příčiny sucha

Příčiny sucha jsou přirozené, způsobené procesy v atmosféře, nebo vlivem člověka, které situaci sucha zhoršují. Jedná se především o procesy, kterými byl narušen přirozený vodní režim krajiny. Mezi ně patří činnosti špatného hospodaření v krajině (napřimování vodních toků, scelování pozemků, odstranění důležitých krajinných prvků, erozní ohrožení půdy, odvodňování, intenzifikace zemědělství atd.), zpevňování povrchů, což vede ke zhoršené infiltrační schopnosti. Mezi další aktivity, které mohou zhoršovat problémy sucha v lokálním, ale i globálním měřítku je zemědělská a průmyslová produkce. Díky globalizaci trhu, kdy věc vyprodukovaná v určité oblasti s jistým zatížením výroby na vodní zdroj je exportována stovky až tisíce kilometrů daleko. Tudíž nedochází ke spotřebě využitých vodních zdrojů v místě jejich výskytu a ještě je nutné zahrnout vodní zdroje, které byly potřebné k dopravě výrobku. Všechny tyto faktory ovlivňují negativně vodní režim. Evidence suchých oblastí v globálním měřítku je posuzována vztahem Thornthwaita (1982) pro stanovení indexu aridity AI:

$$AI = H_s/EP \quad (1)$$

kde H_s a EP jsou klimatické úhrny atmosférických srážek a potenciální evapotranspirace, pro oblasti aridní $AI < 0,2$ a semiaridní $A \in (0,2 - 0,5)$, [39].

2.4.2 Sucho hydrologické

Sucho hydrologické je charakterizováno nízkými průtoky v povrchových tocích vlivem určitého počtu po sobě jdoucích dnů bez deště. Důležitou informací ohledně výskytu nízkých průtoků je interakce základního odtoku (vyčerpávání zásob podzemní vody a pomalý hypodermický odtok) a geologického podloží zájmového povodí.

Hodnoty minimálních průtoků v tocích jsou zásadní s ohledem na požadavky pro „hygienický průtok“ vzhledem k vypouštění odpadních vod a „ekologický průtok“ vzhledem k zachování biotické složky v korytě toku.

Indikačními hodnotami hydrologického sucha jsou m-denní průtoky Q_m , stanovené pomocí čáry překročení denních průtoků. V ČR je hydrologické sucho charakterizováno obdobím, kdy průtok ve vodoteči je nižší než 355 -ti denní hodnota průtoky (Q_{355}), v Anglii například nižší než hodnota průtoky $Q_{95\%}$.

2.4.3 Opatření proti suchu

V minulosti byla ČR již několikrát sužována suchem, i přes to zatím česká legislativa pojem sucho nezná. Po loňském velice suchém roce 2015 se začíná uvažovat o legislativním zpracování sucha. Je navrhováno, že budou zavedeny tzv. stupně sucha (ukazatele intenzity sucha, podobně jako stupně povodňové aktivity). Stupně by byly vyhlášovány na základě indikátorů sucha (hodnoty určující stav zdrojů vody z pohledu disponibilního množství), podle závažnosti jednotlivých stupňů by bylo upravováno hospodaření s vodou, v nejhorších případech by mohlo vést až k zákazu odběrů vody.

Mimo tyto legislativní opatření jsou navrhovány i další, týkající se spousty oblastí zájmů, od staveb malých vodních nádrží a revitalizací již stávajících, zlepšení monitoringu a informovanosti, přepracování manipulačních řádů nádrží pro zefektivnění provozu v suchých obdobích, zlepšení funkčnosti závlah a jejich revize až po zdražení odběrů vody a změnu struktury těchto plateb a mnoho dalších. Vzhledem k širokému rozsahu oblastí, které sucho ovlivňuje je potřeba, aby prevence proti němu byla plánovaná a postupovalo se komplexně, [19], [36] a [45].

2.5 Biodiverzita

Biodiverzita (biologická rozmanitost) se většinou vyjadřuje jako druhové zastoupení (počet druhů) na určitém území v určitém čase. Na území ČR jsou zastoupeny všechny střeoevropské základní typy prostředí s výjimkou mořských, pobřežních a velehorských; v roce 2008 byla druhová rozmanitost odhadnuta na 73 až 102 tisíc druhů (nejsou uvažovány viry, bakterie a jednobuněčné organismy), [10].

Stav biodiverzity ovlivňuje zeměpisná poloha, geologie, reliéf, klimatické podmínky, vodní režim území, ale také působení člověka. V důsledku lidské činnosti dochází k vymírání mnoha druhů a vlivem současné globalizaci světa dochází často k invazi nepůvodních druhů (např. bolševníku velkolepého) do ekosystému a k utlačování původních druhů. Tomuto jevu přispívají také klimatické změny, v důsledku globálního oteplování dochází k intenzivnější migraci organismů. Zásadním faktorem vývoje biodiverzity v povrchových tekoucích vodách je režim průtoku, především respektování limitních hodnot ekologického průtoku, [11] a [15].

3. Ekologický průtok

3.1 Definice

Ekologický průtok je definován jako minimální průtok pro zachování přírodního prostředí tekoucích vod, [16], a bývá chápán odlišně podle místních podmínek, metodika jeho stanovování se často významně liší. V podmínkách ČR je ekologický průtok (nazývaný také jako sanační nebo hygienický průtok) brán jako minimální zůstatkový průtok (MZP). Podle zákona o vodách (254/2001 Sb., [44]), je MZP takový průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku. MZP stanovuje vodoprávní orgán v rámci „povolení s nakládáním s vodami“. Při stanovení MZP by měl vodoprávní úřad uvážit podmínky toku, charakter nakládání s vodami a existující plán povodí (opatření k dosažení cílů v rámci ochrany vod). Způsob stanovení MZP je uveden v metodickém pokynu Ministerstva životního prostředí ČR, [30].

Průtok Q_{355d} (m^3/s)	Minimální zůstatkový průtok
$<0,05$	Q_{330d}
$0,05-0,5$	$(Q_{330d} + Q_{355d}) * 0.5$
$0,51-5,0$	Q_{355d}
$>5,0$	$(Q_{355d} + Q_{364d}) * 0.5$

Tab. 2: Směrné hodnoty MZP v závislosti na m-denních průtocích

V zahraničí se metodika stanovení MZP značně liší podle místních podmínek, např. v semiaridních oblastech jižní Evropy je prioritou vodního hospodářství nevysychání vodních toků (ve Španělsku se toky rozdělují do tří kategorií podle rybí osádky a jim je přisouzen MZP jako násobek hodnoty Q_{347d}). Dle Doyle et al., [15], se doporučuje uvažovat ekologický průtok v širším pojetí kontroly ekosystémů vodních toků a doporučují používat analytickou metodu stanovení „efektivního ekologického průtoku“ podle geomorfologických podmínek (analýzu vztahu mezi frekvencí výskytu a velikostí průtoku s ohledem na transport organických látek, růst řas, zadržování živin, a disturbancí bentických organismů). Průtok je chápán jako transportní medium, regulátor oživení a případně narušitel vodního prostředí. Doering a Robinson, [14], doporučují určovat hodnoty “optimálního ekologického průtoku” jako rozmezí od minimálního základního průtoku až po kulminační průtoky určité periodicity výskytu a doby trvání (povodňové průtoky, které redukují výskyt živé složky v povrchových vodách). Ve Švýcarsku se používá metodika ekomorfologického hodnocení vodních toků, [9],

s cílem posouzení celkového stavu vodního toku, míry jeho ovlivnění antropogenní činností a případného navržení jeho revitalizace. Toto ekomorfologické posuzování zahrnuje celkový pohled na strukturu vodního toku (morfologii koryta, stavebnětechnické zásahy v toku a jeho bezprostředním okolí - charakter a užívání břehů).

3.2 Zhodnocení dosavadních přístupů

V současné administrativě se dosud na ekologický průtok nahlíží převážně jako na minimální průtok, který umožňuje zachování vodních ekosystémů, ale probíhá diskuze o možném zohlednění rozmezí průtoků (nízkých i povodňových průtoků). Při minimálních průtocích je sledována podmínka neomezení života nedostatkem vody, zatímco horní hranice průtoku sleduje rizika vymílacích rychlostí a unášecí schopností vodní prostředí a redukce rybích společenstev a bentických organismů.

Jedním z možných nástrojů pro stanovení rozmezí průtoků je přírůstková metodologie proudění v toku IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), která byla vyvinuta pro hodnocení měnících se průtoků ve vodních tocích (US Fish and Wildlife Service), [22].

3.3 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny a acidifikace

3.3.1 Ekologický průtok v podmínkách acidifikace

Kyselá atmosférická depozice představuje plošné znečištění, které ovlivňuje podmínky ekologického průtoku zejména v horských povodích, chudých na bazické kationty, [27]. Jedním z hlavních negativních účinků kyselé atmosférické depozice na živou složku vodního prostředí je mobilizace hliníku v půdním prostředí a jeho následný transport do povrchových vod. Pro sladkovodní organismy jsou toxické především formy anorganického hliníku, které jsou mobilizovány při povodňovém odtoku, [41], [43].

V této problematice již proběhla řada výzkumů, například v sedmdesátých letech minulého století v povodí Hubbard Brook (New Hampshire, USA). V povodí docházelo k umělému okyselování průtoků, vodní reakce v toku byla snížena až na hodnotu $\text{pH} = 4$ a po týdnů pozorování bylo zaznamenáno významné snížení biodiverzity, [17]. Stoner et al., [41], upozorňují zejména na významný vliv stavu povodí na pufrační kapacitu vodního toku, a schopnost regulovat epizodickou acidifikaci a nárůst koncentrací hliníku po přivalových deštích v oblastech ohrožených kyselou atmosférickou depozicí.

Monitoring pH a tvrdosti vody je považován za postačující informaci pro odhad výskytu ryb a bezobratlých ve vodním prostředí, a také pro predikci možného dopadu změn vegetačního pokryvu povodí na oživení toku, [41], [43]. V pramenné oblasti řeky Tywi (Wales, UK), ohrožené acidifikací, jsou uvažována nezalesněná povodí s průměrnou tvrdostí vody nad 8 (mg/l) mnohem odolnější procesům snižování biodiversity oproti povodím zalesněným (kde pstruhová ryba zcela vymizela a diversity bezobratlých byla značně redukována), [41]. Podobné projevy jsou popisovány také na náhorní části Jizerských hor, [27], kde zejména smrkové monokultury přispívají k přidavné kyselé atmosférické depozici, pozorované ve formě podkorunových srážek (zesilované ještě ve vyšších nadmořských výškách formou horizontálních srážek z mlhy a nízké oblačnosti).

3.3.2 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny

Podle prognóz výzkumů vlivů klimatické změny dojde k výraznému oteplení planety, tento trend už můžeme pozorovat i v současnosti. Zvyšování průměrné teploty vzduchu vede ke zvyšování potencionální evapotranspiraci, zároveň je v poslední době sledována nižší relativní vlhkost vzduchu. Což znamená, že pokud máme sušší vzduch, tím snadnější je proces výparu a množství vody, které se může vypařit je větší, jestliže je tato voda dostupná.

V současné době v našich podmínkách je pozorovaný spíše vzestupný trend srážek nebo alespoň stejný jako doposud. Pokud se ovšem množství srážek nebude zvyšovat společně s růstem teploty, bude voda v krajině ubývat následkem zvýšené evapotranspirace.

Pro vývoj odtoku je podstatný průběh srážek. Celkový úhrn srážek by se prozatím měnit neměl, ale dojde k diverzifikaci rozložení srážek během roku. Ve výhledu nadcházejícího století se předpokládána změna chodu srážek, počítá se zvýšením srážkových úhrnů v zimních měsících (prosinec-březen) o 20-50 % a se snížením v letních měsících (červen-září) ve stejném rozmezí. Tyto změny budou mít dopad na průměrnou roční výšku odtoku oproti současnosti, podle optimistických prognóz dojde k poklesu o 10-15 %, ale podle pesimistických odhadů se sníží výška průměrného odtoku až o 40 %. Průtok by měl poklesnout v celém roce až na období mezi prosincem a únorem, které je ovlivněno zvýšeným úhrnem srážek a nárůstem teploty, které budou výjimečně pod bodem mrazu a nedojde tedy k zadržení vody ve sněhové pokrývce. Posun období tání sněhu směrem k zimním měsícům, bude způsobovat značné snížení odtoku v dubnu. Snížení odtoku bude od měsíce dubna pokračovat až do listopadu a může být drastické. Hrozí nebezpečí, že průtoky nebudou dosahovat MZP, které jsou stanoveny vodoprávními orgány, případně může dojít až k vysychání toků, [32].

Při velmi malém (případně žádném) průtoku v toku dochází ke snadnějšímu prohřívání vody, což vede ke zhoršení jakosti vody a k úbytku kyslíku ve vodě, zároveň není splněno dostatečné množství vody k ředění s vodami odpadními. Dále může při malém průtoku docházet

k silnějšímu ovlivnění při okyselování vod (snížení hodnoty pH). Všechny tyto aspekty zhoršují podmínky životaschopnosti vodních ekosystémů.

Klimatické změny mají za následek zvýšený výskyt extrémních jevů nejenom sucha, ale i povodní. Výskyt bleskových povodní zvyšuje nárazově průtok a svým působením také neblaze ovlivňuje vodní organismy, jak již bylo zmíněno výše. Význam klimatických změn na ekologický průtok je velmi podstatný a to ať už na jeho spodní hranici, tak i na jeho horní hranici.

Odtok v horských povodích by v celku neměl být tak významně ovlivněn klimatickými změnami, na rozdíl od poloh nižších až středních. Ovlivnění by nemělo být tak velké kvůli rozdílu ve změnách srážkového úhrnu a evapotranspirace. Ve vyšších polohách je prognózováno výrazné zvýšení srážkového úhrnu a naopak menší výpar, navíc se zde projevuje více orografie terénu. Vliv orografie na zvětšení srážek se projevuje výrazněji v zimě, zimní srážky jsou na horách tedy významnější. Z toho vyplývá, že klimatické změny budou mít vliv na jednotlivé složky vodní bilance, ale v celku vliv na odtok z povodí nebude tak znatelný, [32].

4. Klimatické změny a kyselá atmosférická depozice

4.1 Klimatické změny

V průběhu historie docházelo vždy ke změnám klimatu a neexistoval žádný vyvážený stav [1]. Ovšem změny klimatu, které pozorujeme v dnešní době, jsou podle mnohých vědců velmi rychlé a jejich dopad je velice rozsáhlý. Mezi hlavními indikátory klimatických změn patří rostoucí teplota, která koresponduje s rostoucí koncentrací skleníkových plynů v atmosféře, tyto plyny jsou často označovány za jeden z hlavních činitelů změn klimatu. Mezi nejdůležitější skleníkové plyny emitované vlivem činnosti člověka jsou oxid uhličitý (CO_2), metan (CH_4), oxid dusný (N_2O) a fluorované uhlovodíky (obsahující brom, fluor a chlor). Změny koncentrací skleníkových plynů a aerosolů v atmosféře, krajinného pokryvu a intenzity slunečního záření mění energetickou bilanci klimatického systému Země.

4.1.1 Metodika stanovení klimatických změn

Výzkumem klimatických změn a předpovědi jejich environmentálních a sociálních dopadů se zabývá mezivládní panel změny klimatu (International Panel on Climate Change dále IPCC), což je nezávislý vědecko-technický orgán. Předpověď klimatických změn je závislá na vývoji produkce skleníkových plynů v závislosti na mnoha faktorech dalšího

rozvoje společnosti (zejména ekonomického a environmentálního chování). IPCC, [24], stanovilo čtyři scénáře vývoje společnosti (SRES: A1, B1, A2, B2), podle hledisek růstu ekonomiky, počtu lidí na planetě, zájmu o životní prostředí a udržitelný rozvoj, s čímž souvisí i růst skleníkových plynů. Všechny skupiny scénářů mají stejnou pravděpodobnost jejich uskutečnění. Tyto scénáře jsou podkladem pro užívání klimatických modelů.

K předpovědi se používají tzv. globální klimatické modely (GCM), které jsou v mnoha aspektech analogií numerických modelů užívaných k předpovědi počasí. Jedná se o matematický popis dějů probíhajících v klimatickém systému Země (fenomény ovlivňující klima, chemické a fyzikální procesy atmosféry, oceánů a kryosféry). Globální klimatické modely jsou schopny zachytit základní charakteristiky klimatu na velkých územích (rozlišení bývá 200-300 km horizontálně, vertikálně je rozčleněn asi na 30 vrstev). Pro podrobnější předpověď je užíváno regionálních klimatických modelů (RCM), které mají vyšší rozlišovací schopnost a je do nich možné promítnout okolnosti ovlivňující klima na regionální úrovni.

Pro odhad vývoje klimatu v ČR se používají scénáře vytvořené ze dvou regionálních klimatických modelů (HIRHAM a RCAO) pro roky 2071-2100 při uvažovaném vývoji podle emisních scénářů SRES A2 a B2 (prostorové rozlišení těchto modelů je cca 50 x 50 km). Dalším modelem, který byl vyvinut pro ČR je model ALADIN-CLIMATE/CZ, byl vytvořený ve spolupráci ČHMÚ, Ústavu fyziky atmosféry AV ČR a Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy. Pro modelování hydrologické bilance se používá model Bilan vytvořený VÚV T. G. M., jako vstupy do modelu se používají časové řady meteorologických veličin (srážky, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu), která se pro jednotlivá povodí vypočítávají z klimatických scénářů, [32], [35].

4.1.2 Projevy a dopady klimatických změn

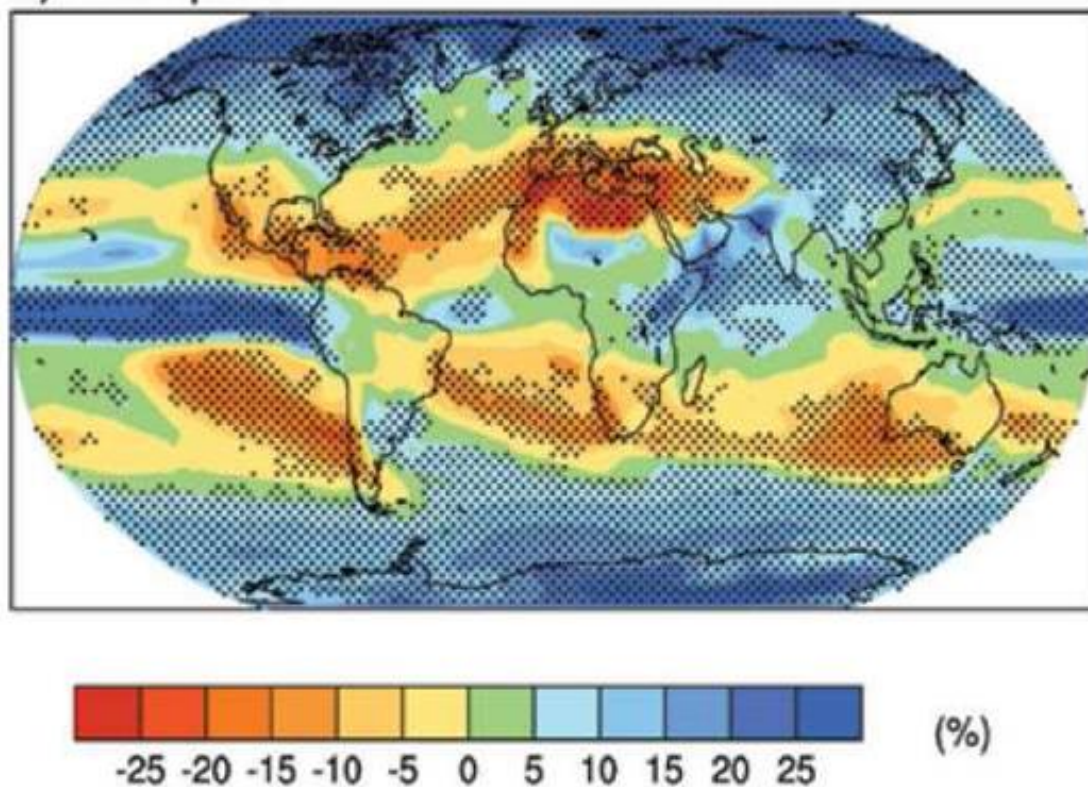
Jak již bylo psáno výše (v bodě 3.4.2 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny) bude se vlivem klimatických změn naše planeta oteplovat. Tento fakt dokládá i Klementínská řada průměrných ročních teplot, která se během 150 let vyvíjela vzestupnou tendencí (v období 1861-1910 byla průměrná roční teplota 9,1 °C, v období 1911-1960 9,6 °C a v období 1961-2010 byla průměrná roční teplota 10,4 °C) nebo skutečnost, že třináct z dvaceti nejteplejších roků v celé historii pozorování spadá do období po roce 1980 a osm z nich dokonce do našeho století. Podle klimatických modelů by se globální teplota měla zvýšit v neoptimističtějším výhledu o 1,8 °C a podle pesimistických výhledů o 4 °C do konce tohoto století, ale některé odhady předpovídají zvýšení teploty až o 7 °C.

Klimatický systém se jednoznačně otepluje, což způsobuje oteplování oceánů, tání ledovců, a v důsledku toho mořské hladiny. Kvůli oteplování oceánů můžeme přijít o mnoho mořských druhů a celých ekosystémů, které se zvyšující teplotě nedokážou přizpůsobit. Při zvýšení průměrné globální teploty o cca 2 °C hrozí riziko vyhynutí u 20-30 % živočišných druhů

a rostlin. Táním ledovců se zvyšuje hladiny moří a oceánů, od začátku měření (1993) stoupá hladina o 3,4 mm ročně, což je o 80 % rychleji než činil odhad IPCC, podle současných odhadů může hladina oceánů stoupnout až o 2 m. V oblastech do 1 m n. m. žije 160 milionů lidí. Obecně lze říct, že pevnina se otepluje rychleji než oceány a zároveň bude růst teploty více znatelný ve vyšších severních šířkách. V našich podmínkách se teplota bude více zvyšovat v letních měsících než v zimních.

Další změnou bude redistribuce srážkového úhrnu, a to jak ve velikosti, tak i v rozdělení během roku.

a) Precipitation

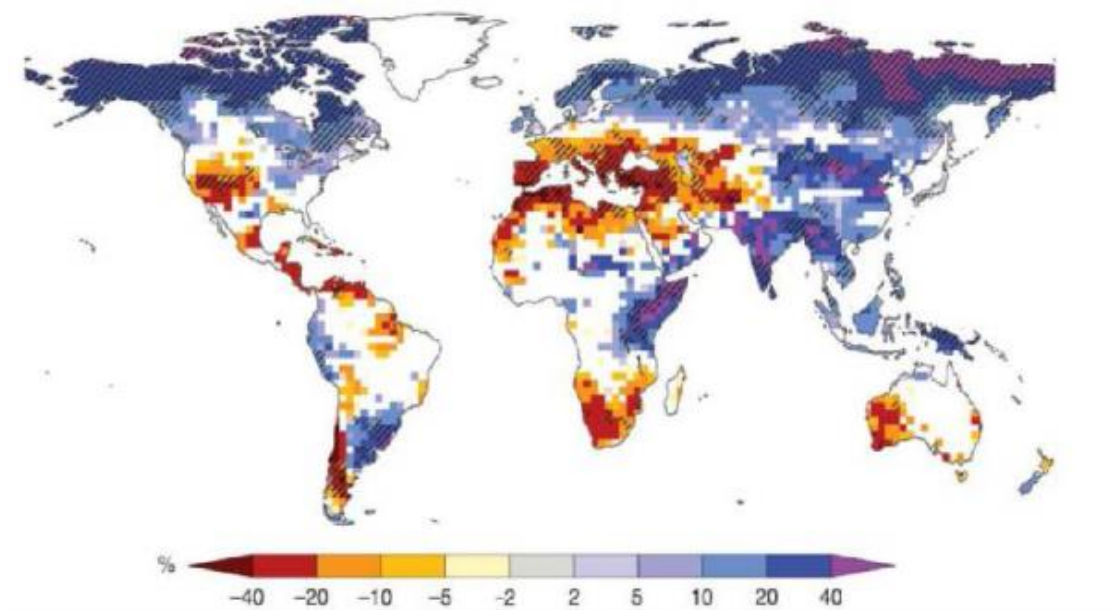


Obr. 1: Změna průměrných ročního srážkového úhrnu pro období 2080 – 2099 oproti 1980 – 1999 (aplikace 15 klimatických modelů, tečkovaně identifikována shoda více než 80 % modelů, [3]).

Přesouvání množství srážek jsme svědky již dnes, v období 1900-2005 se výrazně zvedly srážkové úhrny v Severní a Jižní Americe, v severní Evropě a v severní a střední Asii, naopak v oblastech Sahelu, Středomoří, jižní Africe a Asii došlo ke snížení

pozorovaných srážek. Jev zvyšování srážek ve vyšších zeměpisných šířkách a snížení srážek ve většině subtropických pevninských regionů bude i nadále pokračovat.

Změnám teplotního a srážkového režimu odpovídá prognóza globálního vývoje srážkoodtokového procesu (Obr. 2).



Obr. 2: Změna průměrného ročního odtoku pro období 2080 – 2099 oproti 1980 – 1999 (bílé místa značí shody méně než 66 % a šrafovaná naopak shodu nad 90% z 12 použitých modelů, [3]).

Diverzifikace rozložení srážek na našem území je popsána v bodě 3.4.2 Ekologický průtok v podmínkách klimatické změny. Pro střední Evropu je výhled následující, postupné zvyšování teplot během celého roku, bude docházet k poklesu letních a nárůstu zimních srážek, v ročním úhrnu však nedojde k výrazné změně. Od začátku podzimu až do léta bude množství srážek růst, ale kvůli vzrůstající teplotě se bude stejným tempem zvyšovat územní výpar. V létě úhrn srážek poklesne, což povede k úbytku zásob vody v povodí, nebude tedy voda k dispozici pro zvyšování evapotranspirace (i když potenciální evapotranspirace bude růst). Dalším faktorem ovlivňujícím odtok z našeho území bude změna sněhové pokrývky a jejího tání, kvůli zvyšování teploty se málokdy teplota dostane pod bod mrazu, celkově bude množství sněhové pokrývky menší a k jejímu tání bude docházet již v měsících leden-únor místo měsíce dubna.

V důsledku klimatických změn budou stále častější extrémní hydrologické jevy sucho a povodně, přičemž hrozba sucha je předpovídána s větší četností. Dále je předpověděno

zvysování počtu dnů s tropickými teplotami, vlny veder a snižování počtu dnů s mrazivými teplotami.

I při zmírnění dopadu lidí na klimatické podmínky, proces oteplování bude dále pokračovat, protože změny, které se již odehrávají, mají setrvačný charakter. Například ledovce sluneční záření odrážejí, naopak oceány sluneční záření pohlcují, při tání ledovců je tedy proces ohřívání planety urychlován. Dalším příkladem může být hrozba ztráty permafrostu, který v důsledku tání do atmosféry může uvolnit velké množství metanu, což je jeden ze skleníkových plynů, a proces globálního oteplování ještě urychlit.

4.1.3 Možná opatření

Opatření vůči klimatickým změnám můžeme rozdělit do dvou skupin, mezi první budou opatření mitigační, to jsou takové postupy, které proces klimatických změn nebudou dále prohlubovat, sem můžeme zařadit hlavně snahu snížit emise skleníkových plynů. V druhé skupině jsou opatření adaptační, která mají pomoci ve zmírnění dopadů již probíhajících změn klimatu. V porovnání se snižováním množství skleníkových plynů mají adaptační opatření lokální nebo regionální charakter, ovšem v měřítku státu jde o významné řešení jak snižovat následky změn klimatu. Mezi adaptační opatření se řadí zlepšování hospodaření s vodou, což zahrnuje revitalizování toků pro lepší udržení vody v krajině až po větší zapojení využívání dešťových vod, šetření s vodou a zkvalitnění čištění odpadních vod. Další adaptační opatření je zvětšování zalesnění a zatravnění, protože lesní porosty snižují množství skleníkových plynů, omezení plodin, které způsobují vytváření krustu na půdě (např. kukuřice), naopak používání rostlin a pěstebních postupů, které podporují infiltraci. Opatření mitigační i adaptační se týkají velkého spektra oblastí (průmysl, energetika, doprava, zemědělství, vodohospodářství a mnoho dalších), proto by měli probíhat koordinovaně a měli by být v organizaci státu a státem podporovány. Zároveň v této problematice záleží na každém z nás, protože všechny naše rozhodnutí nějak vzdáleně souvisí s možnými dopady na naše okolí, doprava jakou používáme, potraviny jaké kupujeme, způsob využívání vody atd. ovlivňují změny klimatu, [31], [32], [35], [37] a [40].

4.2 Kyselá atmosférická depozice

Atmosférickou depozicí se myslí přenos látek z ovzduší k zemskému povrchu (hmotnost sledované látky na jednotku plochy za určité časové období). Na tento proces se můžeme dívat pozitivně, protože se jím samočistí atmosféra, ale má i negativní aspekt a to, že se látky z ovzduší dostávají do půd, vod a do přímého kontaktu s faunou a flórou a mohou znečišťovat tyto složky.

U kyselých atmosférických depozicí jde o stejný princip, ale látky, které se dostávají z ovzduší, způsobují acidifikaci (okyselení) prostředí. Kyselá atmosférická depozice je vyvolána nadměrným množstvím sloučenin síry a dusíku v ovzduší.

4.2.1 Emise síry

Oxid siřičitý (SO_2) se na Zemi přirozeně vyskytuje a je produkován sopečnou činností nebo oxidací sulfanu (H_2S), který vzniká při rozkladu odumřelé biomasy v půdách a sedimentech. V minulém století se množství síry v atmosféře začalo výrazně zvyšovat, hlavním antropogenním zdrojem síry je spalování fosilních paliv, v nichž se síra přirozeně vyskytuje (černé uhlí obsahuje asi 1% síry, ropa 1-3 %, palivové dříví 0,1 % a hnědé uhlí může mít od 1 % až po 8%). Dalším umělým zdrojem emisí síry je průmysl zpracovávající síru a sirté rudy. Největší množství vyprodukovaných emisí síry bylo v 80. letech 20. století, kdy měly hodnotu 80 milionů tun za rok, a toto množství bylo vyrobeno jen na 5 % zemského povrchu. V Evropě se emitovalo 60 milionů tun, což je desetkrát více než z přirozených procesů. Znečištění ovzduší oxidem siřičitým se může projevit ve vzdálených lokalitách od místa produkce, jelikož transportní vzdálenost znečištění se pohybuje ve stovkách kilometrů za den, přičemž v atmosféře setrvává i několik dní. Množství emisí síry je možné snížit při využívání uhlí s redukováným obsahem síry, odsířením kouřových spalin, změnou technologie zařízení (např. výměna klasického spalovacího kotle za fluidní), snížení znečištění z malých topenišť.

4.2.2 Emise dusíku

Stejně jako u síry i oxidy dusíku se vyskytují přirozeně a vznikají při lesních a stepních požárech, při mikrobiálních pochodech a při elektrických výbojích v atmosféře. V Evropě zaujímají přirozeně vzniklé emise dusíku 3 % hodnoty antropogenních emisí, které se rovnají množství cca 7 milionů tun dusíku vázaného v oxických formách. Mezi uměle vytvořené zdroje emisí dusíku se řadí spalovací procesy, kdy není zdrojem znečištění dusík obsažený ve spalované látce, ale vzdušný dusík (N_2) oxidovaný za vysokých teplot. V tomto případě emise závisejí nejen na spotřebovaném množství paliva, ale i na způsobu jeho spálení (teplotě a přebytku vzduchu) a také, jestli se jedná o stacionární nebo mobilní zdroj (při pálení uhlí v běžném stacionárním zdroji vzniká 2-4 g emisí dusíků na každý kilogram paliva, ale při jízdě osobním autem je to 10-25 g na kilogram paliva). I přes výrazné snižování znečištění u stacionárních zdrojů, celkové znečištění dusíkem neklesá tak výrazně z důvodu rostoucí automobilové dopravy. Pro snížení emisí dusíku je několik způsobů, jednak je možné snížení automobilové dopravy, obměna vozového parku, využívání alternativních zdrojů pohonných hmot a dále denitrifikace spalin, změna technologie zařízení nebo uzavření provozu.

4.2.3 Další zdroje acidifikace

Mimo kyseliny sírové a dusičné na zemský povrch dopadají soli síry a dusíku, mezi hlavní se řadí síran a dusičnan amonný. Tyto soli vznikají reakcí kyselin s plynným amoniakem (NH_3). Přítomnost plynného amoniaku v atmosféře snižuje kyselost srážek, protože je schopný na sebe vázat H^+ , čímž vzniká amonný iont (NH_4^+). Ovšem po dopadu na zemský povrch amonný iont výrazně zvyšuje acidifikaci půdy, je to vyvoláváno biochemickou přeměnou amonných iontů při procesu nitrifikace (rostliny odebírají z půdy amonné ionty a nahrazují je H^+). V podstatě to znamená, že každý spotřebovaný amonný iont je zdrojem 1-2 iontů H^+ na každý spotřebovaný atom dusíku. Tudíž dalšími možnými zdroji způsobující acidifikační znečištění je nadměrné využívání hnojiv na bázi dusíku a zvýšená množství amoniaku vyprodukované v důsledku chovu skotu, zemědělská činnost tedy také výrazně ovlivňuje množství emisí způsobující kyselou atmosférickou depozici a její následné znečištění půd a vod.

4.2.4 Suchá a mokrá depozice

Celková depozice se dělí podle svého charakteru působení na mokrou a suchou. Mokrá depozice je způsobena vertikálními a horizontálními srážkami, v podstatě dochází k tzv. vymývání atmosféry, lidově nazýváno kyselý déšť. Ve vyšších nadmořských výškách působí horizontální srážky hlavně na vegetaci delší dobu a s vyšší koncentrací, je tedy otázkou, jestli acidifikaci více způsobují vertikální či horizontální srážky. Atmosférická srážka bez antropogenních vlivů je jen velmi slabě kyselá s hodnotou pH 5-6, hodnoty kyselých dešťů se pohybovaly v rozmezí pH 3,5-4,5. pH je logaritmická veličina, tudíž při poklesu o dvě jednotky jsou kyselá deště asi stonásobným zdrojem kyselin než je přirozená atmosférická depozice.

Princip suché depozice je následující: plyny a aerosol z atmosféry se zachycuje na povrchu rostlin a poté je opláchnut deští do půdy tzv. podkorunová depozice. Hodně záleží na tvaru vegetace, protože jehličnany mají větší specifický povrch než listnaté stromy a zároveň mají jehličí po celý rok, takže lépe zachycují emisní znečištění. Při stejných stanovištních podmínkách je depozice do půdy u smrkového lesa 2-3 krát větší než by byla v bukovém lese. Pokud by stejná oblast byla bez lesa, depozice by byla čtvrtinová oproti smrkovému lesu a poloviční v porovnání s bukovým lesem. Podíl suché depozice na celkovém spadu polutantů roste s nepřímou úměrou vzdálenosti od zdrojů znečištění. S rostoucí vzdáleností se více zapojuje mokrá depozice a celkové emisní znečištění se snižuje.

4.2.5 Kyselá atmosférická depozice v ČR a její dopady

V ČR byla maximální hodnota kyselá atmosférická depozice dosažena v 80. letech minulého století (souvisí s rozvojem těžkého průmyslu), společně s celou střední Evropou, hlavně

s oblastí tzv. Černého trojúhelníku. Ten byl na území ČR, Polska a Německa a od 60. let se zde začali enormně zvyšovat množství vyprodukovaného oxidu siřičitého. Během 30 let se emise síry a dusíku více než ztrojnásobily (maximální hodnoty 125 kg síry a 25 kg dusíku na hektar za rok). Toto poměrně náhlé znečištění mělo za následek uhynutí lesních ploch obrovské rozlohy. Po zjištění dopadů kyselé atmosférické depozice byly zavedeny nutná opatření pro zlepšení situace (odsíření velkých zdrojů emisí, nespalování uhlí s vysokým obsahem síry a další), která vedla ke snížení emisí síry o 90 % z jejich maxima. Kvalita ovzduší se výrazně zlepšila, i acidifikace srážek se snížila, ale neklesala stejným tempem jako snížení emisí. Tento fakt je vysvětlen snížením emisí prachu a popílku v ovzduší, protože popílek obsahuje bazické prvky, které neutralizovali kyseliny ve srážkách.

Emise síry byly výrazně sníženy, ale v důsledku zvýšené spotřebě dusíkatých hnojiv a hlavně stále se zvyšující automobilové dopravě byly sloučeniny síry, do té doby považovány za hlavního znečišťovatele, nahrazeny sloučeninami dusíku, které převládají na znečištění dodnes.

Kyselá atmosférická depozice působí na půdu, vody a na živou složku. V půdách se kyseliny postupně neutralizuje s bazickými kationty až do vyčerpání pufrční kapacity. Poté se půdní prostředí stává kyselým, což vede k úhynů vegetace (rozsáhlé lesní porosty), v důsledku vyčerpání pufrční kapacity půd se okyselují povrchové vody a dochází k mobilizaci toxických forem hliníku, která má za následek úhyn ryb a ostatních vodních živočichů. Samotná acidifikace vod je limitující pro mnoho druhů vodních organismů, což vedlo k vymizení mnoha druhů ryb a dalších organismů v pramenných oblastech českých hor (např. pstruhů) a i přes opakované pokusy o vysazení se je nedařilo navrátit zpět, [20], [21].

5. Metodika

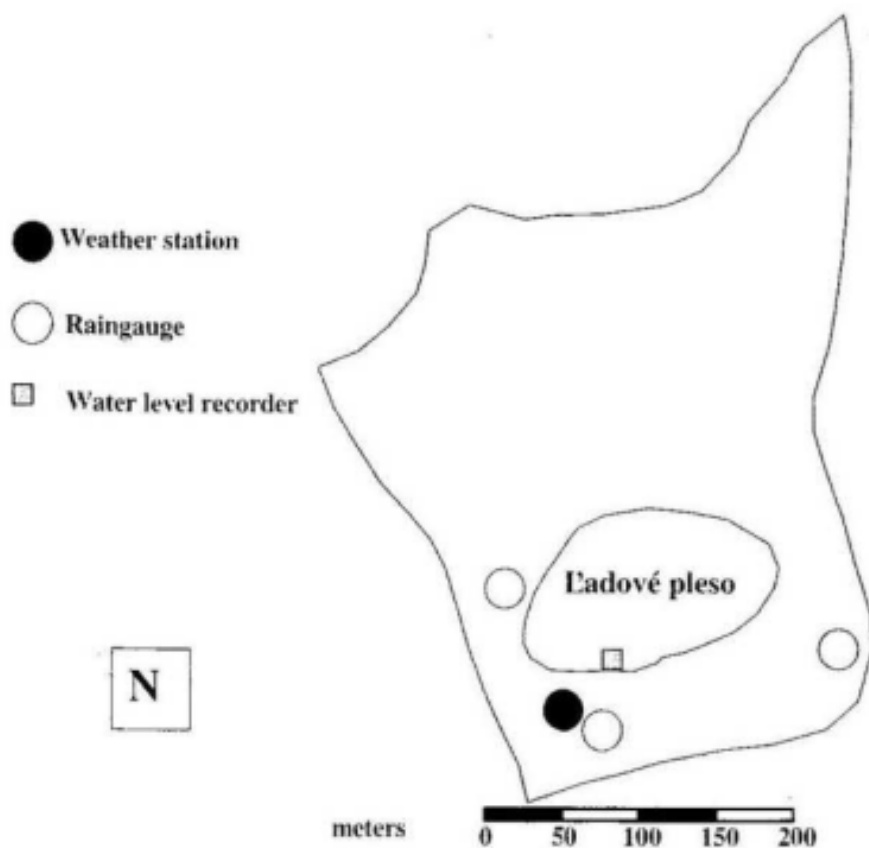
Vliv klimatické změny a kyselé atmosférické depozice na ekologický průtok byl studován na malých povodích v oblasti Vysokých Tater, Jizerských hor a Brd s cílem zohlednění různé nadmořské výšky, vegetace a atmosférické depozice.

5.1 Zájmová povodí

Povodí pro tuto studii byla vybrána s ohledem na existující řady pozorování klimatických a hydrologických prvků, jejich dostupnost a návaznost na řešení současných výzkumných projektů.

5.1.1 Povodí L'adového plesa ve Vysokých Tatrách

L'adové pleso (49° 11' s. š., 20° 9' v. d., povodí Visly a úmoří Baltského moře) se nachází v centrální oblasti Vysokých Tater (Karpatský masív, Slovensko) v nadmořské výšce 2057 m, obr. 3. Nejvyšším bodem je 2350 m a průměrný sklon povodí 69 %. Vzhledem k velkému převýšení (2057 – 2350 m) a členitosti skal je povrchová plocha povodí (16,80 ha) o cca 22 % větší než plocha kartografická (13,80 ha), a plocha jezera je 1,72 ha. Převládá jižní orientace svahů. Povrch povodí je tvořen z velké části kamennou sutí (5,44 ha, 39%), dále travním porostem s převahou *Calamagrostis villosa* a *Festuca picta* (3,60 ha, 26%) na mělkých podzolových půdách (mocnosti 0,2 – 0,6 m) a skalními útvary (3,04 ha, 22%). Podloží je tvořeno žulovým masívem.



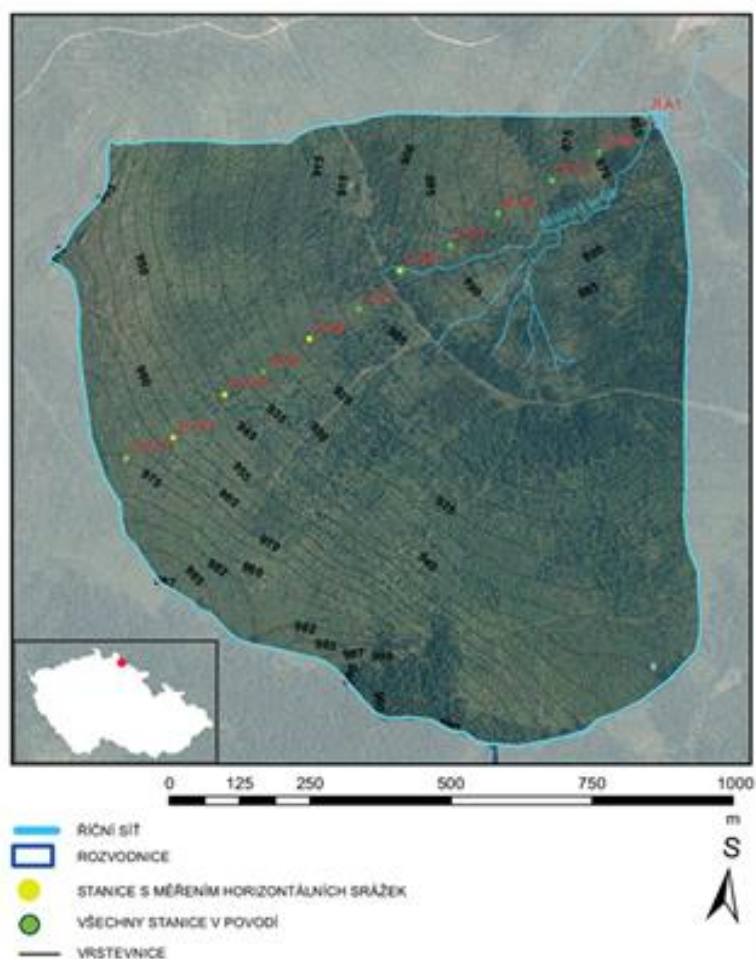
Obr. 3: Schéma L'adového plesa s označením sběru klimatických a hydrologických dat [28.]

V této oblasti převažuje vliv Atlanticko-kontinentálního klimatu mírného pásma severních zeměpisných šířek. Této lokalitě nejbližší klimatologická stanice (Skalnaté pleso) je vzdálena

cca 5 km v nadmořské výšce 1766 m. Místní doplňková pozorování meteorologických a hydrologických prvků na povodí L'adového plesa (teplota a vlhkost vzduchu, globální sluneční radiace, rychlost větru, úhrn atmosférických srážek, výška hladiny jezera a teplota půdy a vody v jezeře) bylo zahájeno 1. 10. 2000 (PřF UK v Praze), obr. 3. Dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a srážkový úhrn 1550 mm.

5.1.2 Povodí Sklářského potoka v Jizerských horách

Povodí Sklářského potoka – profil Jizerka ($50^{\circ} 48' \text{ s. š.}$ a $15^{\circ} 21' \text{ v. d.}$, povodí Labe a úmoří Severního moře) se nalézá ve východní části Jizerských hor, obr. 4, v nadmořské výšce 862 - 994 m. Plocha povodí je 1 km^2 , průměrná nadmořská výška je 927 m n. m, průměrný sklon 12 % a převažující orientace svahů severovýchodní.

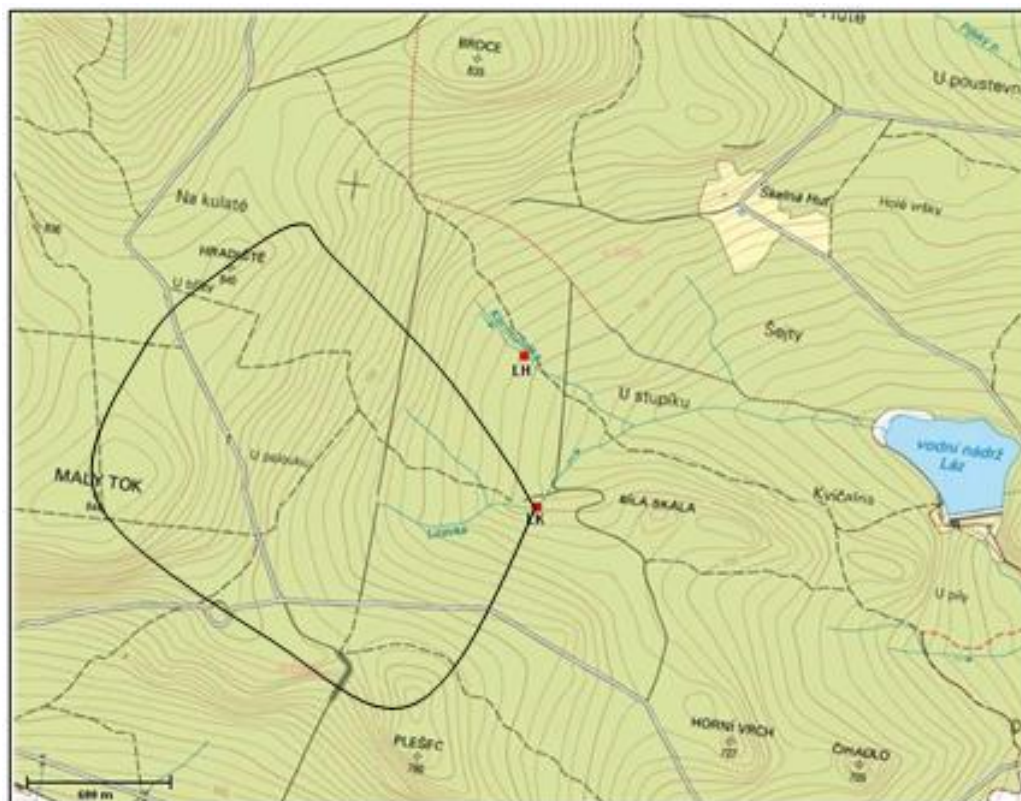


Obr. 4: Povodí Sklářského potoka s uzávěrovým profilem Jizerka.

Podloží je tvořeno žulovým masívem s mělkými podzolovými půdami (mocnosti 0,4 až 1,2 m). Vegetační povrch byl tvořen do počátku osmdesátých let 20. století monokulturou smrku (*Picea abies*), po jejím smýcení holou sečí v období 1984 – 1988 převažovalo společenstvo *Junco effusi*-*Calamagrostietum villone* s dominujícím travním porostem *Calamagrostis villosa*, v současní době na povodí probíhá obnova lesního porostu. Převládá severozápadní proudění vzduchu, pozorování srážko-odtokového procesu na tomto povodí probíhá plynule od roku 1. 11. 1981 (FSv ČVUT v Praze), dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu je 4 °C a srážkový úhrn 1400 mm. V sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století bylo toto povodí výrazně zasaženo znečištěním ovzduší (emise síry a dusíku) a následnou kyselou atmosférickou depozicí, která kulminovala v roce 1987, v současné době probíhá zotavování z acidifikace.

5.1.3 Dílčí povodí Litavky v Brdech

Povodí Litavky – profil Krmelec (49° 39' s. š. a 13° 52' v. d., povodí Labe a úmoří Severního moře) se nachází v horní části pohoří Brd (obr. 5).



Obr. 5: Schéma povodí Litavky (Krmelec) s vodoměrnou stanicí LK

Plocha povodí je 1,85 km², převládá severovýchodní orientace, průměrný sklon 8,6 % a nadmořská výška v rozsahu 695-844 m. Toto povodí je plně zalesněné dospělým porostem smrku (*Picea abies*) stáří 80-90 let. Podloží tvoří souvrství kambrických pískovců, slepenců a křemenců oblasti Barrandienu, půdy (mocnosti 1-2 m) tvoří silně kyselé kambizemě, chudé na bazické kationty, místy se stopami oglejení. Průměrná roční teplota vzduchu je 6 °C a úhrn srážek 820 mm. Pozorování odtoku z povodí ve stanici Krmelec bylo zahájeno 1. 1. 2001 (PřF UK), [2], [13].

5.2 Stanovení minimálních průtoků

Stanovení minimální průtoků pro určení zůstatkového průtoku Q_{MZP} vyžaduje znalost čáry překročení průměrných denních průtoků, tj. určení m-denních průtoků, překročených nebo dosažených po dobu 330, 355 a 364 (případně 346) dnů v roce. Tyto hodnoty průtoků patří mezi základní hydrologické údaje (podle ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“). Pro rámcový odhad těchto hodnot jsem nejprve použila metody hydrologické analogie, [25], regionálního odvození dlouhodobého průměrného ročního průtoku Q_a a oblastních součinitelů $k_i = Q_{di}/Q_a$ pro rozdělení m-denních průtoků Q_{di} . V tomto případě je uváděna chyba odhadu v rozmezí ± 20 %. Takto odvozené průtoky jsou pro zájmová povodí uvedena v Tab. 3. Obdobně pomocí regionální hydrologické analogie byly stanoveny také N-leté kulminační průtoky pro ucelenou informaci o vodním režimu těchto povodí, Tab. 5.

Povodí	Q_a	Q_{330}	Q_{355}	Q_{364}
L'adové pleso	4,6	1,1	0,7	0,3
Sklářský potok (Jizerka)	30,0	8,6	5,2	3,6
Litavka (Krmelec)	11,0	2,8	1,4	0,9

Tab. 3: Dlouhodobý roční průtok Q_a a m-denní průtoky Q_{di} (l/s) pro zájmová povodí

Povodí	Q_a	Q_{330}	Q_{355}	Q_{364}
L'adové pleso	1056	0,69	0,43	0,19
Sklářský potok (Jizerka)	937	0,74	0,45	0,31
Litavka (Krmelec)	186	0,13	0,07	0,04

Tab. 4: Dlouhodobý roční průtok Q_a a m-denní průtoky Q_{330} a Q_{364} (mm)

Povodí	Q ₁	Q ₅	Q ₁₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀
L'adové pleso	94	204	329	973	1570
Sklářský potok (Jizerka)	782	1819	2382	3695	4768
Litavka (Krmelec)	125	392	548	1073	1394

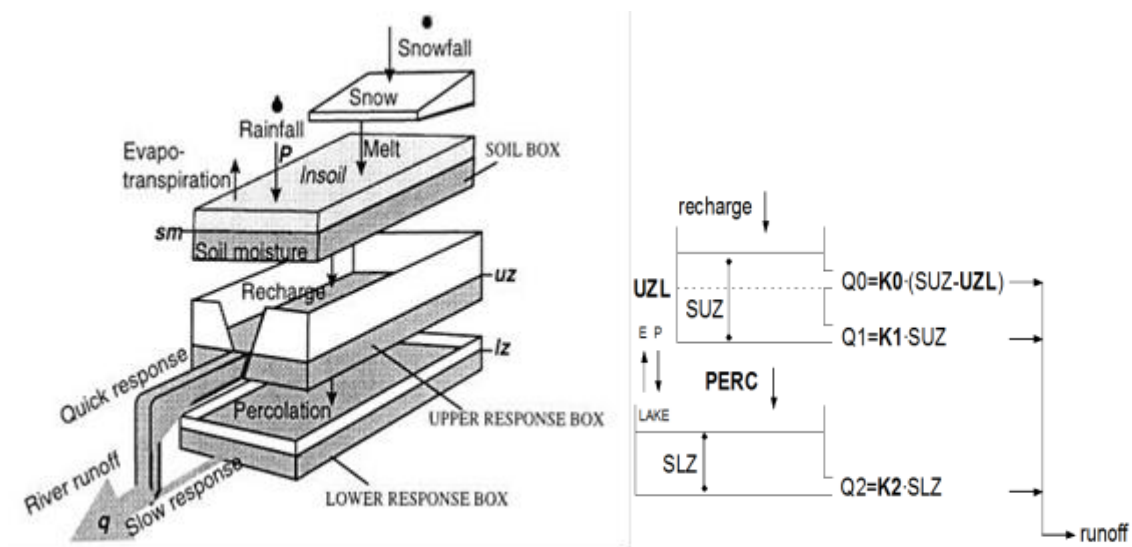
Tab. 5: N-leté průtoky na zájmových povodích (l/s)

Podle metodiky MŽP, [30], na všech třech povodích (Tab. 3) je hodnota 355-ti denního průtoku $Q_{355} < 50$ l/s (0,7 – 5,2 l/s), tudíž pro stanovení minimálního zůstatkového průtoku zde platí vztah $Q_{MŽP} = Q_{330}$ (Tab. 2). Hodnoty MŽP jsou pro studované lokality 1,1 l/s (L'adové pleso); 8,6 l/s (Sklářský potok) a 2,8 l/s (Litavka – Krmelec), viz Tab. 3.

5.3 Stanovení denních průtoků modelem HBV

V současné době se ve světě používá více než sto hydrologických modelů zaměřených zejména na simulaci odtoku z povodí pro účely veřejné, privátní a výzkumné sféry, [33]. Podle účelu a způsobu aplikace se hydrologické modely dělí na používané v operativní hydrologii, aplikované pro návrhovou a projekční činnost a využívané ve výzkumu. Pro účely této studie jsem použila bilanční model HBV, [5] a [6], vzhledem k širokému použití v různých geografických podmínkách a jeho relativně nízkým nárokům na vstupní data, [7].

Simulace odtoku modelem HBV probíhá v denním intervalu, vstupem jsou denní srážkové úhrny a průměrné denní hodnoty teploty vzduchu a potenciální evapotranspirace pro daný kalendářní měsíc. Model má jednoduchou strukturu, která se skládá ze čtyř základních výpočetních modulů (obr. 6).



Obr. 6: Schéma a struktura hydrologického modelu HBV

1. Sněhový modul určuje akumulaci a tání sněhu pomocí metody stupeň-den.
2. Půdní modul zahrnuje nasycení půdního profilu jako funkci plnění zásob podzemní vody a aktuální evapotranspirace.
3. Modul odtoku využívá princip lineární zdrže, kde je odtok v daném čase přímo-úměrný zásobě vody v povodí.
4. Transformační modul, využívající váhovou funkci.

Konkrétní výpočty byly provedeny aplikací modelu verze HBV Light 3.1, [38], se vstupem průměrné denní teploty vzduchu, denních úhmů srážek a dlouhodobé potenciální evapotranspirace stanovené pro jednotlivé měsíce kalendářního roku (Tab. 6). Hodnoty potenciální evapotranspirace byly stanoveny metodou Hamona:

$$EP - HAM = 2,98 Ne_s / (T_a + 273,3) \quad (mm/den) \quad (2)$$

kde N je maximální možná doba slunečního svitu (hod/den), T_a je průměrná denní teplota vzduchu ($^{\circ}C$) a e_s je napětí nasycených vodních par (mm), [39].

Povodí	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
L'adové pleso	0	0	0	2,2	28,8	59,2	62,0	64,7	32,4	19,7	9,0	0
Sklářský potok	0	0	0	15,8	42,7	65,4	68,2	77,3	44,8	27,3	2,6	0
Litavka	0	0	24,6	38,7	59,4	70,6	76,7	74,0	49,4	32,2	8,5	0

Tab. 6: Měsíční hodnoty potenciální evapotranspirace podle Hamona (mm/měsíc).

Parametry modelu HBV byly optimalizovány metodou MONTE-CARLO a shoda mezi pozorovanými a simulovanými hodnotami odtoku z povodí byla testována pomocí koeficientu spolehlivosti E (Nash a Sutcliffe, 1970, [39]):

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \overline{Q_0})^2} \quad (3)$$

kde Q_0 je pozorovaný a Q_m simulovaný průtok (m^3/s) v čase t , $\overline{Q_0}$ – průměrný průtok (m^3/s) za testované období T . Koeficient E může nabývat hodnot v rozmezí $-\infty$ to 1. Pro $E = 1$ se jedná o úplnou shodu, $E = 0$ indikuje shodu průměrů, a vztah $E < 0$ znamená, že průměr pozorovaných hodnot je lepším prediktorem než použitý model (t. j. čím je hodnota kritérium E blíže 1, tím je použitý model více efektivní).

5.4 Odhad průtoků v období klimatického normálu 2071-2100

Pro odvození teplotního a srážkového režimu povodí L'adového plesa jsem použila data pozorovaná v základní klimatologické stanici Skalnaté pleso (nadmořská výška 1751 m, období 1961-2015) s úvahou teplotního ($-0,6^\circ\text{C}/100\text{m}$) a srážkového gradientu ($+50\text{mm}/100\text{m}$), [28]. Pro povodí Sklářského potoka (Jizerka) bylo použito doplňkové klimatologické stanice poblíž uzávěrového profilu v období 1981-2015 a obdobně pro povodí Litavky (Krmelec) v období 2001-2015, [4], [8], [27], [29].

Denní hodnoty průměrné teploty vzduchu a úhrnu srážek pro období 2071-2100 byly staženy z distribučního serveru mezinárodního projektu PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk/>), [23]. Tento server obsahuje velké množství dat, získaných pomocí různých klimatických modelů. Pro cíle této studie jsem zvolila data stanovená regionálním klimatickým modelem RegCM pro výstupy HadAM3H A2 (pro scénář A2) a od HadAM2H B2 (pro scénář B2) - jsou uvažovány dva scénáře IPCC: A2 (ekonomicky orientovaný vývoj) a B2 (environmentálně orientovaný vývoj). Jiné scénáře pomocí tohoto modelu nasimulovány nebyly. Srážkové

úhrny byly staženy v databázích s názvy precip.ICTP.A2.nc a precip.ICTP.B2.nc, uvedené jednotky ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{den}$) odpovídají (mm/den). Teplotní data byla stažena v databázích s názvy t2m.ICTP.A2.nc a t2m.ICTP.B2.nc (teplota vzduchu ve 2 m nad povrchem), teplotní data v databázi jsou v jednotkách absolutní teploty (K). Vlastní analýza dat byla provedena pomocí programu Intel® Array Viewer Version 3.3 s následným zpracováním v programu Microsoft Excel.

Stažená data průměrných denních teplot a srážkových úhrnů odpovídají průměrným nadmořským výškám rozlišovacích čtverců (50×50 km). Pro stanovení vstupních dat do modelu HBV (denních teplot a srážek) byl pro studovanou povodí proveden přepočítání pomocí teplotního ($-0,6^\circ\text{C}/100\text{m}$) a srážkového gradientu ($+50\text{mm}/100\text{m}$) a hodnoty potenciální evapotranspirace (Tab. 6) přepočteny pro teploty vzduchu stažené z výstupů projektu PRUDENCE.

5.5 Doplnující indikace biodiverzity povrchových vod

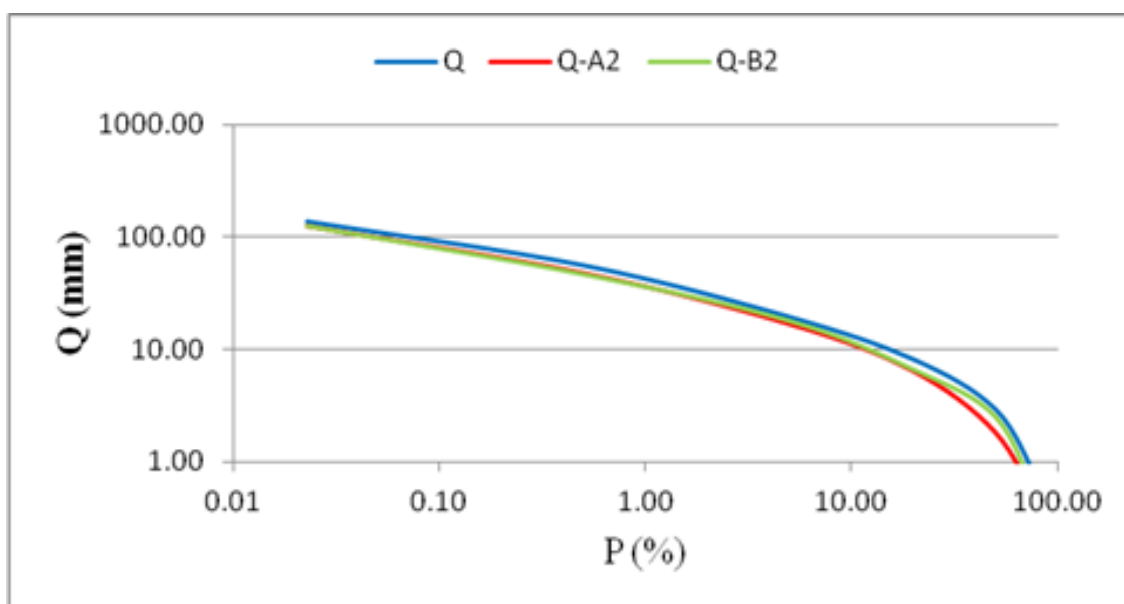
V podmínkách změny průtoku byly prováděny periodické odběry vody v uzavěrových profilech povodí a analyzovány v laboratoři Hydrobiologické stanice PřF UK Velký Pálenec (Blatná) s ohledem na acidifikaci vodního prostředí. Byly stanoveny hodnoty: pH, vodivost, alkalita, dusičnanový ($\text{NO}_3\text{-N}$) a amonný ($\text{NH}_4\text{-N}$) dusík, síran (SO_4), kationty sodíku (Na), draslíku (K), vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) a reaktivní hliník (R-Al). Iontové obsahy byly analyzovány pomocí iontové chromatografie s konduktometrickou detekcí a elektrochemickou supresí, koncentrace reaktivního hliníku (R-Al) byly stanoveny spektrofotometricky s pyrokatecholovou violetí podle Driscolla, [42].

Odebírání makrozoobentosu probíhalo pracovníky PřF UK podle standardní metody „kicking“ (Frost a kol., 1971, [4]) pomocí ručního síta o velikosti ok $500 \mu\text{m}$ intenzivně po dobu 3 minut na šesti různých habitatech (jemnozrnný substrátem až kamenité dno) typických pro dané úseky toku (tj. po 30 vteřinách na habitat). Odebírání makrozoobentosu probíhalo na cca 20-100 metrovém úseku nad měrným profilem toku. Odebraný materiál byl promýván od jemného sedimentu ve stejném sítu a vkládán do umělohmotných dóz o objemu 1 litr a zafixován 70–80% etanolem, a dále analyzován.

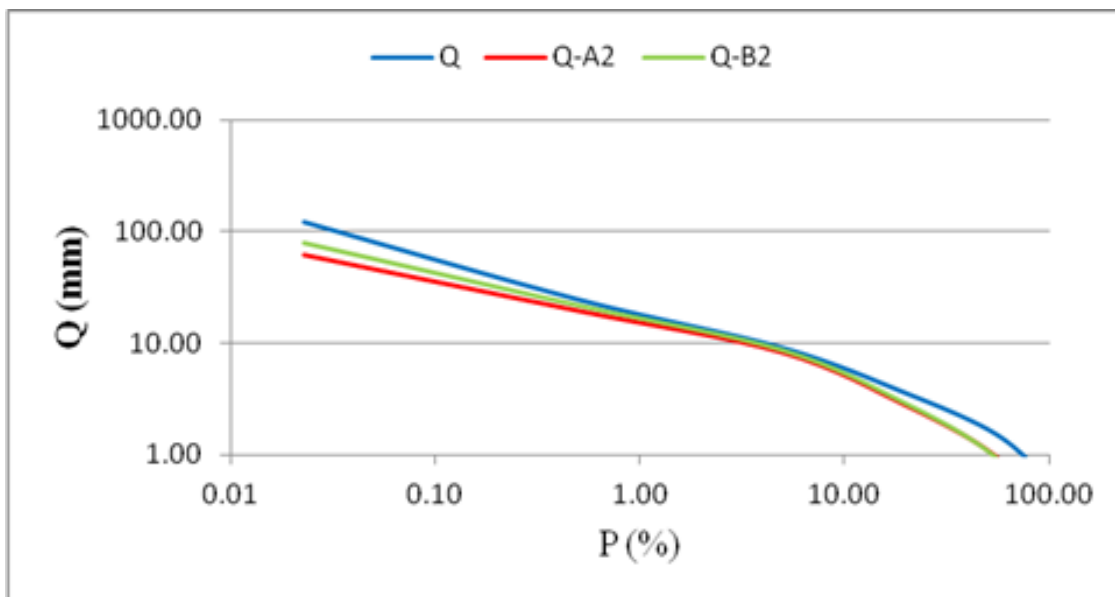
6. Výsledky a diskuze

6.1 Změna hodnot ekologického průtoku

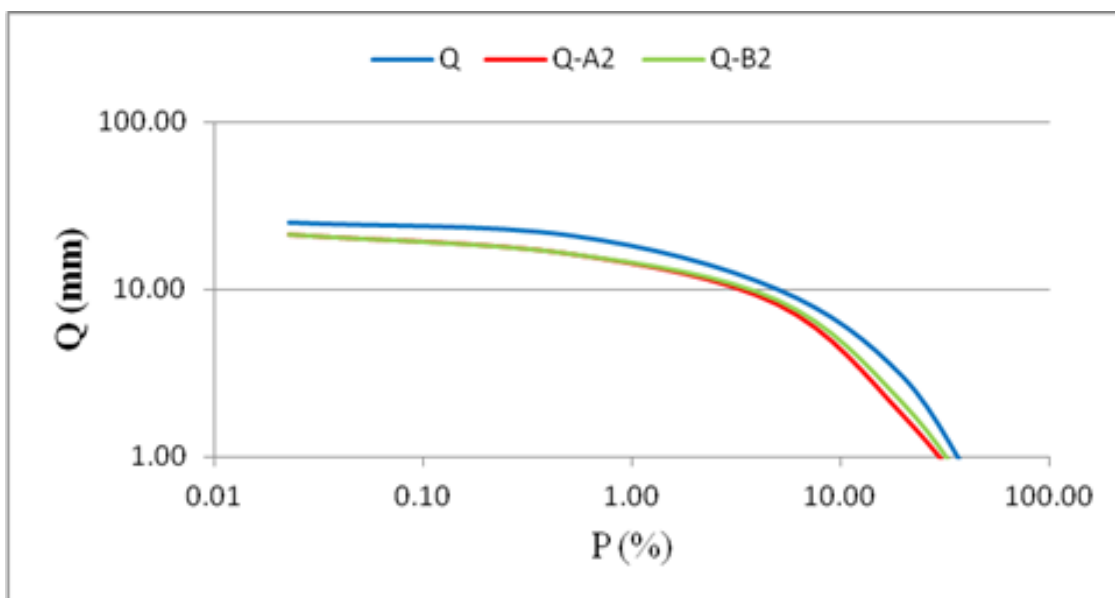
Čáry překročení průměrných denních průtoků pro tři malá povodí – L'adové pleso, Sklářský potok (Jizerka) a Litavka (Krmelec), pramenných oblastí Vysoké Tatry, Jizerské hory a Brdy, jsou uvedeny v obr. 7,8 a 9. Hodnoty průtoku Q odpovídají současnému stavu a průtoky Q -A2 a Q -B2 byly stanoveny pomocí bilančního hydrologického modelu HBV pro období klimatického normálu 2071-2100 s úvahou dvou odlišných scénářů A2 (předpoklad ekonomicky orientovaného vývoje) a B2 (vývoje respektujícího environmentální hlediska). Model byl kalibrován pro období 2001-2010 a testován pro období 2011-2013, shoda testována pomocí kritéria E (Nash-Sutcliffe, E dosaženo v rozmezí 0,81 – 0,88).



Obr. 7: Povodí L'adového plesa: čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q -A2, Q -B2)



Obr. 8: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q -A2, Q -B2).



Obr. 9: Povodí Litavky (Krmelec): čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q -A2, Q -B2).

Z těchto čar překročení byly odvozeny hodnoty minimálních průtoků Q_{330} , Q_{355} a Q_{364} (Tab. 7, 8, 9, 10, 11, 12). Pro všechna povodí platí, že hodnoty minimálního zůstatkového průtoků Q_{MZP} jsou rovny Q_{330} . Průtok $Q_{95\%}$ ($\approx Q_{346}$) je uveden s ohledem na to, že v západní Evropě je právě tento průtok uvažován jako MZP, [15].

Varianty	Q_a	Q_{330}	$Q_{95\%}$ (Q_{346})	Q_{355}	Q_{364}
Současný stav	2,9	0,46	0,37	0,30	0,23
2071-2100 scénář A2	1,86	0,23	0,15	0,07	0,00
2071-2100 scénář B2	2,49	0,25	0,17	0,09	0,01

Tab. 7: Povodí L'adového plesa: změna dlouhodobého ročního průtoků Q_a a m -denních průtoků (mm/den).

Varianty	Q_a	Q_{330}	$Q_{95\%}$ (Q_{346})	Q_{355}	Q_{364}
Současný stav	4,64	0,74	0,59	0,48	0,37
2071-2100 scénář A2	2,97	0,37	0,24	0,11	0,00
2071-2100 scénář B2	3,98	0,37	0,27	0,14	0,02

Tab. 8: Povodí L'adového plesa: změna dlouhodobého ročního průtoků Q_a a m -denních průtoků (l/s).

Varianty	Q_a	Q_{330}	$Q_{95\%}$ (Q_{346})	Q_{355}	Q_{364}
Současný stav	24,0	0,65	0,52	0,43	0,27
2071-2100 scénář A2	21,6	0,25	0,17	0,13	0,05
2071-2100 scénář B2	22,5	2,9	0,17	0,13	0,05

Tab. 9: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): změna dlouhodobého ročního průtoků Q_a a m -denních průtoků (mm/den).

Varianty	Q_a	Q_{330}	$Q_{95\%}$ (Q_{346})	Q_{355}	Q_{364}
Současný stav	28	7,5	6	5	3,1
2071-2100 scénář A2	25	2,9	2	1,5	0,58
2071-2100 scénář B2	26	2,9	2	1,5	0,58

Tab. 10: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): změna dlouhodobého ročního průtoků Q_a a m -denních průtoků (l/s).

Varianty	Q_a	Q₃₃₀	Q _{95%} (Q ₃₄₆)	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
Současný stav	0,52	0,08	0	0	0
2071-2100 scénář A2	0,39	0,02	0	0	0
2071-2100 scénář B2	0,42	0,03	0	0	0

Tab. 11: Povodí Litavky (Krmelec): změna dlouhodobého ročního průtoku Q_a a m-denních průtoků (mm/den).

Varianty	Q_a	Q₃₃₀	Q _{95%} (Q ₃₄₆)	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
Současný stav	10,5	1,62	0	0	0
2071-2100 scénář A2	7,9	0,40	0	0	0
2071-2100 scénář B2	8,5	0,61	0	0	0

Tab. 12: Povodí Litavky (Krmelec): změna dlouhodobého ročního průtoku Q_a a m-denních průtoků (l/s).

Vlivem očekávané změny klimatu, pro období klimatického normálu 2071 – 2100, pravděpodobně dojde ke snížení minimálních průtoků v podmínkách studovaných pramenných sub-povodí 1. až 2. řádu: Q₃₃₀ o 50 % (z 0,74 na 0,37 l/s) v alpínském stupni (nad hranicí lesa), o 60 % (ze 7,5 na 2,9 l/s) ve smrko-jedlo-bukovém (550–1200 m) a o 75 % (z 1,62 na 0,40 l/s) ve stupni jedlo-bukovém (600–1000 m). Mírnější varianta klimatického scénáře (B2) má na tuto změnu minimálních průtoků (a MZP) pouze nepatrný vliv. Je patrné, že v nadmořských výškách jedlo-bukového stupně dojde k častějšímu výskytu vysýchání koryt toků 1. až 2. řádu: hodnoty průtoku Q₃₄₆ Q₃₅₅ Q₃₆₄ jsou nulové (Tab. 11,12).

Tyto odhady jsou zatíženy určitou nejistotou odhadu. Při výpočtu minimálních průtoků modelem HBV jsou uváděny nejistoty odhadu okolo 10 %, tato hodnota je pro budoucí období 2071-2100 navíc zvyšována vlivem nejistot vstupů klimatické změny – odhadu denních teplot a srážek. Nejistoty u denních teplot převzatých z projektu PRUDENCE se uvádí standardní odchylka v zimních měsících (prosinec, leden, únor) ± 1,3 °C a v letních měsících (červen, červenec a srpen) ± 2,1 °C. U srážkových úhrnů je nejistota 11 % v období březen - květen, a pro letní období (červen - srpen) 16 %. Pro odhad minimálních průtoků v této práci je tudíž třeba uvažovat nejistoty okolo 20 až 30 %.

6.2 Acidifikace prostředí

Všechny tři lokality jsou dlouhodobě ovlivňovány kyselou atmosférickou depozicí, nejvýraznější acidifikace byla pozorována v povodí Sklářského potoka, [18], [27]. Z terénního šetření v roce 2014 je zřejmý významný posun environmentálního stavu příslušného povodí z kategorie „prostředí silně acidifikované“ (pH: 4.07 – 4.57, R-Al: 448 – 1913 ug/l) do „mírně acidifikované“ (pH: 5.18 – 6.38, R-Al: 52 – 261 ug/l), tomu odpovídá změna v druhové bohatosti bentických organismů vodního prostředí (Tab. 13).

Taxa	1992	2014
<i>Turbellaria</i>	1	-
<i>Nematoda</i>	-	1
<i>Oligochaeta</i>	2	4
<i>Mollusca</i>	-	-
<i>Hydracarina</i>	-	1
<i>Crustacea</i>	-	1
<i>Ephemeroptera</i>	-	3
<i>Odonata</i>	-	-
<i>Plecoptera</i>	7	20
<i>Megaloptera</i>	1	1
<i>Heteroptera</i>	2	1
<i>Trichoptera</i>	5	17
<i>Diptera excl. Chironomidae</i>	8	10
<i>Chironomidae</i>	4	5
<i>Coleoptera</i>	3	6
Celkem	33	68

Tab. 13: Druhové zastoupení bezobratlých v úseku toku J-1 (Sklářský potok – profil Jizerka)

6.3 Vliv povodňových průtoků

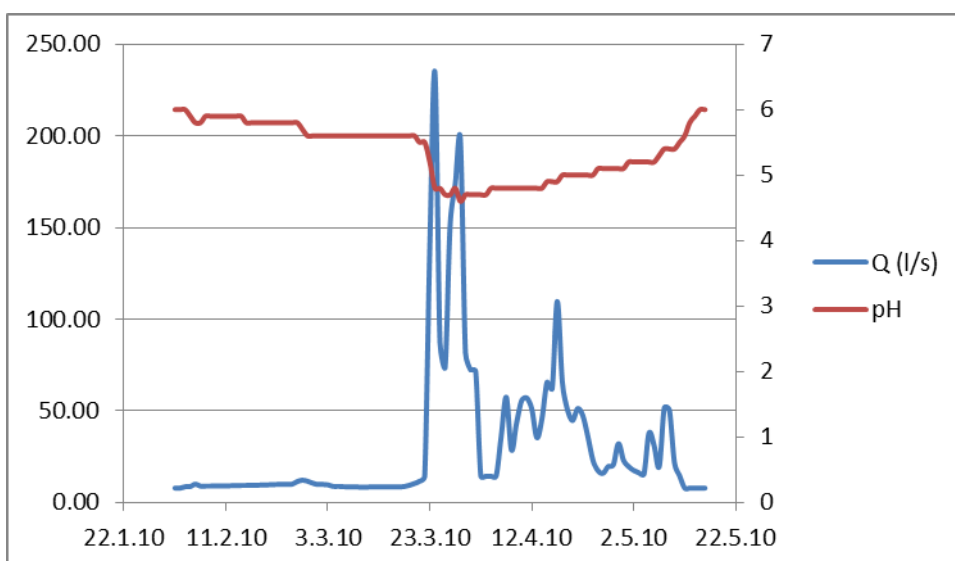
Acidifikace povrchové vody v podmínkách Sklářského potoka je ovlivňována především vyššími průtoky v období denního a epizodického povodňového průtoku. Pro účely stanovení

přímého odtoku, který ovlivňuje kvalitu vody při acidifikaci sezónní (tání sněhu) a epizodické (letní povodňové situace) byla použita technika separace přímého odtoku z hydrogramů, pozorovaných v uzavěrových profilech zájmových povodí (obr. 1) a pomocí indikace pomocí hodnot pH. Z rozboru závislosti mezi velikostí průtoku a vybranými parametry kvality vody (Tab. 14) vyplývá pH vody jako nejvhodnější charakteristika k odhadu přímého odtoku („mělkého odtoku“ – povrchových a rychlých podpovrchových složek hydrogramu), [34].

Ukazatel	pH	K	Ca	Mg	Na	SO ₄	NO ₃
R	0,91	0,78	-0,24	-0,19	-0,21	0,35	-0,29

Tab. 14: Těsnost vztahu mezi průtokem a charakteristikou kvality vody pomocí koeficientu korelace (R), kritická hodnota $R_k = 0,361$ ($n = 50$ a $\alpha = 0,01$).

Ve srovnání s běžně používanou grafickou metodou separace umožňuje indikační metoda pomocí hodnot pH přesnější odhady objemů přímého odtoku zejména při tání sněhu (obr. 10).



Obr. 10: Hydrogram tání sněhu

7. Závěry

- Ekologický průtok je v současné době definován jako minimální zůstatkový průtok (MZP) pro zachování přírodního prostředí tekoucích vod a jeho stanovení se liší podle regionálních podmínek.
- Pro malá povodí (1. až 2. řádu) podle současné metodiky stanovení vyplývá $MZP = Q_{330}$.
- Vlivem očekávané klimatické změny je možné očekávat pro období klimatického normálu 2071 – 2100 významné snížení minimálních průtoků Q_{330} o 50 % v alpském stupni (nad hranicí lesa), 60 % ve smrko-jedlo-bukovém a 75 % ve stupni jedlo-bukovém, v porovnání se současným stavem.
- Pro pramenné oblasti střední Evropy ovlivňované kyselou atmosférickou depozicí se projevuje vliv acidifikace prostředí na redukcí oživení vodních toků.
- Vliv acidifikace na živou složku vodního prostředí je výraznější v oblasti vyšších průtoků, kdy dochází k poklesu hodnot pH a mobility toxických forem hliníku.
- V oblasti s významnou kyselou depozicí je proto odůvodněné uvažovat geneticky rozdílné typy povodní (bleskové z přivalových dešťů, regionální z dlouhotrvajících dešťů a povodně z tání sněhu) s ohledem na epizodickou a sezónní acidifikaci.
- Pro upřesnění separace přímého a základního odtoku z povodí v podmínkách acidifikace je vhodné uvažovat indikátor pH vody. Běžnou grafickou separační technikou dochází zejména k podceňování složky přímého odtoku z tání sněhu.
- Ekologický průtok je nutné chápat jako rozmezí průtoků (ne jen jako MZP).

Seznam obrázků

Obr. 1: Změna průměrných ročního srážkového úhrnu pro období 2080 – 2099 oproti 1980 – 1999 (aplikace 15 klimatických modelů, tečkovaně identifikována shoda více než 80 % modelů, [3]).....	23
Obr. 2: Změna průměrného ročního odtoku pro období 2080 – 2099 oproti 1980 – 1999 (bílé místo značí shodu méně než 66 % a šrafovaná naopak shodu nad 90% z 12 použitých modelů, [3]).....	24
Obr. 3: Schéma L'adového plesa s označením sběru klimatických a hydrologických dat [28.].....	29
Obr. 4: Povodí Sklářského potoka s uzávěrovým profilem Jizerka.....	30
Obr. 5: Schéma povodí Litavky (Krmelec) s vodoměrnou stanicí LK.....	31
Obr. 6: Schéma a struktura hydrologického modelu HBV.....	34
Obr. 7: Povodí L'adového plesa: čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q-A2, Q-B2).....	37
Obr. 8: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q-A2, Q-B2).....	38
Obr. 9: Povodí Litavky (Krmelec): čára překročení průměrných denních průtoků pro současný stav (Q) a klimatický normál 2071 – 2100 (Q-A2, Q-B2).....	38
Obr. 10: Hydrogram tání sněhu.....	42

Seznam tabulek

Tab. 1: Vegetační stupně na území ČR.....	10
Tab. 2: Směrné hodnoty MZP v závislosti na m-denních průtocích.....	18
Tab. 3: Dlouhodobý roční průtok Q_a a m-denní průtoky Q_d (l/s) pro zájmová povodí.....	32
Tab. 4: Dlouhodobý roční průtok Q_a a m-denní průtoky Q_{355} a Q_{364} (mm).....	32
Tab. 5: N-leté průtoky na zájmových povodích (l/s).....	33
Tab. 6: Měsíční hodnoty potenciaální evapotranspirace podle Hamona (mm/měsíc).....	35
Tab. 7: Povodí L'adového plesa: změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (mm/den).....	39
Tab. 8: Povodí L'adového plesa: změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (l/s).....	39
Tab. 9: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (mm/den).....	39
Tab. 10: Povodí Sklářského potoka (Jizerka): změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (l/s).....	39
Tab. 9: Povodí Litavky (Krmelec): změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (mm/den).....	40
Tab. 10: Povodí Litavky (Krmelec): změna dlouhodobého ročního průtoky Q_a a m-denních průtoků (l/s).....	40
Tab. 13: Druhové zastoupení bezobratlých v úseku toku J-1 (Sklářský potok – profil Jizerka).....	41
Tab. 14: Těsnost vztahu mezi průtokem a charakteristikou kvality vody pomocí koeficientu korelace (R), kritická hodnota $R_k = 0,361$ ($n = 50$ a $\alpha = 0,01$).....	42

Seznam použité literatury

- [1] ARNELL, N. W. (1999): The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change*, 9: 5-23.
- [2] BAREŠOVÁ, M. (2010): Mapování povodí Litavky s využitím GIS. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 69 p.
- [3] BATES, B. C., et al. (2008): Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, 210 p.
- [4] BENEŠ, F. (2013): Sezónní vývoj makrozoobentosu, jeho dlouhodobé změny a vliv mimořádných událostí na acidifikovaných tocích pramenné části povodí Litavky v Brdech. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 56 s.
- [5] BERGSTRÖM, S. (1976): Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. Ph.D. thesis, Report of the Swedish Institute of Meteorology and Hydrology, 7, Norrköping, Sweden. 216 p.
- [6] BERGSTRÖM, S. (1992): The HBV model - its structure and applications. Report of the Swedish Institute of Meteorology and Hydrology, 4, Norrköping, Sweden, 35 p.
- [7] BOOIJ, M. J., HUISJES, M., HOEKSTRA, A. Y. (2006): Uncertainty in climate change impacts on low flows. *Climate Variability and Change—Hydrological Impacts* (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006), IAHS Publ. 308, 401-406.
- [8] BRACÍKOVÁ, R. (2003): Studie experimentálního povodí v oblasti Brdské vrchoviny. Diplomová práce. FSv ČVUT, Praha, 72 s.
- [9] BUWAL (1998): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer in der Schweiz. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern (Schweiz), 49 p.
- [10] CENIA (2008). Životní prostředí České republiky. Česká informační agentura životního prostředí, Studio Press, Praha, <http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/BIODIVERZITA.html>, [vid. 2016-04-13].

- [11] CENIA (2010): Kvalita povrchových vod v České republice a její vývoj. Česká informační agentura životního prostředí, Studio Press, Praha, [http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akttema.nsf/\\$pid/MZPMSFT33PSN/\\$FILE/vody.html](http://www.cenia.cz/web/www/cenia-akttema.nsf/$pid/MZPMSFT33PSN/$FILE/vody.html), [vid. 2016-04-16].
- [12] CULEK, M. et al. (2005). Biogeografické členění České republiky. II. díl, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 589 s.
- [13] DEMEK, J. et al. (1987): Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 p.
- [14] DOERING, M., ROBINSON, C.T. (2010): Optimal ecological discharge. In: Water Management Strategies against Water Scarcity in the Alps, Report of the Interreg project IV B, Alpine Space Programme, 100 pp.
- [15] DOYLE, M.W., STANLEY, E.H., STRAYER, D.L., JACOBSON, R.B., SCHMIDT, J.C. (2005): Effective discharge analysis of ecological processes in streams. *Water Resources Research*, 41: 1-16.
- [16] EEA (1997): Water resources problems in Southern Europe. European Environment Agency, Topic report No 15, Copenhagen, 273 pp.
- [17] HALL, R.J., LIKENS, G.E., HENDREY, G.R. (1980): Experimental acidification of a stream in the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire. *Ecology*, 61(4): 976-989.
- [18] HORECKÝ, J., RUCKI, J. KRÁM, P., KŘEČEK, J. (2013): Benthic macroinvertebrates of headwater streams with extreme hydrochemistry. *Biología*, 68(2): 303-313.
- [19] HRUBAN, R. et al. (2015): Koncepce vodohospodářské politiky pro ČR 2015, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem, 41 s.
- [20] HRUŠKA, J. a KOPÁČEK, J. (2005): Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost, edice PLANETA, odborný časopis, vydává MŽP, ročník XII, číslo 5/2005, 24 s.
- [21] HRUŠKA, J. a KOPÁČEK, J. (2009): Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy I. Emise a depozice okyselujících sloučenin, Akademie věd ČR, Nakladatelství Academia, Živa 2/2009, 93-96 s.
- [22] HUDSON, H.R., BYROM, A.E., CHADDERTON, L. (2003): A critique of IFIM - instream habitat simulation in the New Zealand context. Department of Conservation, Wellington, New Zealand, 69 pp.

- [23] CHRISTENSEN, J.H. (2005): Prediction of regional scenarios and uncertainties for defining European climate change risks and effects (PRUDENCE), Final Report EVK2-CT2001-00132, Danish Meteorological Institute, Copenhagen, 231 p.
- [24] IPCC (2007): Climate Change: Synthesis Report. World Meteorological Organization, Genéva, 243 s.
- [25] KEMEL, M. (2000): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. ČVUT, Praha, 290 s.
- [26] Koncepce řešení problematiky ochrany před povodněmi v České republice s využitím technických a přírodně blízkých opatření (2010), Ministerstvo zemědělství a ministerstvo životního prostředí, Praha, 29 s.
- [27] KŘEČEK, J., HOŘICKÁ, Z. (2006): Forests, air pollution and water quality: influencing health in the headwaters of Central Europe's "Black Triangle". *Unasylva* 57(2): 46-49.
- [28] KŘEČEK, J., TUREK, J., LUNGREN, E., STUHLÍK, E., ŠPORKA, F. (2006): Hydrological processes in small catchments of mountain headwater lakes: The Tatra Mountains. *Biologia*, 61: 1-10.
- [29] KŘEČEK, J., VRTIŠKA, J. (2013): Indikace změn klimatu v horském povodí. *Civil Engineering Journal (Stavební obzor)*, 22: 61-70.
- [30] MŽP (2011): Metodický pokyn odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí ke stanovení hodnot minimálních zůstatkových průtoků ve vodních tocích. MŽP ČR, Praha (5/9/2011), 5s.
- [31] MŽP, Politika ochrany klimatu v České republice, Návrh Ministerstva životního prostředí ČR, 146 s.
- [32] NOVICKÝ, O. et al. (2008): Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Vltavy, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 30 s., ISBN 978-80-85900-79-8
- [33] O'CONNELL, P. E., BEVEN, K. J., et al. (2004): Review of impacts of rural land use and management on flood generation. Part A: Impact Study Report. R&D Technical Report FD2114/TR, DEFRA, London, UK, 142 p.
- [34] PAŽOURKOVÁ, E. (2015): Ekologický průtok v horském povodí ovlivněném acidifikací, Soutěžní práce SVOČ, FSv ČVUT, Praha, 14 s.

- [35]PRETEL, J. et al. (2011): Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření, Ministerstvo životního prostředí: Projekt VaV – SP/1a6/108/07, Praha, 67 s.
- [36] Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody (2015), Ministerstvo zemědělství, 19 s.
- [37]PUNČOCHÁŘ, P., KŘEČEK, J. (2011): Potenciální evapotranspirace v horském povodí. *Civil Engineering Journal (Stavební obzor)*, 20: 84-86.
- [38]SEIBERT, J. (2005): HBV light version 2, User's manual. Department of Physical Geography and Quaternary Geology. University of Stocholm, 48 p.
- [39]SHAW, E.M. (1991): Hydrology in practice. 2nd edition, Chapman & Hill, London, 539 s.
- [40]STEJSKAL, L. (2012): Změna klimatu a jej dopady: hlavní hrozba 21. Století, Trendy, rizika a scénáře bezpečnostního vývoje ve světě, Evropě a ČR – dopady na bezpečnostní politiku a bezpečnostní systém ČR, Ministerstvo vnitra ČR, 34 s.
- [41]STONER, J.H., GEE, A.S., WADE, K.R. (1984): The effects of acidification on the ecology of streams in the upper Tywi catchment in West Wales. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 35: 125-157.]
- [42]STUHLÍK, E., KOPÁČEK, J., FOTT, J. and HOŘICKÁ, Z. (2006): Chemical composition of the Tatra Mounatin lakes: Response to acidification. *Biologia*, 61: 11-20.
- [43]SULLIVAN, T.J., CHRISTOPHERSEN, N., MUNIZ, I.P., SEIP, H.P., SULLIVAN, P.D. (1986): Aqueous aluminium chemistry response to episodic increases in discharge. *Nature*, 323: 324 – 327.
- [44]TUREČEK, K. (2002): Zákon o vodách. SONDY, Praha, 349 s.
- [45]VÚV TGM (2009-2015): Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, Resort životního prostředí, <http://www.vuv.cz/index.php/cz/>, [vid. 2016-04-12]
- [46]ZLATNÍK, A. (1976): Lesnická fytoecologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 495 s.