

**Univerzita Karlova v Praze**

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie



Jan Musil

## **EXTREMITA ODTOKU V POVODÍ HORNÍ LUŽNICE**

Runoff extremity in the upper Lužnice catchment area

*Diplomová práce*

Vedoucí diplomové práce: prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Praha 2015

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci zpracoval samostatně s využitím uvedené literatury a dalších informačních zdrojů. Všechny použité prameny jsou řádně citovány. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného či stejného akademického titulu.

V Praze 13. srpna 2015

---

Jan Musil

Děkuji vedoucímu své diplomové práce prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za vedení, cenné rady a čas, které věnoval konzultacím a připomínkování této diplomové práce. Poděkování patří také celému hydrologickému týmu Přírodovědecké fakulty za správu měrných stanic, pracovníkům Povodí Vltavy a Úřadu dolnorakouské vlády - oddělení hydrologie a geoinformatiky, za poskytnutá data. Děkuji za podporu a pomoc svým přátelům a rodině.

## **Abstract**

Thesis subject is the evaluation of runoff and flood regime of rivers Lužnice and Skřemelice at the closing profiles just before their confluences. The results are compared with findings from the profile Pilař, which were published in the past by other authors. More attention is paid to the evaluation of the hydrological year 2013 and in detail is described the flood in June of the same year. Daily flow data from the years 1971 - 2014 were used for evaluating of runoff conditions. The assessment of the runoff regime in terms of daily, monthly and annual flows were compared with the runoff regime in Pilař gauge station. The source regions with dominating influence on the resulting runoff were discovered. Analysis of the flood regime confirmed that spring floods in Lužnice came mainly from upland and hilly parts of catchment and large summer floods have main source area in the catchment of Lužnice river itself, before the confluence of the Lužnice river and Skřemelice river. When assessing flood in 2013, the main source areas of flood flows that hit Lužnice river basin were founded. The flood extremity was compared in each closing profiles.

## **Key words**

Upper Lužnice river, Skřemelice river, catchment area, discharge, flood events, runoff regime, flood regime

## **Abstrakt**

Předmětem diplomové práce je vyhodnocení odtokového a povodňového režimu Lužnice a Skřemelice v závěrových profilech před soutokem obou toků. Zjištěné výsledky jsou porovnány s poznatky z výsledného profilu Pilař, které ve svých pracích publikovali jiní autoři. Větší pozornost je v hodnocení věnována hydrologickému roku 2013 a podrobně je popsán průběh povodně z června téhož roku. Pro vyhodnocení odtokových poměrů byla použita data denních průtoků z let 1971 - 2014. Z vyhodnocení odtokového režimu z hlediska denních, měsíčních a ročních průtoků byly v porovnání s režimem na Pilaři odhaleny zdrojové oblasti mající dominantní vliv na výsledný odtok. Analýza povodňového režimu potvrdila, že jarní povodně na Lužnici pocházejí převážně z vrchovinné a pahorkatinné oblasti povodí a velké letní povodně mívají hlavní zdrojovou oblast v povodí samotné Lužnice nad soutokem se Skřemelicí. Při hodnocení povodně 2013 byly nalezeny hlavní zdrojové oblasti povodňových průtoků, které zasáhly povodí Lužnice a porovnána extremita povodně na jednotlivých závěrových profilech.

## **Klíčová slova**

Horní Lužnice, Skřemelice, povodí, průtok, povodňové události, odtokový režim, povodňový režim

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	7
1.1. Cíle práce .....	8
<b>2. Lužnice</b> .....	9
2.1 Charakteristika zájmové oblasti .....	11
2.1.1 Horní Lužnice .....	11
2.1.2 Vymezení povodí .....	12
2.1.3 Průběh toku zájmovou oblastí .....	13
2.1.4 Skřemelice .....	24
2.2 Klimatická charakteristika oblasti .....	27
2.3 Využití krajiny .....	31
2.4 Ochrana přírody .....	33
2.5 Hodnocené profily .....	35
<b>3. Extremita</b> .....	37
3.1 Pojem extremita .....	37
3.2 Extremita odtoku .....	38
<b>4. Povodeň</b> .....	38
4.1 Vymezení pojmu povodeň .....	38
4.2 Hodnocení povodně .....	39
4.3 Ovlivňující faktory .....	40
4.3.1 Tvar říční sítě a sklonitost .....	41
4.3.2 Morfologie koryta .....	41
4.3.3 Landuse a jeho změny .....	42
4.3.4 Zhutňování půdního profilu a urbanizace .....	42
4.3.5 Dopravní infrastruktura .....	43
4.4 Klasifikace povodní .....	43
4.4.1 Typy povodní v Česku .....	44
<b>5. Sucho</b> .....	51
5.1 Příčiny vzniku sucha .....	51
5.1.1 Atmosférická cirkulace .....	52
5.2 Klasifikace sucha .....	53
5.3 Dopady sucha .....	56
<b>6. Odtokový režim Lužnice a Skřemelice</b> .....	56
6.1 Režim denních průtoků .....	57

6.1.1 Lužnice - Ehrendorf.....	57
6.1.2 Skřemelice - Hoheneich.....	62
6.2 Režim měsíčních průtoků.....	69
6.2.1 Lužnice - Ehrendorf.....	69
6.2.2 Skřemelice .....	72
6.3 Režim ročních průtoků.....	75
6.3.1 Lužnice - Ehrenorf.....	76
6.3.2 Skřemelice - Hoheneich.....	79
<b>7. Povodňový režim Lužnice a Skřemelice .....</b>	<b>81</b>
7.1 Lužnice - Ehrendorf.....	82
7.2 Skřemelice - Hoheneich .....	86
<b>8. Povodeň 2013 .....</b>	<b>90</b>
8.1 Meteorologická situace .....	90
8.1.1 První srážková epizoda 30.5.2013 - 3.6.2013.....	91
8.1.2 Druhá srážková epizoda 10.6.2013 .....	93
8.1.3 Třetí srážková epizoda 22.6.2013 - 25.6.2013.....	94
8.2 Hydrologická situace.....	94
8.2.1 Povodeň 2013 v povodí horní Lužnice.....	95
8.2.2 Extremita povodně .....	101
<b>9. Diskuze .....</b>	<b>102</b>
<b>10. Závěr.....</b>	<b>105</b>
<b>11. Seznam použité literatury a zdrojů .....</b>	<b>107</b>
<b>12. Přehled použitých zkratk .....</b>	<b>111</b>
<b>13. Seznam map, obrázků, grafů a tabulek.....</b>	<b>111</b>

## 1. Úvod

Extrémní odtokové události jsou přirozenou součástí oběhu vody, se kterými se lidstvo setkává po celou svou historii. Přesto stále jsou vzniklé škody vysoké a dochází i ke ztrátám na lidských životech. Zdá se tak, že lidé stále ještě neumí dostatečně efektivně přirozeným extrémům čelit. Příčiny jsou pravděpodobně ve velmi krátké paměti lidstva. V posledních necelých dvaceti letech dochází v Česku jednoznačně k nárůstu četnosti výskytů extrémních odtokových událostí, což zapříčiňuje mimo jiné zvýšený zájem odborné veřejnosti i obyvatelstva o tyto jevy, ale také státu kvůli ochraně občanů a majetku. Tato může být účinná pouze při dobrém poznání mechanismu vzniku, průběhu a prostorového rozložení extrémních událostí. O rozšíření těchto znalostí se pokusil i autor této práce.

Výkyvy v odtoku mají různou dobou trvání a objevují se v různých částech roku a zároveň jejich výskyt může být koncentrován do delšího časového období. Odchytky mají různou intenzitu a rozmanité příčiny vzniku. Jejich průběh či doba trvání mají nespočet ovlivňujících faktorů. Dokonalé poznání a přesné předpovědění intenzity, okamžiku a doby trvání extrémních událostí i z tohoto důvodu není možné. Druhým důvodem je fakt, že každá extrémní událost má svá specifika, která ji dělají jedinečnou a neopakovatelnou. Svým poznáním se tak můžeme pouze přiblížit skutečnému průběhu procesů.

Pro zmírnění následků extrémů odtoku je v krajině, která je do značné míry zdevastovaná a ve stavu, který průběh extrémů do určité míry ještě zhoršuje, potřeba udělat mnoho úprav a napravit chyby našich předků. O nic méně náročné a nezbytné je pro lepší zvládnutí výkyvů v přírodě také dobrá informovanost veřejnosti a zejména nutná změna vnímání krajiny, přírody a procesů v ní probíhajících. Dojde-li ke změně přístupu valné části obyvatelstva ke krajině v tom smyslu, že krajina a příroda je velmi snadno zranitelnou a že to, jak se chovají lidé k prostředí, v němž žijí, se zpětně odráží i na intenzitě a průběhu extrémních událostí, a to nejen odtokových.

Rozvodnice všech hlavních povodí, z nichž je odváděna voda z Česka, téměř kopírují hranice našeho státu. Z tohoto důvodu je vodnost všech toků závislá na srážkách, které vypadají nad naším územím. Ze stejného důvodu i přirozené povodně mají místo vzniku v prostoru našeho státu. Jedním z mála toků pramenících mimo území státu je řeka Lužnice. Přestože část povodí v pramenné oblasti zasahuje i do Česka, většina plochy povodí horní Lužnice se nachází v Rakousku, odkud k nám přivádí vodu. Množství vody, které Lužnice za určitý čas přiteče Lužnicí na naše území je do značné míry závislé na množství a intenzitě srážek, které vypadají mimo území Česka.

Lužnice se těsně před vstupem na naše území slévá se Skřemelicí, která je svým průtokem, délkou či plochou povodí téměř identickým tokem, který však protéká mírně odlišným prostředím. Odtokový režim Lužnice je na území Česka velmi specifický a jedinečný, zejména díky vyvinuté přirozené nivě a rybniční soustavě na Teboňsku. Svá odtoková specifika tak Lužnice do značné míry získává až v Česku. Odtokovému režimu, povodňovému režimu a mechanismu vzniku povodní na Lužnici se v minulosti podrobně věnoval např. Vlasák (2006, 2007). Odtokový režim a povodně však byly zatím vždy hodnoceny nejvýše pro závěrový profil Pilař. Na Pilaři je součástí povodí Lužnice značně rozmanité prostředí, v němž se vytváří charakteristiky výsledného odtoku. Toto prostředí zahrnuje horskou oblast Novohradských hor, vrchovinnou oblast a nížinnou s vyvinutou nivou. Tato práce předkládá vyhodnocení odtoku zvláště pro menší celky s nižší mírou diverzifikace. Výsledky jsou zároveň porovnány se zjištěními jiných autorů zabývajících se odtokem na Pilaři. Na základě porovnání bylo rozhodnuto, jaká oblast povodí horní Lužnice má zásadní vliv na utváření specifík výsledného odtoku nebo konkrétních odtokových událostí.

Práce je členěna do několika ucelených oddílů. Po úvodní části jsou představeny cíle práce a dále podrobný popis zájmové oblasti s ohledem na fyzicko-geografické prvky, jež mají zásadní vliv na formování odtoku. Následuje vyhodnocení a porovnání odtokových režimů dvou toků - Skřemelice a Lužnice - jež jsou dvěma hlavními zdroji vodnosti Lužnice před jejím vstupem na území Česka, a to před jejich soutokem. Zvýšená pozornost u vyhodnocování odtokového režimu je zaměřena na události výrazněji se odchylující od normálu a na rok 2013. Vyhodnocen je následně povodňový režim obou toků na základě 44 leté řady hydrologických dat. Podrobně je představena povodeň ze začátku června 2013, která kromě řady dalších českých i evropských toků zasáhla i Lužnici. Porovnání a shrnutí závěrů pro oba toky je vždy uvedeno již v příslušné kapitole.

## **1.1. Cíle práce**

Cílem diplomové práce je porovnat hydrologické režimy horní Lužnice a Skřemelice a porovnat výsledky se zjištěními, jichž dosáhli jiní autoři při vyhodnocování odtokového a povodňového režimu Lužnice na profilu Pilař. Zaměřit se podrobněji na extrémní odtokové události. Na základě vyhodnocení odtoku z povodí obou hlavních zdrojnic vyhodnotit, která ze zdrojových oblastí má zásadní vliv na formování výsledného odtoku a na průběh konkrétních odtokových událostí. Dalším cílem je vyhodnocení průběhu povodně z června roku 2013 na dvou profilech na každém z toků a na výsledném profilu po jejich soutoku.



## 2. Lužnice

Řeka Lužnice je tokem III. řádu (dle Gravelia) na jihu Česka a na severu Rakouska, kde se nachází její horní tok. Lužnice pramení pod názvem Lainsitz na území Rakouska v Novohradských horách (Gratzener Bergland) na česko-rakouském pomezí. Její pramen se nachází na západním svahu hory Eichelberg (1054 m n. m.) v nadmořské výšce 977 m nad mořem.<sup>1</sup> Lužnice je tok dlouhý 197,9 km a z jeho celkové délky se 40,24 km nachází na území Dolního Rakouska (Niederösterreich) a zbylých 157,66 km protéká Českem (VÚV T.G.M. 2006). Plocha území, ze kterého Lužnice odvádí vodu, je 4234,65 km<sup>2</sup> (ČHMÚ 2014) a vytváří v něm asymetrickou říční síť s většinou hlavních přítoků z pravé strany. Lužnice spolu s Vltavou, jejíž je pravostranným přítokem, vytváří přirozenou osu Jihočeského kraje. Průměrný roční průtok Lužnice na profilu Bechyně<sup>2</sup> je 23,6 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (ČHMÚ 2014) a patří tak s Otavou a Vltavou mezi tři nejvodnatější jihočeské řeky. Tok Lužnice lze podle morfologie prostředí, kterým protéká, rozdělit na tři základní úseky. Na horní část v Novohradských horách a Rakousku, na část protékající plochou Třeboňskou pánví a na dolní část tvořící hluboké údolí v krystaliniku.

Lužnice ve své nejhořejší části krátce protéká Novohradskými horami (pro podrobný popis průběhu horní Lužnice viz kapitolu 2.1.1 Horní Lužnice), dále severovýchodním směrem přes mírně zvlněné území Dolního Rakouska do hraničního města Gmünd a sousedních Českých Velenic. V Gmündu se do Lužnice z pravé strany vlévá řeka Skřemelice (zde však pod názvem Braunaubach), která je zároveň největším přítokem Lužnice na území Rakouska.

Krátce po soutoku se řeka obrací k severu a tento směr si udržuje až na svůj 41. ř. km u města Tábor. S tím, jak se u Gmündu mění směr toku, se prudce mění i jeho charakter. Ještě na území Rakouska, kterým protéká dalších cca 5 km, než se již definitivně ocitne na území Česka, se z ní stává nížinný meandrující tok s nižšími rychlostmi proudění a malým spádem okolo 0,5 ‰ (Chábera 1986). Lužnice protéká širokým a rovinatým územím Třeboňské pánve a řeka tu má na mnoha místech přírodní a lidskou činností téměř nepozměněný charakter. Lužnice zde ve štěrkopískových kvartérech sedimentech vytváří přirozenou nivu, která je vymezena říčními terasami. Ty provázejí Lužnici na více místech a například v části s hlubokým údolím jsou nejlépe rozpoznatelné pod Bechyní (Chábera

---

<sup>1</sup> Nadmořská výška pramene se v různých zdrojích liší, například Chábera ve svém díle Jižní Čechy (1986) udává výšku pouze 900 m n. m., taktéž Chábera v jiném díle (1998) posunuje výšku pramene na 990 m n. m., M. Bílek z Jihočeské univerzity udává nadmořskou výšku 920 m (1999) a dále například česká verze Wikipedie umísťuje pramen do nadmořské výšky 970 m, zatímco její rakouská mutace do 980 m n. m. V této práci autor odvodil hodnotu nadmořské výšky pramene pomocí WMS služby Niederösterreich-Atlas (NÖ Atlas 4.0).

<sup>2</sup> Hlásný profil č. 111 v Bechyni zahrnuje 95,7 % plochy povodí Lužnice (ČHMÚ 2014). Pod Bechyní se součástí Lužnice až do soutoku s Vltavou stávají jen velmi drobné toky s délkou nepřesahující 3 km, které celkový průtok ovlivňují jen minimálně. Mezi větší přítoky patří pouze Židova strouha a Bilinský potok, které mají průměrný průtok u ústí menší než 0,3 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Vlček 1984).

1986). V nivě se probíhajícími procesy vyvíjí řada fluviálních jezer a tůní. Pro ochranu těchto přírodních fenoménů jsou na jejich části vymezeny přírodní rezervace Krabonošská niva a Horní Lužnice. Další chráněná území v bezprostředním okolí řeky jsou PR Na Ivance a NPR Stará a Nová řeka, které jsou součástí CHKO Třeboňsko zahrnující celé okolí toku na Třeboňsku. Třeboňská pánev je proslulá svými důmyslnými soustavami rybníků, k jejichž napájení je pomocí řady kanálů využívána i voda z Lužnice. Kanál Zlatá stoka, oddělující se z Lužnice nad jezem Pilař nedaleko obce Majdalena, odvádějící většinou přibližně  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Svoboda 2011), patří mezi nejvýznamnější z nich. Tento 45,5 km dlouhý kanál napájí rybníky Třeboňské rybníční soustavy a zpět do Lužnice se vrací až na jejím 77. říčním kilometru asi 1 km jižně od Veselí nad Lužnicí (Svoboda 2011). U Suchdola n. L. z pravé strany přitéká do Lužnice Dračice a pod Pilařem, též z pravé strany přitéká Koštěnický potok. Tyto toky patří mezi nejvýznamnější přítoky Lužnice na Třeboňsku.

Charakter řeky a jejího okolí se pod Pilařem téměř nemění a dalším důležitým bodem je Rozvodí na 109,6 ř.km, kde se Lužnice rozděluje na dva různé toky. Jedním z nich je umělý kanál Nová řeka a druhý je pokračováním řeky Lužnice<sup>3</sup>. Nová řeka je přes 13 km dlouhý kanál vybudovaný v letech 1585 - 1587 za účelem ochrany rybníka Rožmberk před povodněmi a zároveň zásobuje vodou další rybníky. Nová řeka odvádí část Lužnické vody ( $Q_a = 5,75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (ČHMÚ 2014)) a převádí jí do jiné části povodí Lužnice resp. do povodí řeky Nežárky, do které se vlévá cca 3 km severozápadně od obce Stráž nad Nežárkou. Lužnice od Rozvodí pokračuje svým původním meandrujícím korytem s vyvinutou nivou až do Rožmberku. Pod tímto rybníkem Lužnice dosahuje průměrného ročního průtoku  $Q_a = 4,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (ČHMÚ 2014) a již nadále není tak silně meandrujícím tokem z důvodu částečného narovnání. Niva již také není přirozená a její využití je převážně zemědělské. V těsné blízkosti Lužnice před Veselím n. L. se také nacházejí dnes již bývalé písčiny, které zde byly vytěženy v 50. - 80. letech 20. století. V současnosti jsou tyto písčiny, z nichž některé vznikly kvůli potřebě množství písku při stavbě JE Temelín, zatopené a rekreačně využívány.

Ve Veselí nad Lužnicí se nachází soutok Lužnice s 56 km dlouhou Nežárkou, která je jejím největším přítokem. Nežárka vzniká soutokem Kamenice a Žirovnice asi 5 km severovýchodně od Jindřichova Hradce a do Lužnice přivádí vodu z Českomoravské vrchoviny. Její průměrný roční průtok má hodnotu  $12,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (ČHMÚ 2014)<sup>4</sup>. V úseku mezi Veselím n. L. a Soběslaví je řeka zákrutovitým tokem a v nivě se stále vyskytují fluviální jezera (např. PR Dráčovské Tůně). Řeka protéká plochou krajinou a téměř není zahloubena v nějakém údolí. Svahy nad řekou se začínají zvedat mezi Soběslaví a Planou n. L., kde řeka opouští celek Třeboňská pánev a vstupuje do celku Táborská pahorkatina. Svahy se zpočátku zdvihají velmi mírně a silněji se okolní terén nad řekou zvedá na levém břehu. Více

<sup>3</sup> V tomto místě též zvaná Stará řeka.

<sup>4</sup> Hodnota ze stanice Hamr (98,2 % plochy povodí), tedy včetně vody převedené Novou řekou z Lužnice.

zařezávat do krystalických hornin Táborské pahorkatiny se Lužnice začíná postupně až od Plané nad Lužnicí. Hluboké údolí se strmými svahy na obou březích má Lužnice až těsně před Tábořem.

Na 41. ř. km se Lužnice u Tábora ze svého severního směru stočí na východ a po poměrně krátké cca 10 km trvající trase východním směrem se stočí ještě více a až do soutoku s Vltavou si udržuje jihozápadní směr. Pod Tábořem se údolí Lužnice ještě více prohlubuje a řeka je svírána okolními prudkými 50 - 70 m vysokými svahy v poměrně úzkém údolí. Na těchto svazích se vyskytuje řada strmých skalních výchozů, které mnohdy spadají až do řeky. Na krátkých úsecích tyto výchozy vytvářejí až kaňonovitý ráz údolí<sup>5</sup>. Tento charakter údolí má Lužnice kromě krátkého úseku před Bechyní od Tábora až po soutok s Vltavou. Spád řeky se pod Tábořem pohybuje mezi 0,8 ‰ a 1,8 ‰ (Chábera 1986) a dno koryta je zaplněno četnými, místy i několikametrovými balvany<sup>6</sup>. Na 206,5. ř. km řeky Vltavy, do které přináší vodu z téměř celé východní poloviny Jižních Čech a části Horního Rakouska, se Lužnice u obce Neznašov stává její součástí<sup>7</sup>.

Pro stanovení vlastností povodí se každému přiřazují jeho charakteristiky, které ho přesně popisují. Pro Lužnici jako celý tok již uvedl řadu hydrologických charakteristik ve své práci Svoboda (2011), a proto jim v této práci znovu není věnován prostor. Charakteristiky povodí budou podrobněji rozvedeny pouze pro dílčí část povodí v následující kapitole.

## **2.1 Charakteristika zájmové oblasti**

Cílem této kapitoly je podrobněji popsat oblast zájmového povodí tak, aby si čtenář dokázal představit, jak Lužnice a Skřemelice a jejich okolí vypadá na svém horním toku. Kapitola popisuje jednotlivé části toku směrem od pramene k závěrovému profilu. Průběh toku je popisován po jednotlivých různě dlouhých úsecích, které se jeden od druhého výrazně odlišují na základě směru toku, typu údolí a s tím související geologické stavby, využití okolí toku a dalšími charakteristikami. Popis částí toku je doplněn o fotografie dokreslující představu o průběhu toku.

### **2.1.1 Horní Lužnice**

Oblastí horní Lužnice bývá v Česku často vnímána část toku od rakousko-českých hranic v okolí obcí Nová ves n. L, Halámky, Suchdol n. L až po Majdalenu, přestože se ve skutečnosti jedná spíše už o tok střední (Svoboda 2011). Svoboda ve své práci usuzuje, že toto vnímání má možnou příčinu v minulé přítomnosti železné opony, kdy Lužnice pro obyvatele Čech začínala až svým

<sup>5</sup> Více než na Lužnici je tento ráz možno nalézt na jejích přítocích a to zejména při ústí Vlášnického potoka a Židovy strouhy.

<sup>6</sup> Dnes je většina těchto balvanů skrytá pod hladinou, nad kterou za nižších vodních stavů vyčnívají pouze ty největší z nich. Důvodem jsou dřívější úpravy koryta pro plavení dřeva a stavby jezů pro mlýny (v současnosti často MVE).

<sup>7</sup> Přesněji se stává v nadmořské výšce přibližně 350 m součástí VD Kořensko, jehož vzduť zasahuje až do Lužnice.

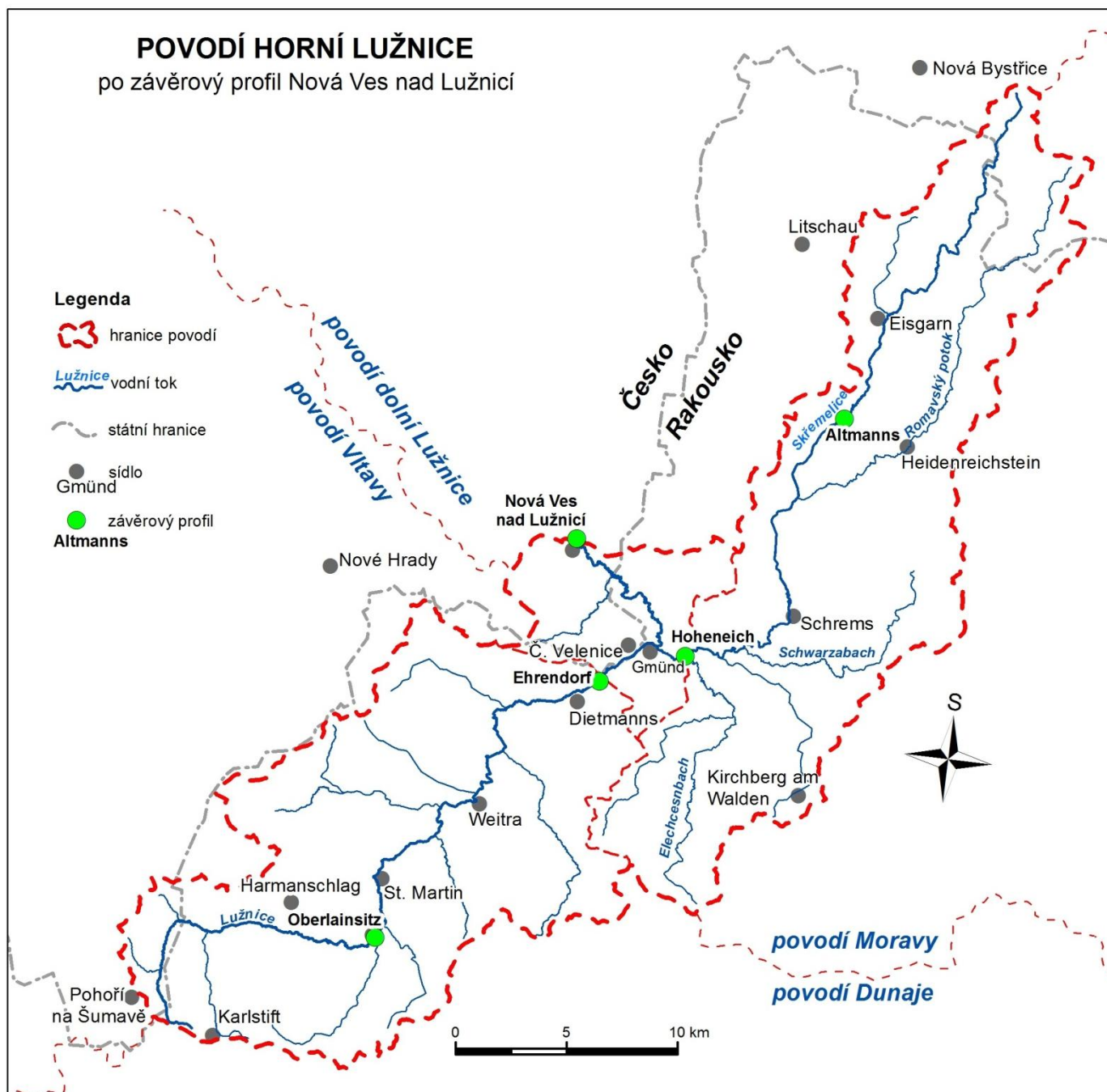
vstupem na české území u Českých Velenic. Jinou příčinou by mohla být oproti většině našim ostatním tokům relativně dlouhá trasa mimo území Česka. Převážná část našich toků pramení na našem území nebo se za našimi hranicemi vyskytují jen velmi krátce, a proto jsou toky v pohraničí správně považovány za horní. Většina našich toků má svou horní část na našem území, a proto Lužnice, která se poměrně dlouho vyskytuje v Rakousku, není považována za výjimku a její část nedaleko hranic je automaticky považována za horní.

Samotné teoretické rozdělení toku na horní, střední a dolní část je ve skutečném prostředí často poměrně obtížně vymezené a není ani jednoznačně definované. Jeden z přístupů rozděluje tok na tři části podle tvaru údolí, převládajícího typu eroze, rychlosti proudění a podle průběh toku. Horní tok by měl být s převládající hloubkovou erozí v údolí tvaru „V“, střední tok s menší rychlostí proudění a údolí tvaru „U“ a dolní tok by měl být meandrující, v plochém údolí s výrazným ukládáním neseného materiálu. Skutečný charakter reliéfu a jeho prostorová proměnlivost takto ideální rozdělení toku mnohdy neumožňuje a ani Lužnice s velmi různorodým prostředím, kterým protéká, není výjimkou. V této práci je vymezené povodí považované za povodí horní Lužnice vymezeno pramenem Lužnice a závěrovým profilem v Nové Vsi nad Lužnicí, kde se nachází hydrologická stanice ve správě PŘF UK.

### **2.1.2 Vymezení povodí**

Vybraná oblast spadá pod povodí Labe a Vltavy a značná část jeho rozvodnice je součástí hlavního evropského rozvodí mezi Dunajem a Labem. Vzhledem k ostatním povodím je jeho rozvodnice na východní a jihovýchodní straně společná s rozvodnicí Dyje resp. Moravy a Dunaje, z jižní strany rozvodnice odděluje povodí řeky Aist a Kamp resp. Dunaje, jehož levostrannými přítoky jsou. Jihozápadní část povodí sousedí s povodím Malše a západní okraj povodí Skřemelice resp. Lužnice, odděluje povodí Dračice, která se vlévá do Lužnice již mimo zájmovou oblast. Povodí horní Lužnice s dílčími povodími Skřemelice a Lužnice, spolu se všemi v této práci využitými závěrovými profily zobrazuje mapa č: 1.

Mapa č. 1: Povodí horní Lužnice



Zdroj dat: databáze DIBAVOD, OpenStreetMap, e-HYD, ArcČR 500

### 2.1.3 Průběh toku zájmovou oblastí

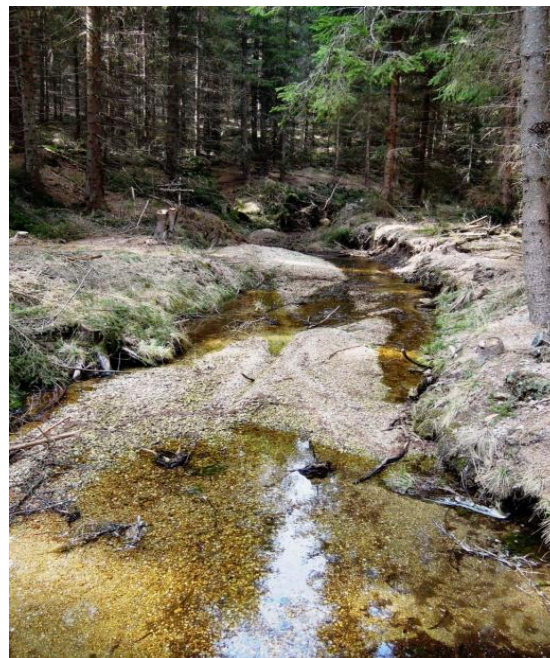
Pramen Lužnice se nachází u lesní cesty na svahu hory Eihchelberg v nadmořské výšce 977 m n. m. (NÖ Atlas 4.0 2013) a je ohraničen malou kamennou stavbou (obrázek č. 1). Pramen se však nenachází přímo v této stavbě, do které je voda pouze přivedena, ale v místě asi 10 m od ní, kde se voda z pod balvanu dostává na zemský povrch. Tok Lužnice od svého pramene směřuje přímo na západ a je zatím jen velmi malým lesním potokem se spádem až 100 ‰ (vlastní výpočet). Okolí toku,

který se nachází na granitovém podloží, je tvořeno hospodářskými, převážně smrkovými lesy. Koryto je ještě velmi mělké, s občasným výskytem balvanů, mezi kterými je zpravidla písek a štěrk. Mladou fázi toku zachycuje obr. č. 2. Niva v této části toku chybí.

**Obrázek č. 1:** Pramen Lužnice v době velmi malé vydatnosti (březen 2014)



**Obrázek č. 2:** Horní tok Lužnice



*Zdroj: oba snímky fotoarchiv autora (2014)*

Po necelých 2 km se tok stáčí na sever a zároveň překračuje státní hranici. Po další 4,5 km se nachází na českém území, v těsné blízkosti rakousko-české hranice. V tomto úseku se s přibývajícím kilometry Lužnice stává stále větším tokem, ale pořád má jen charakter horského potoka. Střídají se zde krátké úseky s poměrně malým spádem, kde je Lužnice zákrutovitým tokem se štěrko-pískovou dnovou výplní a malými lavicemi, a úseky s výrazně větším spádem s balvanitým dnem. Průběh toku je ovlivněn jednou nádrží s názvem Kapelníkův rybník, který se nachází přímo na Lužnici. Nádrž z konce 18. století o velikosti přibližně 6 ha a objemu 58 000 m<sup>3</sup> je bývalou klauzou. Spolu s touto nádrží byla voda Lužnice využívána pro technická zařízení v bývalých sklárnách, stříbrných hutích a osadách, které se v jejím okolí nacházely. Přibližně na 191. ř. km se nachází protržená hráz nádrže, která stávala na Lužnici a ta nyní protéká jejím bývalým dnem. Zbytky této nádrže vzhledem k velikosti průvalu pravděpodobně netvoří výraznou překážku proudění ani při povodňových průtocích. Příhraniční obce v blízkosti Lužnice byly všechny po 2. světové válce srovnány se zemí a kvůli této likvidaci místního obyvatelstva došlo i k ukončení využívání vody Lužnice. S tím související stavby ovlivňující proudění v korytě jsou tedy již mnoho desítek let zaniklé. Dnes tyto zásahy nejsou téměř znatelné a Lužnice je v podstatě přirozeným tokem. Nedaleko Lužnice se na území Česka



v blízkosti obce Pohoří na Šumavě také nachází tzv. falešný nebo též Český pramen Lužnice, který byl vymezen v polovině 90. let (Karvánková 2014).

Na 190,6. ř. km (DIBAVOD 2006) a v nadmořské výšce 715 m n. m. se Lužnice stáčí směrem na východ a opět překonává státní hranici, přes kterou se vrací do Rakouska, kde zůstane po dalších 40 km svého průběhu. Na rakouské straně Novohradských hor protéká asi 7 km dlouhým údolím Joachimstal (viz obr. č. 3), které vyúsťuje do podhorské krajiny. Údolí Joachimstal je tvořeno jižními svahy vrcholů Bärenstein (1003 m n. m.) a Wachelberg (931 m n. m.) a severními svahy vrcholů Ahornstein (1019 m n. m.) a Wolfsberg (892 m n. m.). Horní část údolí je zalesněná převážně smrkovo-bukovými lesy, které v dolní polovině jsou již jen ve svazích údolí, zatímco na jeho dně převažují louky v okolí obcí Angelbach a Harmanschlag. Geologickým podložím jsou weinsbergské granity, ale výplň údolního dna na většině délky úseku tvoří kvartérní štěrky a jíly.

**Obrázek č.3:** Pohled ze svahu Bärensteinu do údolí Joachimstal, uprostřed snímku vrchol Wolfsberg (892 m)

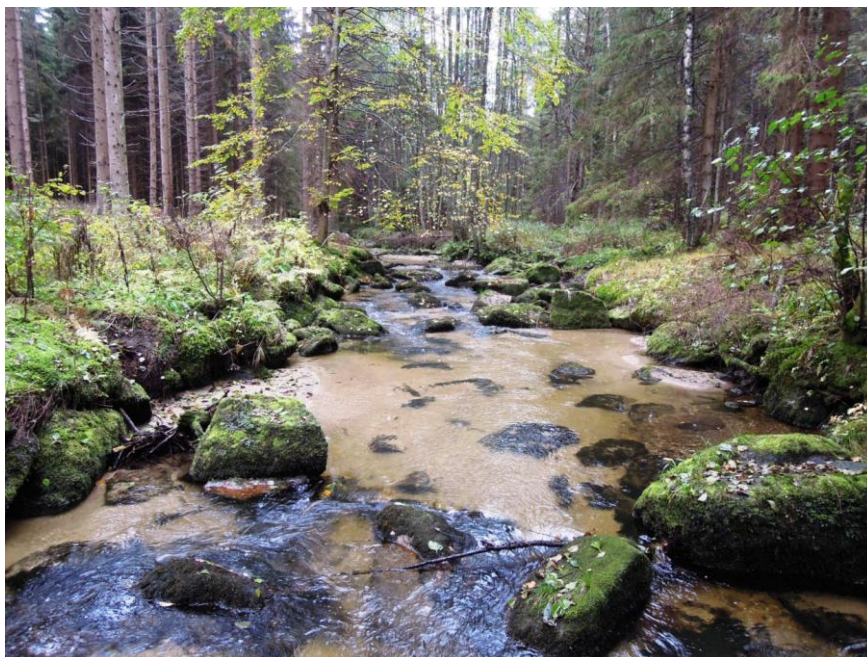


*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

V horní polovině údolí, kde Lužnice protéká zalesněným územím, se šířka koryta, která má stabilní břehy, pohybuje mezi 4 a 7 m a míra zahloubení oproti okolnímu terénu dosahuje maximálně hloubky 0,5 m. Dno koryta Lužnice v této části Joachimstalu je vyplněno žulovými balvany, mezi kterými se nachází písek a štěrk, jak je zachyceno na obrázku č. 4. Tento úsek patří mezi části Lužnice s největším spádem a charakter proudění odpovídá slapovému. Niva Lužnice v horní polovině Joachimstalu není na většině míst vyvinutá. Říční síť v celém úseku Joachimstal je pravidelná pravoúhlá s přítoky dlouhými většinou v řádu stovek metrů. Tok nejeví známky umělého zahloubení,

narovnění nebo opevnění břehů, ale před obcí Angelbach se v toku nachází jeden malý jez, u kterého je část vody z Lužnice odebírána pro provoz MVE.

**Obrázek č. 4:** Lužnice v horní části údolí Joachimstal



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Ve druhé polovině údolí se začíná snižovat spád řeky, svahy se stávají méně prudkými a celkově se údolí postupně rozšiřuje. Přibližně od obce Angelbach se místo lesního pokryvu v okolí Lužnice začínají více prosazovat zemědělsky využívané plochy, zde převážně sečené louky. O postupném rozšiřování údolí svědčí i přítomnost říční nivy, která i v této horní části povodí dosahuje místy šíře až 100 m a zároveň se v ní občas objevují meandry. I přesto, že má tok přirozený meandrující průběh, tak mu není dán prostor k přirozené boční migraci, protože niva je zemědělsky využívána až na samý kraj toku. Niva využitá jako louka je navíc protkána sítí příkopů, které ji odvodňují. Koryto je většinou hluboké okolo 1 m, proudění převážně klouzavé. Počet a velikost balvanů se oproti horní části údolí snižuje a více se objevuje písčité dno. Přítoky jsou stále jen velmi krátké (stovky m) a tvoří pravouhlou síť. V celém údolí Joachimstal se vzhledem k nízké hustotě sídel v blízkosti Lužnice jen málo vyskytují stavby, které by výrazněji ovlivňovaly proudění v korytě nebo v nivě v případě vysokých průtoků<sup>8</sup>. Asi největším zásahem do průběhu toku je odvedení části vody do MVE v obci Steinbach na konci údolí asi 900 m dlouhým kanálem.

Lužnice na konci údolí Joachimstal u obce Oberlainsitz (obr. č. 5) přechází do podhůří Novohradských hor a opět prudce mění směr a stáčí se na sever. Okolní krajina je pahorkatinná až

---

<sup>8</sup> Např. propustky, násypy vedené napříč nivou, nedostatečně dimenzované mosty atp.



vrchovinná s vrcholy vysokými okolo 700 m nad mořem, s výjimkou Novohradských hor zvedajících se západně od Lužnice, kde vrcholy dosahují 800 - 1000 m n. m. Dno údolí je ploché a široké a řeka tu vytváří nivu, jejíž šířka se pohybuje většinou okolo 100 m, ale místy její nejširší části dosahují i šířky přes 250 m. Niva je zemědělsky využívána převážně jako louka, ale místy se již objevuje i orná půda. V nivě se v minulosti vyskytovaly opuštěné meandry, které jsou dnes zarovnané s okolním terénem, ale stále je jejich dřívější přítomnost rozpoznatelná. Širší okolí toku je též zemědělsky využíváno a lesy se nacházejí jen ve vyšších částech svahů. Zemědělské plochy v Rakousku, které nebyly v minulosti postiženy kolektivizací, jsou v celém povodí úzké, protáhlé a většinou oddělené úzkými pásy travního porostu. V celém asi 5 km dlouhém úseku od konce Joachimstalu až po obec Roßbrück je Lužnice převážně zákrutovitým tokem, ale v obci Sankt Martin některé úseky vykazují známky narovnaní a na zanedbatelně velkých plochách se objevuje kamenný pohoz. Četné balvany, které se v korytě vyskytovaly ve vyšší části toku, na tomto úseku téměř mizí a dno je zaplněno štěrkem a pískem, což odpovídá údolní výplni. Proudění je většinou klouzavé a přítoky stále tvoří víceméně pravouhlou síť. Největším přítokem v této části Lužnice je potok Mühlbach s délkou přes 6 km. Jezy, rybníky nebo jiné nádrže se na toku nevyskytují a odtokový režim tak není ovlivňován. S rostoucím množstvím obytných domů v okolí Lužnice roste ale počet mostů a cest, jejichž násypy vedené napříč nivou mohou ovlivňovat proudění během povodní. Niva je protkána sítí mělkých příkopů odvádějících vodu do Lužnice, aby nebyla zamokřená a bylo možné její zemědělské využití.

**Obrázek č. 5:** Lužnice a její inundace v obci Oberlainsitz



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Na 176. ř. km u obce Roßbrück se opět velmi prudce mění prostředí, kterým řeka protéká. Lužnice mění směr svého toku ze severního na severovýchodní, ale zejména se rychle mění typ údolí. Z plochého, kvartérními sedimenty vyplněného údolí přechází do úzkého údolí tvořeného

eisgarnským granitem bez mladší údolní výplně. Svahy jsou prudké a 20 - 30 m vysoké, pokryté lesem. Strmé svahy jsou patrné na obrázku č. 6. Nad svahy se nachází téměř rovinatá krajina, která se s rostoucí vzdáleností od Lužnice mírně zvedá. Na této plošině se nachází orná půda a přibližně od 650 m n. m. se objevují lesy. Řeka v tomto cca 7 km dlouhém úseku se zařízlym údolím má větší spád a s tím i jiný charakter proudění - většinou slapové, místy peřeje. Dále se mění dnový substrát, který tvoří hlavně balvany často přesahujícími velikost 1 m (obr. č. 7). Samotné koryto je zahloubené většinou více než 1 m pod úroveň okolního terénu a niva se zde v podstatě nevyskytuje. Hlavními přítoky Lužnice jsou pravostranný Wolfgangbach a levostranný Wultschaubach a u města Weitra levostranný Tiefenbach, které také vytvářejí úzká údolí s prudkými svahy. Pravoúhlá říční síť se zde již neobjevuje a je nahrazena stromovitým tvarem říční sítě.

**Obrázek č. 6:** Údolí Lužnice na modelu reliéfu s dobře viditelným zaříznutým údolím



Zdroj: NÖ Atlas 4.0

V horní části úzkého údolí, kde se vyskytuje pouze roztroušená zástavba, nejsou téměř žádné umělé prvky ovlivňující hydrodynamiku. V jeho druhé polovině se již ale vyskytují tři MVE, z nichž první je v obci Schützenberg, druhá před městem Weitra s odběrem vody na soutoku s Wultschaubach a třetí přímo ve Weitře. Všechny nad jezy odebírají značnou část průtoku Lužnice a převádějí ji kanály dlouhými 100 - 900 m. V minulosti byla ve Weitře síla vodní energie využívána také v místních sklárnách, mlýnech a textilních dílnách. Lužnice zde protéká intravilánem a kromě jednoho jezu nad MVE jsou zde také její břehy upraveny opevněním. Koryto je poměrně hluboko pod úrovní domů a komunikací (až 3 m) a jeho balvanité dno ani trasa toku nejeví výraznější známky dřívějších úprav.

**Obrázek č. 7:** Balvanité koryto Lužnice v úzkém údolí u obce Anger



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Pod Weitrou se opět mění tvar údolí na ploché, vyplněné pliocenními uloženinami. Řeka v tomto asi 6 km dlouhém úseku teče na sever a protéká zemědělskou krajinou s ostrovy lesů a s menšími obcemi v okolí Lužnice. Niva Lužnice se postupně rozšiřuje a v některých místech dosahuje až 300 m šířky. Sečené louky a občasné plochy orné půdy jsou jejím převažujícím využitím. Postupně se pod Weitrou snižuje spád a rychlost proudění. Balvanité dno se vyskytuje ještě v úseku mezi Weitrou a obcí Oberbrühl, ale postupně se snižujícím se spádem jsou balvany nahrazovány kamenitým a písčným dnem. Stejně tak se mění rychlost proudění ze slapového na pomalé klouzavé. Koryto je zahloubeno většinou do hloubky menší než 1 m. Největším přítokem v této oblasti je Buschenbach z pravé strany. Nad obcí Oberbrühl je jeden jez, nad kterým je odebírána voda a 350 m dlouhým kanálem přiváděna do MVE. Další jez se nachází těsně pod obcí Oberbrühl u stavení, které dříve pravděpodobně sloužilo jako pila<sup>9</sup>. V obcích jsou na krátkých úsecích znatelné úpravy koryta, např. opevnění břehů. Niva ve svém asi 2 km úseku mezi obcemi Unserfrau a Heumühle je využívána jako zdroj pitné vody (viz. jímací zařízení na obr. č. 8) pro obce v okolí, ale i pro vzdálenější lokality, s kterými je zdroj spojen nadregionální sítí vodovodního potrubí (NÖ Atlas 2014). Niva je v tomto místě pokryta udržovaným travním porostem bez možnosti jiného zemědělského využití. Z leteckých snímků a ze snímků laserového skenování je patrné, že v minulosti byla Lužnice v tomto místě meandrujícím tokem s fluvialními jezery (NÖ Atlas 2014). Pravděpodobně

---

<sup>9</sup> V době, kdy autor prováděl průzkum oblasti (podzim 2013), nebyla voda nad jezem za žádným účelem odváděna.



i z důvodu využití zdejších podzemních vodních zdrojů byla řeka částečně narovnána na zákrutovitý tok a zarovnan byl i povrch nivy.

**Obrázek č. 8:** Studny v nivě Lužnice. Na snímku též patrné opevnění břehu chránící studny před boční migrací toku



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Asi 10 km před soutokem s Braunaubach se Lužnice stáčí k severovýchodu a opouští granitové podloží s kvartérní výplní údolí a vtéká do oblasti klikovského souvrství. Samotná niva je tvořena údolní pliocenní výplní a nad ní se vyskytuje 5 - 7 m vysoká štěrko-písková terasa o šířce 200 - 600 m (NÖ Atlas 2014, GEONOE 2014). Niva, která je dreny odvodňována do Lužnice, i její širší okolí je převážně využíváno jako orná půda (zachyceno na obrázku č. 9). Lužnice je zde zákrutovitým tokem se známkami napřimění v některých místech. Proudění je převážně klouzavé a koryto zahloubené méně než 1 m. Dnový substrát je kamenitý nebo písčitý. Pouze na několik desítek metrů dlouhém úseku v Gmündu jsou ve dně velké balvany a skalní podloží (viz obrázek č. 10). Tato náhlá odchylka je způsobena přítomností malého granitového ostrova v klikovském souvrství. Vodu do Lužnice na začátku úseku z levé strany přináší potok Lembach a dále jen malé často bezejmenné toky. Na 160. ř. km Lužnice přitéká do rakouského města Gmünd, kde je asi 2,5 km dlouhou součástí Rakousko-České hranice. Díky hranici procházející Lužnicí není okolí toku příliš ovlivněno lidskou činností a dále protéká přírodním prostředím. Přímo součástí intravilánu je jen na 600 m dlouhém úseku před soutokem s Braunaubach a ani zde tok není příliš svázán např. zdmi opevňující koryto. V celém tomto úseku je opět jen malý počet staveb mající vliv na hydrodynamiku v říční krajině. S rostoucí hustotou zástavby se objevuje několik mostů, 4 násypy vedené napříč nivou a pouze jeden jez v Gmündu.

**Obrázek č. 9:** Zemědělsky využívaná niva Lužnice (tok se nachází v křovinách vlevo)



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

**Obrázek č. 10:** Balvanitý úsek toku se skalním podložím v Gmündu



*Zdroj: <http://static.panoramio.com/photos/original/43799767.jpg>*

Krátce po úseku se skalnatým dnem se z pravé strany do Lužnice přidávají vody přinášené tokem Braunaubach, čímž se množství vody v Lužnici v podstatě zdvojnásobí (soutok viz na obr. č. 11). Od soutoku se Lužnice otáčí na sever až severozápad a tento směr si udržuje až k závěrovému profilu v Nové vsi nad Lužnicí. Na 150,3 ř. km Lužnice naposled překračuje státní hranici a až do jejího soutoku s Vltavou je tokem na území Česka. Po spojení s Braunaubach je Lužnice meandrujícím

tokem, který protéká širokou přirozeně se vyvíjející nivou. Ta je vyplněna pliocenními sedimenty a ohraničena 5 - 12 m vysokým terasovým stupněm. Většina plochy nivy je ponechána přirozenému vývoji, ale v malých plochách se místy vyskytují louky a orná půda. Řeka v tomto prostředí vytváří řadu fluviálních jezer, slepých ramen a na některých místech dochází k větvení Lužnice. Tento charakter toku a jeho okolí se téměř nemění po dalších 10 km od soutoku v Gmündu až po závěrový profil v Nové Vsi nad Lužnicí. Na řece se vyskytuje jeden jez s MVE těsně před závěrovým profilem, ale jinak je celý úsek bez ovlivnění hydrodynamiky nebo jinými úpravami koryta či průběhu toku.

**Obrázek č. 11:** Soutok Lužnice (na obrázku přítékající zprava) a Skřemelice



*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Lužnice je na celém svém horním toku jen málo ovlivněna nějakým vodohospodářským využitím nebo výraznějšími úpravami koryta. Ty se zde samozřejmě vyskytují, ale pouze na krátkých úsecích a to zejména na území obcí. Břehy jsou místy opevněné kamenným záhozem nebo dlažbou, většinou na nárazových březích zákrutů. Koryto bývá v některých místech uměle prohlubováno, pokud je během povodňových průtoků příliš zaneseno sedimentem, kterým v případě Lužnice jsou písky, kterých Lužnice zejména při povodních přináší velké množství. Pískové nánosy v korytě Lužnice, které jsou v něm z červnové povodně 2013, ukazuje obrázek č. 12. Obecně pro celý horní tok Lužnice po soutok s Braunaubach platí, že průběh toku je přirozeného tvaru, ale není mu umožněna přirozená boční migrace v nivě. Ta je v okolí horní Lužnice většinou poměrně široká, zemědělsky obhospodařovaná a odvodňovaná příkopy. V okolí Lužnice se vyskytuje přírodě blízká kulturní krajina. Lužnice má na velké části toku dostatečný prostor k tomu, aby se mohla při povodních rozlít do velké šířky a zároveň zde nezpůsobila žádné nebo jen minimální škody. Plocha rozlivu 30, 100 a 300-leté<sup>10</sup>

<sup>10</sup> V Rakousku se N-letost povodně zpravidla udává pro tyto hodnoty.



povodně se v podstatě neliší, liší se jen hloubka zatopení (NÖ Atlas 2014). Záplavové oblasti stoleté vody zobrazuje mapa č. 2. Mapa vypovídá také o morfologii terénu v těsné blízkosti toků. Je zřejmé, že Lužnice dále od města Weitra, má možnost širokého rozlivu v inundaci a tím také pravděpodobně větší příležitost transformovat povodňové průtoky než Skřemelice, jež má mnohem menší možnost širokého rozlivu. Přímo na Lužnici se nevyskytují žádná větší vodohospodářská díla, kromě několika MVE, které se na jejím toku vyskytují již několik kilometrů od pramene. Jezy se většinou vyskytují před MVE, ale jejich počet je v řádu jednotek. Elektrárny jsou většinou situovány v místech bývalých skláren, pil, papíren a mlýnů, kterých bylo v minulosti na Lužnici velké množství, zejména v úseku od Joachimstal po Weitra. Energie horního toku Lužnice byla až do první poloviny 20. století využívána mnohem více než dnes (Prinz 2014). O minulém využití vypovídají např. i místní názvy - Mühlgasse, Böhmühle, Papiermühle<sup>11</sup> a mnoho dalších.

**Obrázek č. 12:** Písečné lavice na březích a v korytě Lužnice v Gmündu

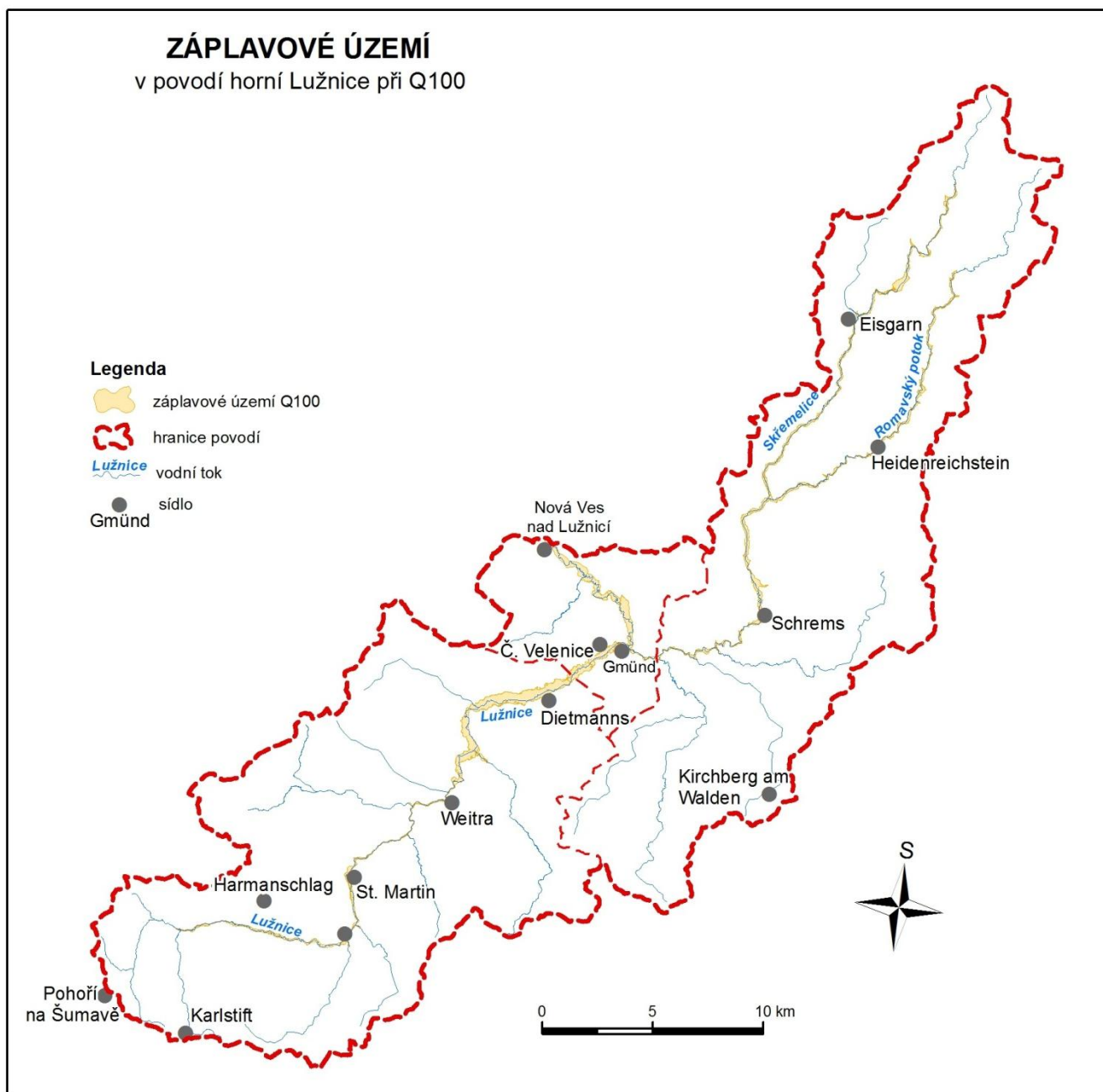


*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

---

<sup>11</sup> Německy die Mühle - mlýn. V tomto případě neznámá jen mlýn na obilí, ale obecně využití vodní energie pro nějakou činnost. V některých místních názvech se odráží i toto využití - např. Papiermühle, jak název napovídá, bylo místo, kde se vyráběl papír, německy das Papier.

Mapa č. 2: Zaplavované plochy v zájmovém povodí při stoletém průtoku



Zdroj dat: databáze DIBAVOD, OpenStreetMap, e-HYD, ArcČR 500

### 2.1.4 Skřemelice

Kapitola předkládá základní informace o povodí Skřemelice, která je hlavním přítokem Lužnice ve sledovaném území. Podrobněji je zde tento přítok představen z důvodu porovnání odtoku na závěrových profilech Lužnice a Skřemelice před jejich soutokem, které je stěžejním bodem této práce. Informace podané v této kapitole vycházejí z vlastního terénního průzkumu oblasti a



z bakalářské práce Radky Šafaříkové - Srážko-odtoková analýza povodí Skřemelice. Porovnání údajů za povodí Lužnice a Skřemelice představuje přehledná tabulka č. 1 v následující kapitole.

Skřemelice (německy Braunaubach) je tok, který se vlévá do Lužnice ve městě Gmünd a je jejím největším přítokem ve studovaném povodí. Skřemelice je tok s délkou 38,8 km, průměrným spádem 4,5 ‰ a plochou povodí 292,6 km<sup>2</sup>, které je výrazně protáhlé (Šafaříková in Svoboda 2011). Největší spád má tok ve své pramenné oblasti na území Česka. Pramen Skřemelice je v přírodním parku Česká Kanada na okraji Klášterského lesa asi 4,5 km od Nové Bystřice (Šafaříková 2009). Na území Česka se však nachází pouze část povodí o ploše 8,9 km<sup>2</sup>, tedy jen 3 % plochy celého povodí. Většina povodí je na území Rakouska ve spolkové zemi Dolní Rakousko, v oblasti Waldviertel. Tok náleží do úmoří Severního moře - povodí Labe - Vltavy - Lužnice a je tak tokem IV. řádu dle absolutní řádovosti toků.

Tok si téměř po celý svůj průběh od pramene v Javořické vrchovině ve výšce 650 m n. m. až po ústí do Lužnice udržuje téměř výhradně jihozápadní směr. Skřemelice je tak jakoby zrcadlovým odrazem toku Lužnice. Průměrný roční průtok Skřemelice na profilu Hoheneich, který zahrnuje 99,6 % povodí, je udáván 2,23 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (Das Land Niederösterreich 2014), přičemž více než polovinu z této vodnosti získá až na posledních cca 3 km svého průběhu z přítoků Schwarzabach, Elexenbach a Teichbach. Dalším větším přítokem je Romaubach (Romavský potok), jehož průběh je téměř rovnoběžný s tokem Skřemelice. Oba toky se setkávají pod městem Heidenreichstein. Tento i všechny ostatní větší přítoky jsou levostranné a povodí Skřemelice je tak výrazně asymetrické. Charakter toku a jeho inundace v dolní části povodí je zachycen na následujícím obrázku č. 13.

**Obrázek č. 13 :** Skřemelice pod obcí Langgeg



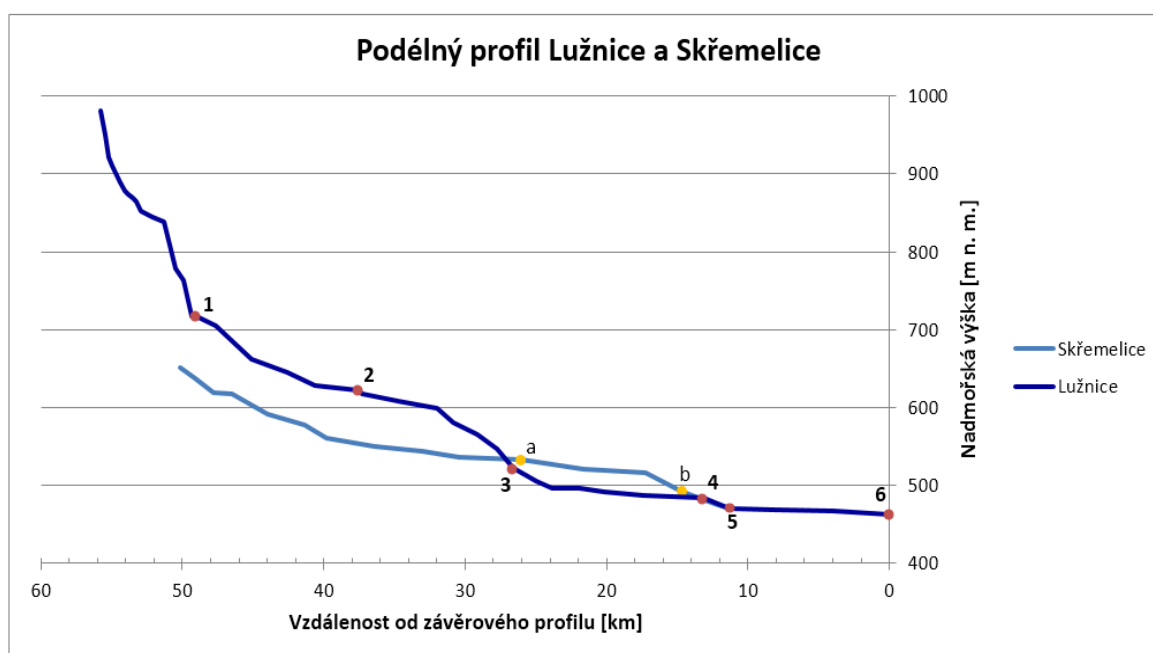
*Zdroj: fotoarchiv autora (2013)*

Většina toku Skřemelice je situována v granitech moldanubika, v menší míře je v povodí zastoupen fylit, který je též součástí moldanubika. Toto podloží se nachází v pramenné oblasti levostranného přítoku Schwarzabach. Jiné geologické podmínky panují ještě v těsném okolí Skřemelice a Romavského potoka a to pod obcemi Altmanns a Heidenreichstein a zasahují cca 4 km pod soutok obou toků. Okolí toků je v této oblasti vyplněno terciárními sedimenty tvořené štěrkopíský. Geologická struktura podloží spolu se sklonitostí terénu se odráží i na materiálu, kterým je tvořené dno toků. V povodí Skřemelice je dnová výplň nejčastěji kamenitá a v oblastech s malým spádem písčité.

Převážná část plochy povodí Skřemelice má pahorkatinný charakter s průměrnou nadmořskou výškou 577 m, což je o více než 100 m nižší nadmořská výška povodí Lužnice po závěrový profil Ehrendorf (srovnání výškových poměrů a dalších charakteristik je uvedeno v tabulce č. 1). Krajina v povodí Skřemelice je mírně zvlněná s menší členitostí terénu ve srovnání s povodím Lužnice po profil Ehrendorf. Celkový sklon terénu je menší než v povodí Lužnice, jak napovídá i graf č. 1 zachycující podélné profily obou toků.

Oproti Lužnici je tok Skřemelice více ovlivněn vodohospodářskou činností. Přímo na Skřemelici se vyskytuje řada rybníků a nádrží, z nichž některé jsou využívány jako vzdutí pro MVE. Více rybníků se vyskytuje nejen na toku samotném, ale také v povodí Skřemelice a to zejména na jejím přítoku Schwarzabach a Teichbach a také se v povodí nachází několik rašelinišť. Koryto potoka častěji jeví známky zahloubení a napřímení a také jsou na Skřemelici rozsáhlejší místa s výraznou úpravou koryta, jako např. betonové břehy v intravilánu. Okolí toku je často zalesněné, ale v místech se zemědělskou činností jsou tyto plochy využívány intenzivněji než v okolí Lužnice. Niva je ve velké části toku využívána jako sečená louka nebo pastvina. V nivě pod obcí Altmanns se nachází řada studní pro získávání pitné vody stejně jako v nivě Lužnice. Tyto studny se nacházejí v terciárních sedimentech zmíněných výše. V korytě je možno nejčastěji vidět klouzavé proudění a dnová výplň bývá kamenitá, v klidných úsecích s malým spádem většinou písčité.

**Graf č. 1:** Podélný profil studovaných toků



1) Soutok s Popelnicí

a) Soutok s Romaubach

2) Oberlainsitz

b) Hoheneich

3) Weitra

4) Ehrendorf

6) Soutok Lužnice a Skřemelice

6) Nová Ves n. Luž.

## 2.2 Klimatická charakteristika oblasti

Odtokové procesy jsou jednou ze součástí oběhu vody a v podstatě jsou pouze odpovědí na předchozí meteorologické události. Vedle mnoha dalších faktorů ovlivňujících odtokové procesy je klima hlavním řídicím prvkem, který udává, jaké množství vody se bude odtoku v dané oblasti účastnit. Proto je nutné mít určitou představu o charakteru klimatu ve studované oblasti, abychom dokázali odhadnout, jaký odtokový režim na tocích se dá očekávat. V kapitole jsou představeny základní klimatické údaje o průměrných ročních srážkách a teplotách ve sledované oblasti. Data pocházejí z několika meteorologických stanic na území Rakouska. Lokaci jednotlivých meteorologických stanic ukazuje mapa č. 3.

Oblast sledovaného povodí zasahuje podle Quittovy klimatické klasifikace do mírně teplé a do chladné klimatické oblasti. Nejvyšší část povodí v Novohradských horách patří do chladné klimatické oblasti CH7, kde se průměrná roční teplota pohybuje okolo 5°C. Průměrná roční teplota na

stanici Pohoří na Šumavě<sup>12</sup> je 4,8 °C (Dudák 2006) a na nedaleké stanici Karlstift 5,3°C<sup>13</sup> (Das Land Niederösterreich 2014). Roční úhrn srážek se pohybuje okolo hodnoty 1000 mm, přesněji na stanici Pohoří na Šumavě je roční průměrný úhrn 1045 mm a na stanici Karlstift 961 mm.

Se snižující se nadmořskou výškou se mění i klimatické oblasti v povodí na mírně teplé - MT3 a MT4, do kterých spadá většina zájmové oblasti. V těchto klimatických oblastech se zvyšuje průměrná teplota a snižuje se množství srážek ve srovnání s vyšší částí povodí. Srážkoměrná stanice Weikertschlag nacházející se v nadmořské výšce 780 m vykazuje průměrné roční srážky mezi lety 1981 - 2011 785 mm (eHYD 2014). Ještě níže v povodí se nachází stanice v Gmündu. Podle údajů z této meteorologické stanice je průměrná teplota 8°C a průměrný roční úhrn srážek 661<sup>14</sup> mm (Das Land Niederösterreich 2014). Tato stanice se nachází již v mírně teplé oblasti MT4 v nadmořské výšce 500 m n. m. (IWHW 2014). Průměrné roční srážky v povodí Skřemelice dosahují hodnot 690 mm (stanice Altmanns) a 579 mm na stanici Reinberg-Dobersberg (eHYD 2014). Stanice Altmanns se nachází v nadmořské výšce 589 m a stanice Reinberg-Dobersberg ve výšce 606 m n. m. Data pocházejí z let 1976 - 2011 pro stanici Altmanns a z let 1975 - 2011 pro stanici Reinberg-Dobersberg. Celkový průměrný úhrn srážek nad povodím Skřemelice po profil Hoheneich je 676 mm. Data o naměřených teplotách v oblasti povodí Skřemelice nejsou z žádné meteorologické stanice dostupná. Celkové rozložení srážek na celém povodí je zobrazeno na mapě č. 3.

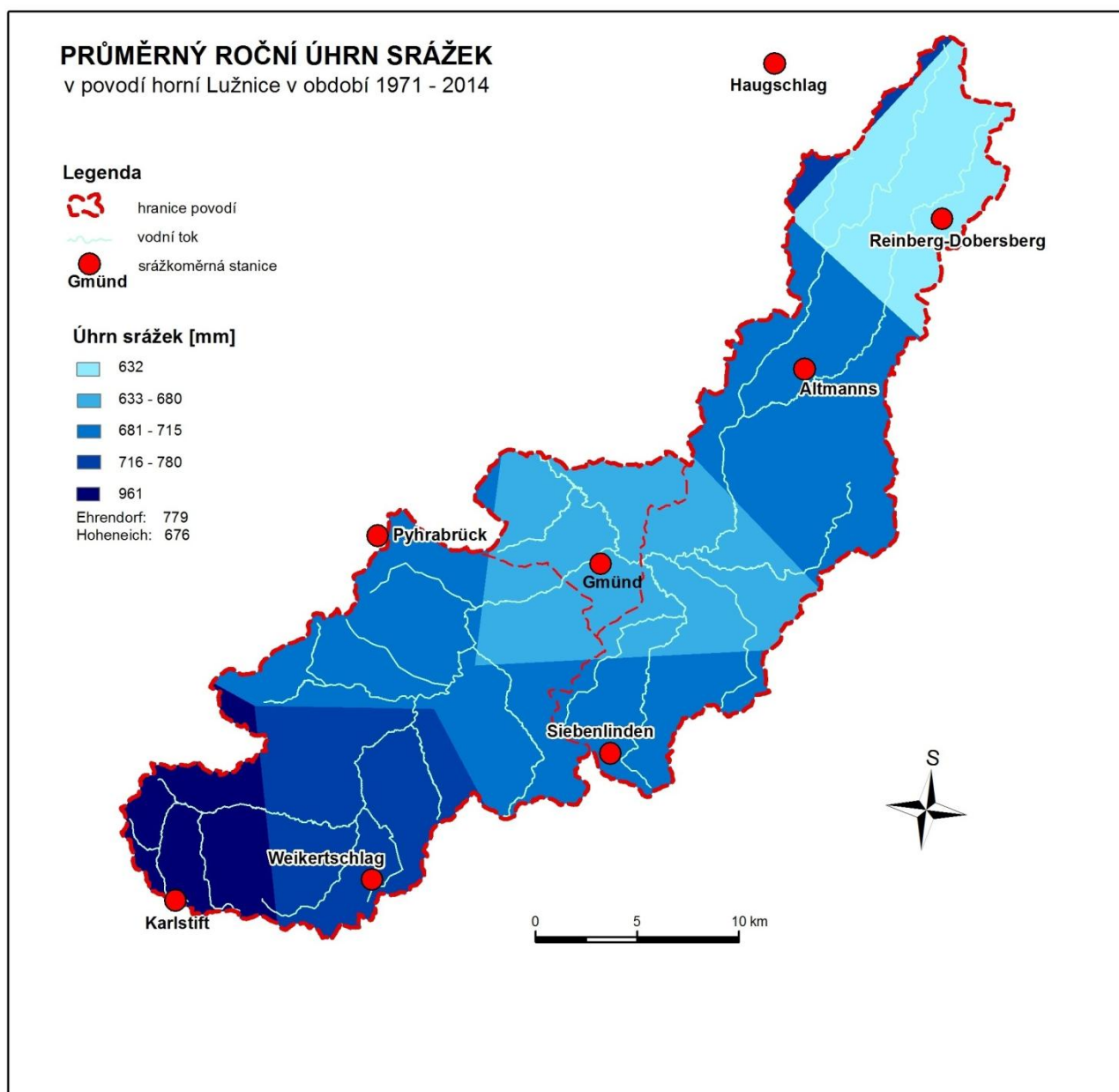
---

<sup>12</sup> Meteorologická stanice spadá již do povodí Pohořského potoka, resp. Malše, ale nachází se od rozvodí s Lužnicí ve vzdálenosti v řádu desítek metrů. Data o teplotách a srážkách na stanici Pohoří na Šumavě jsou naměřena v období mezi roky 1951 - 2000. Stanice se nachází v nadmořské výšce 934 m nad mořem.

<sup>13</sup> Stanice Karlstift se nachází na rakouské straně Novohradských hor v pramenné oblasti Lužnice ve výšce 917 m nad mořem (IWHW 2014). Data o průměrných srážkách pochází z let 1971 - 2010 a data o teplotách z let 1993 - 2010.

<sup>14</sup> Údaje o průměrné roční teplotě pocházejí z let 1990 - 2010 a údaje o průměrných ročních srážkách z let 1971 - 2010.

Mapa č. 3: Roční srážkové úhrny v zájmovém území

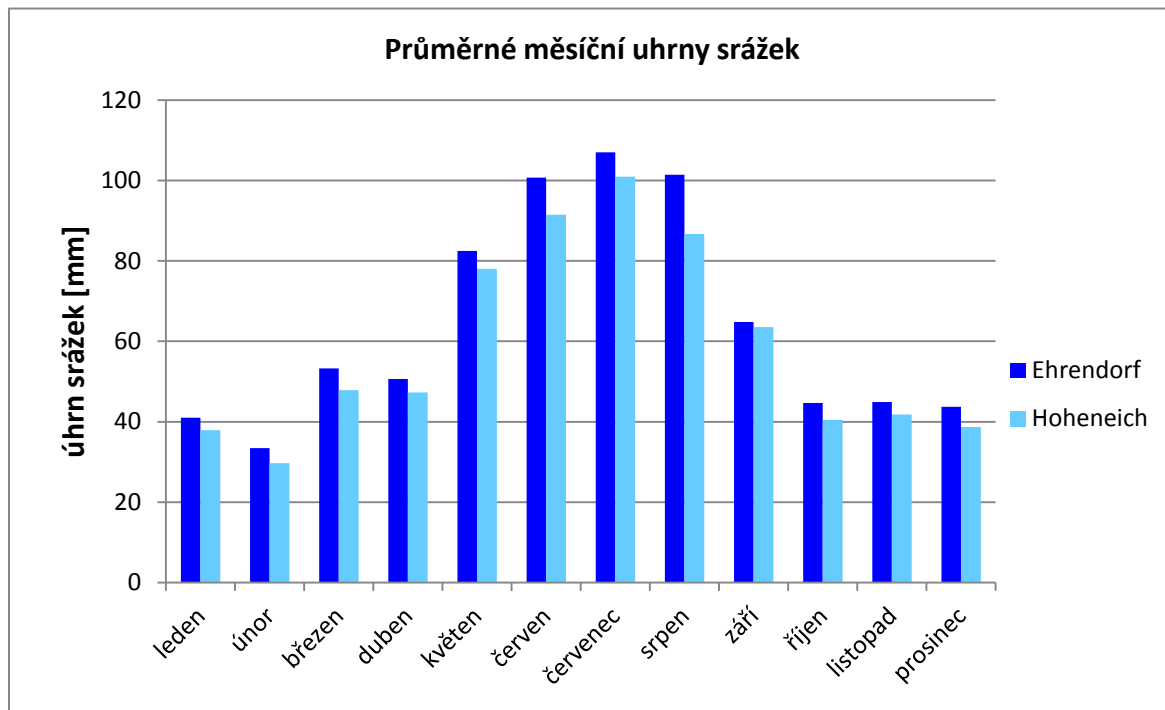


Zdroj dat: databáze DIBAVOD, OpenStreetMap, e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

Průměrné rozložení srážek v průběhu roku zobrazuje graf č. 2. V grafu jsou vyneseny průměrné měsíční úhrny zvláště pro povodí Skřemelice a Lužnice po jejich závěrové profily Hoheneich a Ehrendorf. Z grafu vyplývá, že průběh srážek v průběhu roku je u obou povodí stejný s letním maximem v červenci, během kterého vypadá nad povodími průměrně 101 (Skřemelice) a 107 (Lužnice) mm srážek. Minimum srážek připadá na únor s hodnotami okolo 30 mm za měsíc na obou

tocích. Měsíční srážkové úhrny nad povodím Skřemelice jsou vždy menší než množství srážek spadlých v povodí Lužnice po profil Ehrendorf.

**Graf č. 2:** Průměrné měsíční srážkové úhrny pro povodí Lužnice a Skřemelice po závěrové profily Ehrendorf a Hoheneich



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

V oblasti převažuje západní proudění, které přináší do oblasti dešťové i sněhové srážky. V teplejší části roku se více prosazuje severní a severozápadní proudění<sup>15</sup>, které přináší srážky, jež bývají umocňovány návětrným efektem svahů Novohradských hor (Dudák 2006). Zdrojem srážek jsou převážně frontální systémy. V horní části povodí působí částečný srážkový stín Šumavy, který způsobuje nižší úhrn srážek a tím i menší zásoby sněhu. Z těchto důvodů je také odtok z Novohradských hor nižší než např. na Šumavě, Jizerských či Krušných horách. Průměrná rychlost větru během roku se pohybuje v celé oblasti mezi 3,5 - 5,5 m.s<sup>-1</sup>. Velmi malé plochy na vrcholcích hor v povodí vykazují průměrnou rychlost větru 5,5 - 6,5 m.s<sup>-1</sup>. Naopak nižší průměrné rychlosti (méně než 3,5 m.s<sup>-1</sup>) vykazují úzká údolí (AuWiPot 2014). Tyto a plochy vrcholků hor jsou v rámci celého povodí zanedbatelné.

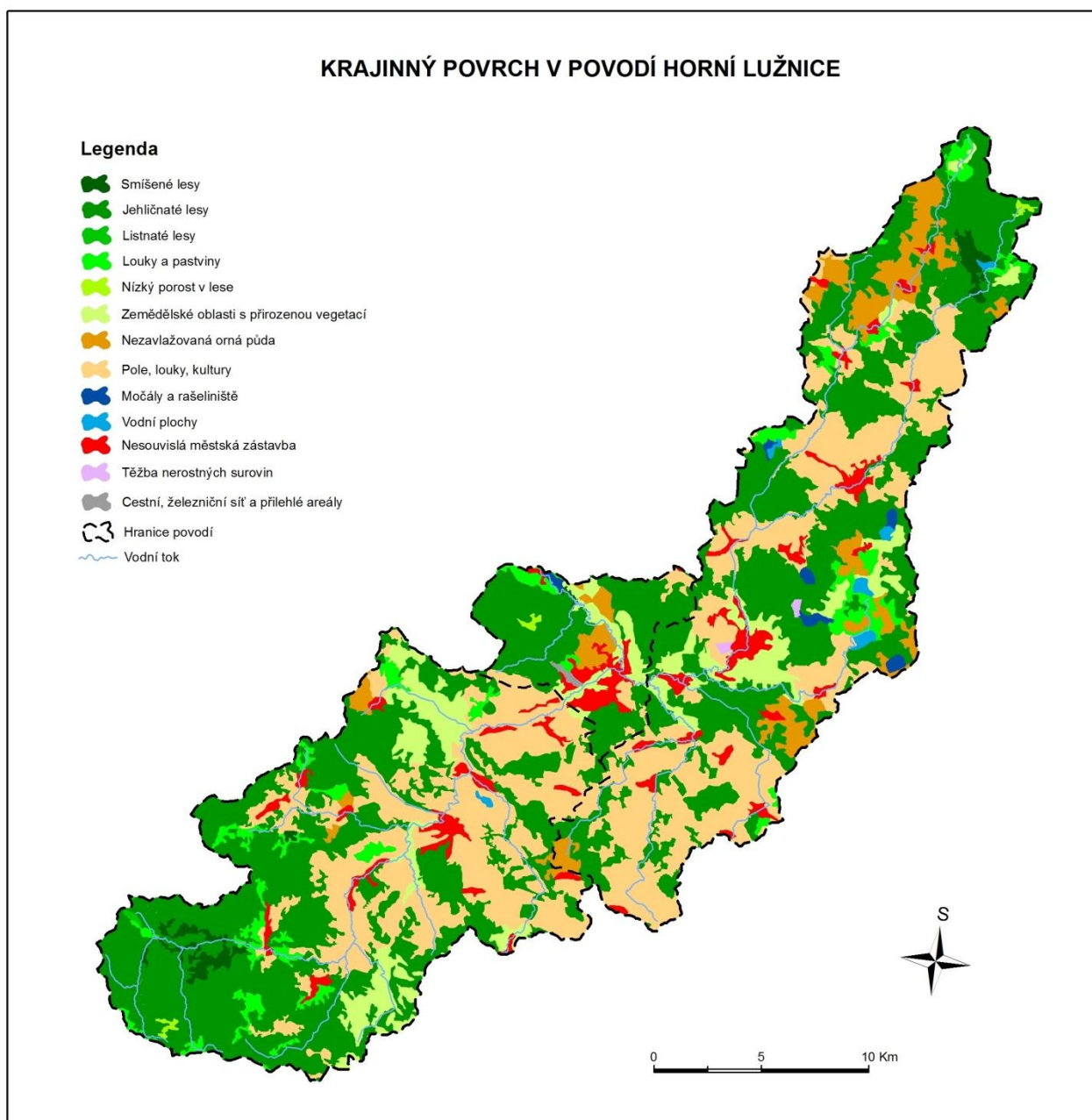
<sup>15</sup> Platí zejména pro nejvyšší oblast povodí v Novohradských horách.

### 2.3 Využití krajiny

Krajinný pokryv patří mezi důležité faktory ovlivňující zejména rychlost odtoku z povodí. Platí, že člověkem vytvořené zpevněné plochy jako asfalt, beton nebo spíše zastavěné plochy obecně nijak vodu ze srážek nezdrží a tato se ihned účastní povrchového odtoku. V přírodě či přírodě blízkých lokalitách jsou podmínky pro oddálení okamžiku vzniku povrchového odtoku příznivější. Velmi však záleží na míře zhutnění zemského povrchu a na jeho využití. Zemědělsky využívané plochy mají menší schopnost převádět vodu ze srážek do půdního profilu a zdržet tak povrchový odtok než např. lesní porosty. Tato schopnost závisí na pěstovaných plodinách, skladbě lesa, fázi vegetačního období a také např. na stáří jednotlivých rostlin v lese. Míra vlivu krajinného pokryvu klesá s extremitou srážky (Dostál 2015, Váňová 2008). Vliv krajinného pokryvu se snižuje přibližně od 20-leté srážkové události (Dostál 2015).

V povodí horní Lužnice byl krajinný povrch vyhodnocen z dat CORINE Land Cover 2006. Pokryv hodnocených povodí je zachycen na mapě č. 4 a podíl jednotlivých typů krajiny na grafech č. 3 a 4. Povodí Skřemelice má větší podíl zemědělsky využívaných ploch a zastavěných ploch na úkor lesních porostů. Povodí Lužnice tak má z hlediska krajinného pokryvu lepší podmínky pro zpomalení povrchového odtoku. Pro povodí však nebyly stanoveny hodnoty CN křivek, které by zahrnovaly i další faktory, zejména sklonitost povodí, která je naopak větší u Lužnice. Bez stanovení míry vlivu dalších faktorů nelze jednoznačně říci, které povodí má lepší resp. horší podmínky pro zpomalení a povrchového odtoku.

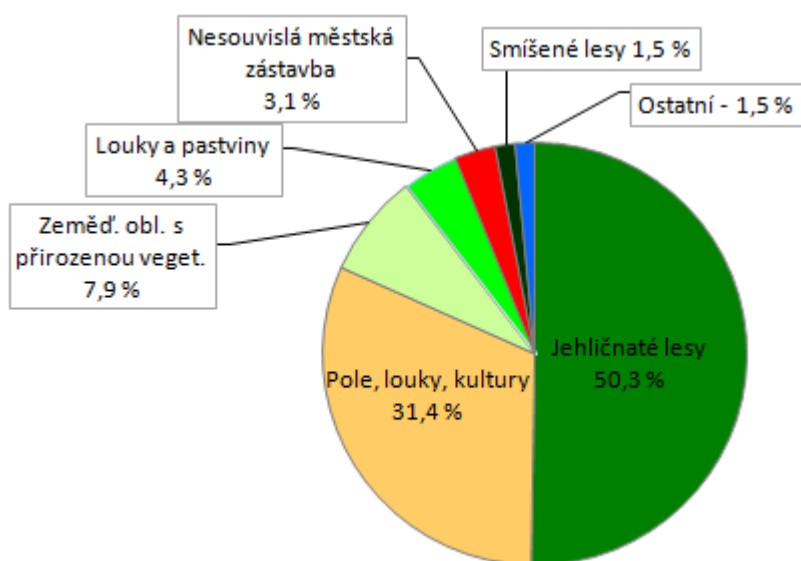
Mapa č. 4: Krajinový povrch v povodí horní Lužnice



Zdroj dat: Umweltbundesamt - CORINE Land Cover 2006, DIBAVOD, OpenStreetMap



**Graf č. 3:** Krajinný povrch v povodí Lužnice

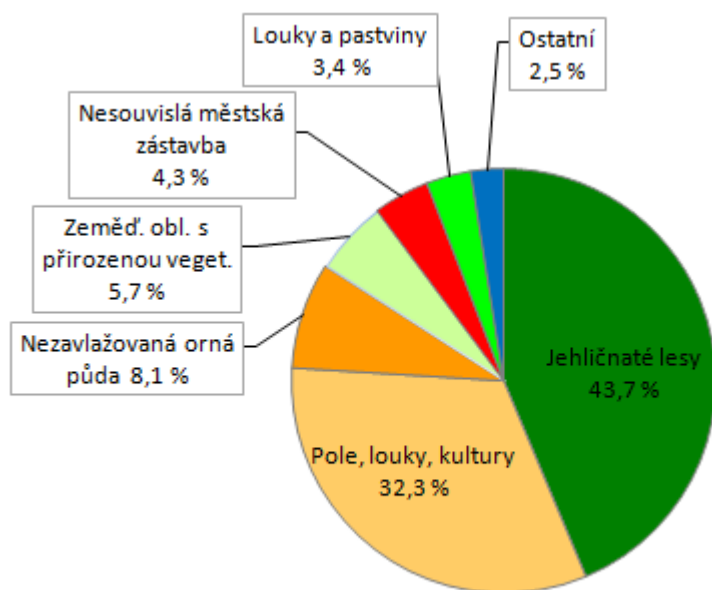


**Ostatní:**

- Nezavlažovaná orná půda - 0,9 %
- Areály sportu - 0,2 %
- Nízký porost v lese - 0,1 %
- Listnaté lesy - 0,1 %
- Vodní plochy - 0,1 %

**Podíl typů krajinného pokryvu po profil Ehrendorf**

**Graf č. 4:** Krajinný povrch v povodí Skřemelice



**Ostatní:**

- Smišené lesy - 0,8 %
- Močály a rašeliniště - 0,8 %
- Vodní plochy - 0,7 %
- Nízký porost v lese - 0,1 %
- Těžba nerostných surovin - 0,1 %

**Podíl typů krajinného pokryvu po profil Hoheneich**

## 2.4 Ochrana přírody

V přírodním prostředí povodí horní Lužnice se na mnoha místech nacházejí jedinečné lokality, které proto jsou pod různou formou ochrany. Chráněné lokality jsou lokálního až nadregionálního významu a často se navzájem překrývají. Přibližně 75 % povodí (výpočet v prostředí ESRI ArcMap) Lužnice nad soutokem se Skřemelicí je součástí ptačí oblasti soustavy Natura 2000. V povodí Skřemelice se ptačí oblasti vyskytují pouze v podobě malých ostrovů o velikosti do 100 ha, které se

kryjí s lesními celky a vodními plochami. Přibližně 2 km jižně od údolí Joachimstal se nachází 750 ha velký přírodní park Nordwald, který svými hlubokými jehličnatými lesy a rašeliništi a žulovými bloky připomíná přírodní prostředí Skandinávie (Waldviertel 2014).

Z hydrologického hlediska je zajímavější 119 ha velký přírodní park Schremser Hochmoor, který se nachází v povodí Skřemelice, východně od města Schrems. Jedná se o významnou rašeliništní oblast, jejíž celková plocha je přibližně 300 ha a tvoří tak největší močál v Dolním Rakousku. Přírodní park je vymezen z důvodu ochrany řady vzácných rostlin a živočichů, pro které je Schremser Hochmoor vhodným habitatem. Oblast je odvodňována do Skřemelice menším potokem Teichbach a větším potokem Schwarzabach, který se do Skřemelice vlévá jako levostranný přítok u obce Kleedorf. Tento byl na svém dolním toku těsně před soutokem v minulosti využíván jako zdroj energie pro pilu a později textilní továrnu Anderlfabrik. V oblasti Schremser Hochmoor byla dříve těžena rašelina, která se krom jiného využívala i jako palivo ve sklárnách nacházejících se ve Waldviertelu. Mezi další chráněné oblasti patří rašeliniště Rottalmoos a několik rybníků, z nichž největší jsou Bruneiteich a Gebharsteich, jenž je se svou plochou 65 ha největším rybníkem ve Waldviertlu (Lebensministerium 2014). Od Gmündu až po hranice s Českem se nachází rezervace Lainsitzniederung, v níž je předmětem ochrany meandrující Lužnice a její přirozeně se vyvíjející niva. Na tuto rezervaci na našem území plynule navazuje PR Krabonošská niva.

O jedinečnosti celé oblasti povodí horní Lužnice vypovídá i přes 130 km<sup>2</sup> velká oblast patřící k mokřadům mezinárodního významu chráněného Ramsarskou úmlouvou<sup>16</sup> (viz mapa č. 5). Rybníční, bažinatá a říční krajina Waldviertelu, jak zní název oblasti chráněné Ramsarskou úmlouvou<sup>17</sup>, představuje hodnotnou krajinu se značnou schopností retence vody, zmírňování průběhu povodní a se zásobami podzemních vod (Ministerium für ein Lebenswertes Österreich 2014<sup>18</sup>). Vyhlášena byla roku 1999 a navazuje na oblast třeboňských rybníků a rašelinišť, též chráněných Ramsarskou úmlouvou. Nejvyšší část povodí Lužnice v Novohradských horách je také součástí chráněné oblasti přirozené akumulace vod - CHOPAV Novohradské hory, která plynule navazuje na oblast chráněnou Ramsarskou úmlouvou na rakouské straně. Stejně tak na ramsarské oblasti navazuje CHOPAV v dolní části zájmového povodí.

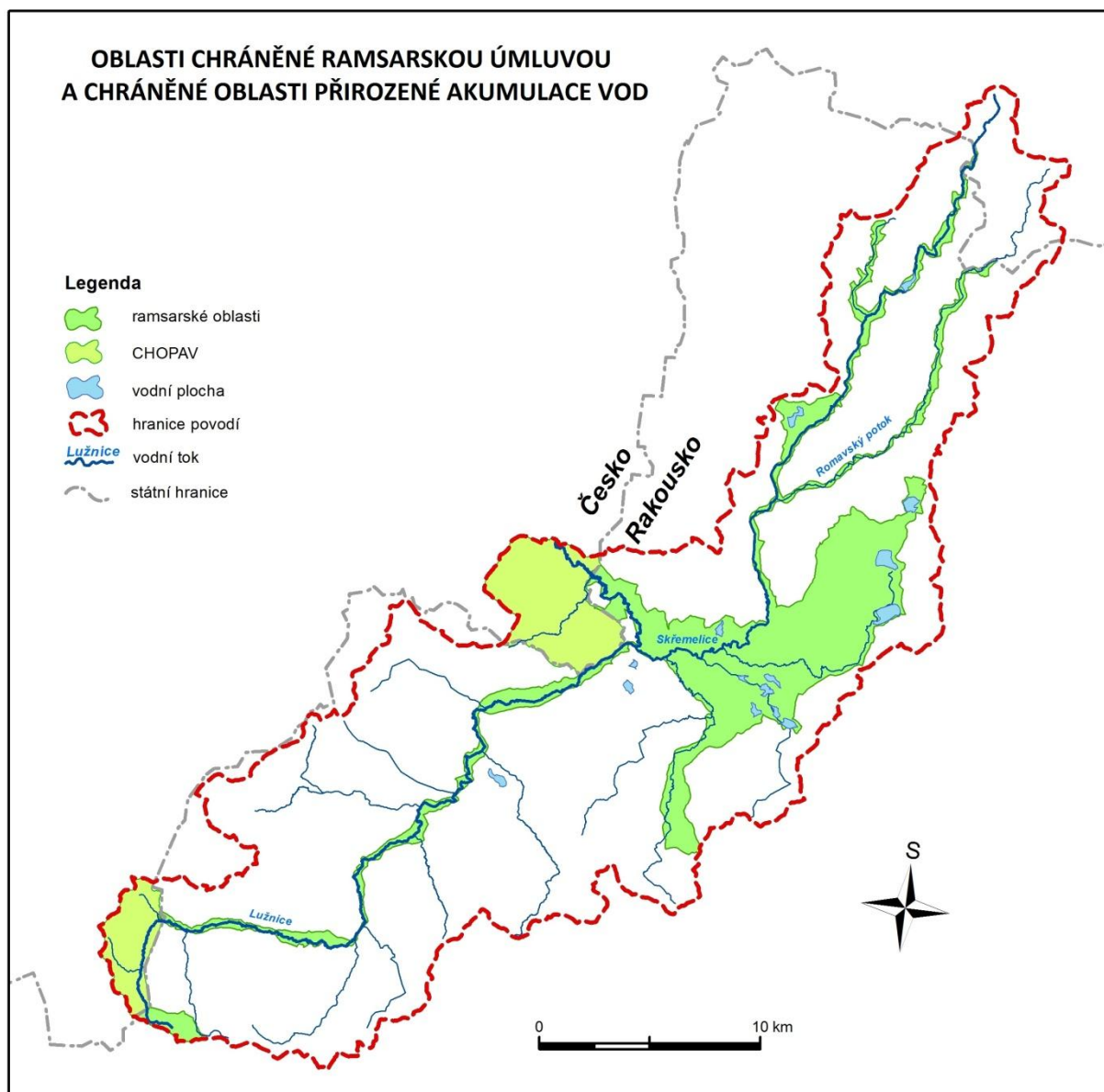
---

<sup>16</sup> Přibližně 12 km<sup>2</sup> z celkových 130 tvoří okolí řeky Dračice (v Rakousku pod názvem Reißbach), která je ale již mimo zájmové území.

<sup>17</sup> V originále Waldviertler Teich-, Moor- und Flusslandschaft.

<sup>18</sup> V průběhu vzniku této práce se název rakouského ministerstva životního prostředí (Lebensministerium) pravděpodobně kvůli sloučení různých oblastí působnosti změnil na Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Spolkové ministerstvo zemědělství, lesnictví, životního prostředí a vodního hospodářství), zkráceně též název Ministerium für ein Lebenswertes Österreich (volně přeloženo jako rakouské ministerstvo pro životně významné záležitosti). V této práci je tedy zdroj uveden vždy takový, který odpovídá názvu, jež instituce používala v době, kdy byla tato informace získána, přestože se jedná v podstatě o tutéž instituci.

**Mapa č. 5:** Oblasti chráněné Ramsarskou úmluvou a oblasti součástí CHOPAV



Zdroj dat: DIBAVOD, OpenStreetMap, ArcCR, Ramsar

## 2.5 Hodnocené profily

Data použitá při zpracování této práce pochází z celkem pěti měrných profilů v povodí Lužnice, z nichž tři jsou přímo na Lužnici a jeden na Skřemelici. Lokalizace jednotlivých profilů zobrazuje mapa č. 1 na str. 13. Odtokové a povodňové režimy byly hodnoceny ze závěrových profilů Ehrendorf na Lužnici a Hoheneich na Skřemelici. Profily Oberlainsitz, Altmanns a Nová Ves n. Luž. Byly využity pouze při vyhodnocení povodně v červnu 2013. Základní hydrologické charakteristiky pro závěrové profily Lužnice a Skřemelice před jejich soutokem jsou shrnuty v následující tabulce č. 1, ve které lze oba profily vzájemně snadno porovnat.

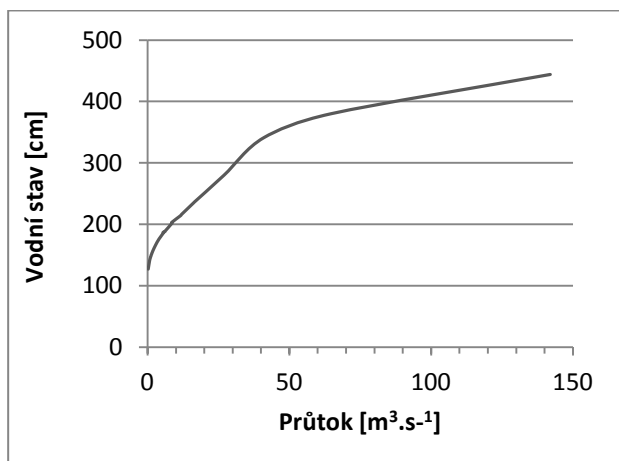
**Tab. č. 1:** Údaje o závěrových profilech Ehrendorf a Hoheneich

	<b>Lužnice - Ehrendorf</b>	<b>Skřemelice - Hoheneich</b>
Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	267,6	291,5
procento plochy povodí před soutokem [%]	97,2	97,5
Délka toku [km]	41,1	41,4
Stupeň vývoje toku	0,59	0,71
Délka rozvodnice [km]	94,5	119
Gravellieho koeficient	1,6	2,0
Levá polovina povodí [km <sup>2</sup> ]	123	235
Koeficient souměrnosti povodí $K_{SP}$	0,081	0,612
Charakteristika povodí $\alpha$	$\alpha = 0,41$ - vějířovité	$\alpha = 0,32$ - vějířovité
Průměrná nadmořská výška povodí [m n. m.]	694	577
Maximální nadmořská výška povodí [m n. m.]	1058	721
Minimální nadmořská výška povodí [m n. m.]	474	474
Převýšení povodí [m]	584	247
Sklonitost povodí [%]	0,091	0,0442
Spád toku [‰]	11,5	4,5
Dlouhodobý průměrný roční průtok $Q_a$ [m <sup>3</sup> *s <sup>-1</sup> ]	2,36	2,23
Specifický odtok [l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]	8,8	7,7
Průměrné roční srážky na povodí [mm]	751	683
Odtoková výška [mm]	278	241
Odtokový součinitel C [%]	0,37	0,35

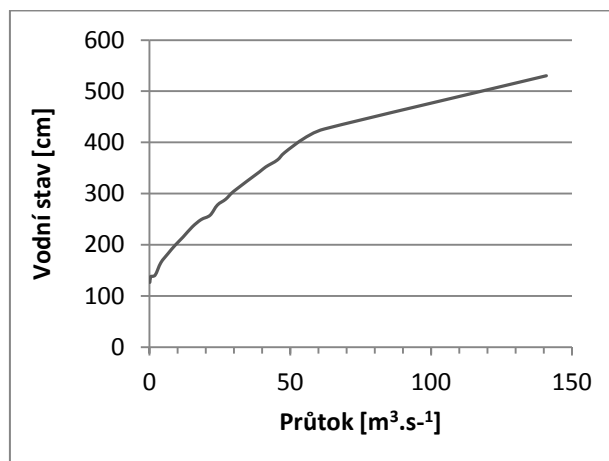
Zdroj dat: e-HYD.at, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, Hydrate project, vlastní výpočty

Konsumpční křivka popisuje závislost průtoku na vodním stavu a patří mezi základní prvky charakterizující odtok v určitém místě. Následující konsumpční křivky pro profily Ehrendorf a Hoheneich na grafech č. 5 a 6, byly sestrojeny ze skutečných dat naměřených na jmenovaných stanicích. Hodnoty N-letých průtoků pro profily jsou uvedeny v tabulce č. 2.

**Graf č. 5:** Konsumpční křivka Lužnice na profilu Ehrendorf



**Graf č. 6:** Konsumpční křivka Skřemelice na profilu Hoheneich



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

**Tab. č. 2:** N-leté průtoky na profilech Ehrendorf a Skřemelice

N-letost	Q1	Q2	Q5	Q10	Q30	Q100
Ehrendorf	17	22	35	50	75	110
Hoheneich	20	27	35	46	65	90

### 3. Extremita

#### 3.1 Pojem extremita

Extrem, česky též krajnost, pochází z latinského extremus (krajní, nejzazší), což je třetím stupněm od příslovce exter/extra, které znamená mimo, zvlášť nebo též vnější (Rejzek 2012). Obecně lze extremitu považovat za nějaký krajní, mezní stav nebo hodnotu, které nebývá dosaženo příliš často, a proto se výrazně odlišuje od stavu běžného, průměrného. Tato hodnota popisující nějaký stav může být oproti normálu buď výrazně nižší, nebo výrazně vyšší. Problém u extremity nastává tehdy, má-li se přesně vymezit a stanovit hranice mezi normálem a extrémem. Při rozhodování mezi tím, co je ještě například pouze zvýšená hodnota a co už je hodnota extrémní, lze využít např. teorii fuzzy množin, jejichž hranice nejsou ostré, ale přechodné.

Příroda v případě procesů v ní probíhajících však pojem extremita nezná, přestože některé jevy mohou mít řadu dopadů i na přírodní prostředí. V přírodě je veškerý i velmi málo častý ať již nezvykle silný či slabý proces přirozenou součástí přírodního prostředí a jeho dynamiky. O extremitě se tedy mluví až v případě, kdy dochází k interakci přírodního procesu s kulturní krajinou. Tato interakce zpravidla způsobuje poškození či znemožnění lidské činnosti a jejích výsledků a také mívá

dopad na zdraví obyvatel (Brázdil 2002). Z pohledu jednoho člověka existuje jen malá pravděpodobnost, že se v průběhu svého života stane svědkem více velmi extrémních událostí. Pokud by tomu tak bylo po delší dobu, daný jev by se z extrémního pomalu stával normálním, běžně se vyskytujícím. Proto také míra extremity nějakého přírodního procesu bývá vyjádřena pravděpodobností výskytu takového jevu.

V hydrologii se s pojmem extremita setkáváme v případě, že kterákoliv složka oběhu vody<sup>19</sup> vykazuje neobvyklé mezní hodnoty. V této práci se autor věnuje extremitě odtoku, který tedy může být buď abnormálně malý, nebo nezvykle velký. Tyto extremity se na tocích projevují velmi velkým průtokem - povodní, nebo velmi malým průtokem - suchem. Jak již bylo řečeno, v přírodním prostředí jsou veškeré extrémy i se svými účinky přirozenou součástí vývoje ekosystému. V kulturní krajině se svou složitou infrastrukturou způsobují extrémní hydrologické procesy velké majetkové škody a ztráty na životech (Brázdil 2002). Případy meteorologických a následně hydrologických extrémů jsou ze statistického hlediska takové, jejichž pravděpodobnost výskytu je dostatečně malá (Brázdil 2002). Podrobnější popis extrémních odtokových jevů je představen v následujících kapitolách.

### **3.2 Extremita odtoku**

Odtok je přenos veškeré vody, která dopadne na povodí, do závěrového profilu této plochy. Odtok, jeho tvorba a průběh je velmi složitým a komplexním procesem, který je jednou ze složek tvořících oběh vody. Prvním nezbytným prvkem pro iniciaci odtoku je vypadávání srážek, které přinášejí vodu, jež se později účastní odtoku. Následný odtok tvoří několik různých součástí, které dohromady dávají tzv. celkový odtok, tedy objem veškeré vody, která za určitý čas odeče z povodí. Základní členění odtoku jej rozděluje na povrchový a podpovrchový, ale ještě se dělí dále a podrobněji. Autor vychází z toho, že čtenář základní informace o rozdělení odtoku má, a proto jej zde nebude dále popisovat, jelikož toto není cílem práce. Podrobněji o odtoku viz např. J. A. A. Jones - Global hydrology (1997). V práci se autor zabývá extrémními hodnotami odtoku, které budou představeny v následujících kapitolách.

## **4. Povodeň**

### **4.1 Vymezení pojmu povodeň**

Povodeň je vždy spojena s neobvykle vysokými průtoky a se zaplavením oblastí, které za běžného stavu nejsou součástí vodního prostředí. Přesto tento zdánlivě jasný jev nemá jednoznačnou definici. Důvodem tohoto stavu by mohla být existence mnoha typů povodní a hledisek, kterými se dá na povodeň nahlížet. Jedna definice za povodeň označuje situaci, při níž množství vody překročí

---

<sup>19</sup> Výpar, srážky, transport vody atmosférou, povrchový odtok, intercepce a další.



z různých příčin průtočnou kapacitu koryta toku. Jinou definicí je například „Náhlé zvětšení průtoku v důsledku srážkové činnosti, ale také zmenšením průtočnosti koryta např. ledovou zácpou či bariérou ze splavených překážek“ (Langhammer 2009). Pojem povodeň je zanesen i v Zákoně č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon 2001). V zákoně je stanovena i řada dalších pojmů související s povodněmi, preventivními protipovodňovými opatřeními nebo řízení akcí v průběhu probíhající povodně. Povodeň je v zákoně definována jako „přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředném odtoku srážkových vod“. Pro podrobnější definování povodně zákonem vizte Zákon č. 254/2001 o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon 2001) § 64.

Vedle pojmu povodeň se také občas používá termín záplava a většinou jsou tyto pojmy považovány za synonyma. V zásadě se běžně oba výrazy používají jako synonymum správně a rozlišují se v podstatě pouze v pojišťovnictví. V tomto oboru je za povodeň považováno zaplavení území vodou z toků nebo nádrží a to i následkem jejich protržení. Záplavou pak je voda, která působí škody, avšak pochází například z prudkých srážek, tání sněhu nebo vodovodních zařízení, na kterých došlo k nějaké poruše či poškození. Důvodem odlišení těchto pojmů jsou rozdílné typy pojištění a tím i případných náhrad (Triglav pojišťovna 2014).

## 4.2 Hodnocení povodně

Aby bylo možné jednotlivé povodně nějakým způsobem kvantifikovat, používají se různé charakteristiky, kterými povodeň hodnotíme. Mezi základní vlastnosti, kterými hodnotíme intenzitu povodně, patří v první řadě maximální dosažený průtok. Samotný maximální dosažený průtok však ještě nevyovídá o extemitě povodně. Poměr mezi běžným a mimořádným průtokem je u jednotlivých toků velmi rozdílný a závisí na meteorologickém režimu a na charakteristice povodí. Na jednom toku tak může např. třicetinasobný průtok oproti normálu znamenat již velmi velkou povodeň a na jiném poměrně nevýznamný výkyv. Proto je u maximálního dosaženého průtoku potřeba stanovit jeho pravděpodobnost výskytu jinak též pravděpodobnost návratu (angl. return period), která je vyjádřena tzv. N-letostí povodně.

Pravděpodobnost výskytu povodně určité intenzity vyjadřuje tzv. N-letý průtok neboli N-letá povodeň. Tato hodnota udává průtok, který se v dlouhodobém průměru na daném místě vyskytne nebo je překročen jednou za N let. Stanovení N-letosti průtoku vychází z křivky překročení, která nám na základě dostatečně dlouhé časové řady zobrazuje, s jakou pravděpodobností bude překročen určitý průtok. Není-li k dispozici dostatek měření, tak je empirická křivka překročení nahrazována

teoretickou, která hodnoty stanovuje pomocí aproximace (Jeníček 2011). N-letý průtok s konkrétní hodnotou v konkrétním místě je i jednou z možností jak kvantifikovat povodeň. Platí, že čím větší perioda opakování, tím větší průtok nastává.

Pravděpodobnost výskytu extrémně velkého průtoku v podstatě koreluje s pravděpodobností výskytu extrémního srážkového úhrnu nad daným územím (neuvažujeme-li tzv. zvláštní povodně - viz kap. 4.4.1.5). Povodeň však není jen funkcí N-leté srážky, jejíž příchod tak nemusí nutně znamenat nástup povodně. Pravděpodobnost výskytu extrémního průtoku je tedy po vypadání extrémních srážkových úhrnů, které patří mezi příčinné faktory, dále snižována nebo zvyšována na základě podmínek, které panují v povodí. Tyto podmínky určující extremitu případné povodně nazýváme jako předběžné faktory a patří mezi ně např. nasycenost povodí, promrznutí půdy či výška sněhové pokrývky (Jeníček 2013). Tyto ovlivňující faktory mohou výrazně zvyšovat pravděpodobnost výskytu extrémních průtoků a to i v případě srážek, jejichž úhrn nemusí být nijak zvláště vysoký. Naopak předběžné faktory mohou pravděpodobnost výskytu povodně i snižovat, přestože se vyskytne velký úhrn srážek.

Povodeň lze hodnotit kromě nejvyššího dosaženého průtoku ještě dalšími ukazateli. Mezi ty patří rychlost nástupu povodně, rychlost postupu povodňové vlny a tvar povodňové vlny, hloubka zatopení či doba trvání povodně, jejíž určení může být značně problematické. Dále se povodně hodnotí na základě objemu vody, který během trvání zvýšených průtoků otekl. Extremita povodně lze hodnotit také po jejím proběhnutí na základě vzniklých škod či podle geomorfologických změn v korytě.

### **4.3 Ovlivňující faktory**

Kromě již zmíněných příčinných a předběžných faktorů mají na průběh povodní dopad také tzv. ovlivňující faktory. Ty mají vliv pouze na průběh samotné povodně vyvolané jinými příčinami. Ovlivňující faktory mohou snižovat či naopak zvyšovat rychlost nástupu a průběhu povodně, dobu trvání povodně nebo mohou mít vliv i na velikost kulminačního průtoku. Ovlivňující faktory mohou být ryze přirozeného charakteru, ale do značné míry jsou také ovlivňovány činností člověka. Některé z ovlivňujících faktorů jsou stručně představeny v následujících podkapitolách.

Na faktory ovlivňující povodně lze nahlížet z různého měřítka. V lokálním, kdy na dočasné zvýšení hladiny toku má vliv např. jen poddimenzovaný propustek či násep v nivě a jejichž důsledky se projeví jen v malé oblasti nebo v regionálním, kdy se díváme na povodí jako celek. V této možnosti mají rozhodující vliv zejména landuse a landcover, morfologie oblasti nebo rozsáhlé úpravy toků odvodňující danou oblast.

Jevů v povodích majících vliv na průběh povodní je takové množství, že na výzkum jen některých z nich by vydala samostatná vědecká publikace. To však není cílem této práce, a proto nebude jednotlivým faktorům věnován rozsáhlý prostor. Kapitola je v práci zařazena pouze proto, aby si čtenář udělal představu o možných vlivech těchto jevů s tím, že prezentovány jsou ty faktory, které se vyskytují nebo mohou vyskytovat v zájmové oblasti. Podrobnější informace o této problematice je možné vyhledat např. v publikaci Povodně a změny v krajině - Langhammer 2007.

#### **4.3.1 Tvar říční sítě a sklonitost**

Tvar říční sítě spolu se sklonitostí terénu v povodí patří mezi faktory nejvíce ovlivňující průběh povodní. Sklonitost terénu nám určuje dobu zdržení vody ze srážek na zemském povrchu, než se stane součástí toků. Sklon je zásadní pro rychlost tvorby povrchového odtoku. Území s prudkými svahy poskytují jen malou možnost retence vody a tím také sklonitostní poměry povodní ovlivňují náchylnost toku k výskytu povodní. Velmi malou retenci poskytuje horské prostředí s prudkými svahy bez vegetace a půdního pokryvu. Více vody je zadržováno v plochých oblastech.

Tvar říční sítě spolu se směrem postupu jádra srážek má vliv hlavně na rychlost formování povodňových průtoků. Tvary říční sítě, které mohou značně navýšovat povodňové průtoky, jsou např. paralelní a vějířovitá uspořádání. Paralelní uspořádání sítě má vliv na zvýšení povodňového průtoku v případě, že jádro srážek postupuje ve směru od pramene k ústí. Pro vějířovité uspořádání je charakteristický velmi rychlý nárůst průtoku v závěrovém profilu v případě, že je srážkou zasaženo celé povodí či jeho část s vějířovitou říční sítí. V zájmové oblasti se vyskytují oba tyto druhy uspořádání. Paralelní uspořádání má horní a střední část Skřemelice a vějířovité uspořádání má Skřemelice nad závěrovým profilem Hoheneich. Lužnice nad profilem Ehrendorf je spíše stromovitého uspořádání a celkové povodí Lužnice nad profilem Nová Ves n. Luž. je výrazně vějířovité. Vše viz mapa č. 1. Povodí horní Lužnice.

#### **4.3.2 Morfologie koryta**

Tvar koryta a materiál jakým je tvořen ovlivňuje zejména rychlost proudění vody a tím do určité míry i tvar povodňové vlny, kdy může být nástupní větev buď strmější, nebo naopak při zpomalení proudění méně strmá. Materiál, kterým je tvořeno koryto určuje míru drsnosti a tím rychlost proudění. Tvoří-li výplň koryta kameny a balvany nejrůznějších rozměrů, je tření při proudění velmi vysoké a tím dochází ke zpomalování proudění. Naopak je-li dno i stěny koryta lidskými úpravami vyplněno relativně hladkým materiálem, jakým je například beton či dlažba, dochází vlivem zmenšeného tření k urychlení proudění v korytě. Materiál, kterým je koryto tvořeno má vliv na rychlost proudění, ale ke zmírnění resp. zhoršení průběhu povodně má tato morfologická charakteristika výraznější vliv pouze u povodňových situací s velkou pravděpodobností opakování, tedy např. 1 až 2-letých vod. Důvodem je, že za takovýchto povodňových událostí dochází jen k velmi

malému nebo žádnému vybřežení a rychlost proudění je závislá hlavně na morfologii koryta a ne na morfologii záplavové oblasti v širším okolí toku. Rychlost proudění je ovlivněna křivolakostí toku. Meandrující toky mají oproti tokům přímým či uměle napřímeným pomalejší nástup povodně, protože voda v korytě musí urazit větší vzdálenost a zároveň je bržděna častou změnou směru proudění. I tato charakteristika má výraznější vliv pouze dokud nedojde k zaplavení celé inundace.

#### **4.3.3 Landuse a jeho změny**

Asi nejdůležitější roli při regulaci odtoku hrají v přírodě lesy, které mají schopnost zadržet značné množství vody. Velkoplošné odlesnění vykácením lesa, požárem nebo jako následek silného větru může výrazně zasáhnout do dynamiky odtokového procesu. Na evropském území nepředstavuje velkoplošné odlesnění téměř žádný problém a celková plocha lesů se naopak za posledních několik desetiletí zvýšila (EEA 2014). Případným problémem v Evropě může být spíše holosečné hospodaření, které má dopad na malá lokální povodí. Odlesnění a ztráta vegetace na horních tocích zejména v horských oblastech zvyšuje povrchový odtok. Přítomnost vegetace má vliv hlavně na bleskové povodně menšího plošného rozsahu. U velkých povodní z frontálních dešťů se vliv vegetačního pokryvu na zmírnění velikosti odtoku snižuje, ale přesto je velmi prospěšný zejména pro zmírnění erozních procesů (Estrela 2001). Při vhodném a dostatečně hustém vegetačním pokryvu se tak i při povodňových průtocích dostává do toků méně erodovaného materiálu, který následně zanáší koryta a zaplavené oblasti.

#### **4.3.4 Zhutňování půdního profilu a urbanizace**

Udušávání půdy jinak také pedokompakce snižuje míru její infiltrační a retenční schopnosti a část vody ze srážek, která by se za normálních podmínek účastnila pomalejšího podpovrchového odtoku, se stává součástí rychlejšího přímého odtoku po povrchu. Tím se samozřejmě zvyšuje riziko vzniku povodně. Zhutňování půdního profilu je způsobeno rozšiřováním sídel, dopravních sítí a také zemědělstvím, ve kterém se využívá těžká technika. Současný trend využití půdy v Evropě vede k postupnému růstu plochy sídel a dopravních sítí a k poklesu plochy zemědělsky využívané půdy.

Záplavové oblasti toků jsou často rovinatými a úrodnými plochami, kde se vždy soustředily lidské aktivity. Přestože velké povodně provázejí lidstvo odjakživa, nebyly v minulosti škody způsobené povodněmi tak velké. Důvodem je nárůst počtu obyvatel koncentrovaných v blízkosti řek a také hromadění majetku (Langhammer 2007). Kvůli urbanizaci se v posledních desetiletích v Evropě zvýšila plocha zástavby na úkor zemědělských ploch. Urbanizace má na vodu vesměs negativní dopad a to jak na kvantitu tak i kvalitu.

#### 4.3.5 Dopravní infrastruktura

Rostoucí mobilita obyvatelstva a hustota provozu vede k rozšiřování dopravní infrastruktury. Železniční a silniční koridory jsou často situovány v údolí toků, kde urychlují odtok srážkové vody dešťovou kanalizací a vliv má samozřejmě také nepropustný povrch. Zároveň dopravní infrastruktura v blízkosti toků může při povodních představovat překážku v proudění, je-li vede napříč nivou nebo snižovat plochu rozlivu je-li vedena nivou podélně. Její násep v tomto případě funguje jako protipovodňová hráz, avšak často tam, kde zbytečně brání rozlivu a o to více mohou být postiženy oblasti dále po směru toku.

#### 4.4 Klasifikace povodní

Tato kapitola stručně představuje různé typy povodní a hlediska, podle kterých lze povodně rozlišovat. Některé typy povodní jsou zmíněny jen heslovitě, protože se netýkají tématu práce a jiné povodně, které se reálně mohou ve zkoumané oblasti vyskytnout, jsou popsány o něco podrobněji. Ještě konkrétněji jsou popsány tyto povodně v kapitole Povodně na Lužnici, kde autor popisuje základní mechanismy vzniku povodní na Lužnici. Informace pro kapitolu Klasifikace povodní autor čerpal převážně z přednášky Povodně v krajině vyučované v zimním semestru 2012/2013 na PŘF UK doc. Langhammerem, prof. Janským a kol.

Na povodně se dá nahlížet z různých pohledů a podle nich je také různě klasifikovat. Povodeň lze hodnotit například podle jejích dopadů na kulturní krajinu. Tento pohled se nazývá socioekonomický a rozlišuje povodně na katastrofální povodeň a povodňovou pohromu. Každý z těchto dvou typů povodní je definován mírou a rozsahem povodně a škod, které způsobuje. Povodně se dále dají rozlišovat podle příčin vzniku, doby trvání, období nebo místa výskytu povodně, plochy zasaženého území, přičemž často jsou tyto různé pohledy kombinovány. Jednou z dalších možností je rozdělení povodní podle fyzickogeografického hlediska.

Z fyzickogeografického pohledu rozdělil povodně Alexander (1993) na dvě velké skupiny - základní typy a další typy. Každá z těchto skupin obsahuje další podskupiny. Základní typy povodní se dělí na říční povodně, estuáriové povodně a pobřežní povodně. Říční povodně Alexander rozděluje na povodně ze srážek či tání sněhu a ledu s pomalým nástupem a na rychlejší bleskové povodně způsobené intenzivními přivalovými srážkami. Estuáriové a pobřežní povodně se vyskytují z různých příčin na mořském pobřeží a nebudou v této práci podrobněji charakterizovány. Pro jejich popis vizte např. kapitolu Atmospheric and hydrological hazards na str. 120 v knize Natural disasters (1993) od D. Alexandera. Další typy jsou povodně vzniklé jako následek působení vulkanismu, zemětřesení nebo jako následek nehody na vodních dílech. Jiné rozdělení používá např. Bolt (1975), který dělí povodně na říční způsobené přivalovými dešti, pobřežní povodně, povodně z tajícího sněhu nebo ledu indukované ledovými zátarasy, povodně vzniklé poruchami na vodních dílech a povodně vyvolané

sesuvy, protržením jezer nebo odlomením ledovce. Jak již bylo uvedeno, příčin způsobující povodně může být mnoho a podle nich se také rozlišují typy povodní. Jednou z hlavních příčin jsou dešťové srážky, z nichž se voda do toků dostává přímo dopadem na vodní hladinu, povrchovým odtokem a se zpožděním podpovrchovým odtokem

Spolu s časovým a prostorovým rozložením srážek patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující vznik povodní landcover, míra retence vody v krajině, říční síť v povodí a půda. Po začátku vypadávání srážek vegetace efektivně zachycuje jejich značnou část. Míra intercepce závisí na skladbě, hustotě a stáří porostu, na době a intenzitě trvání srážek a také na tom v které části vegetačního období se porost nachází. Půda absorbuje vodu velmi dobře a ve velkém množství, které může být i více než sto násobné oproti množství vody zadržené intercepací (Estrela 2001). Množství zadržované vody ovlivňuje u půdy řada faktorů, z nichž nejdůležitější jsou porozita půdy a hloubka půdy. Množství vody zadržované půdou je limitováno množstvím vody, které se již v půdě nachází. Během srážek nejprve půda pohlcuje velké množství vody, ale s tím jak je postupně více a více nasycená vodou se její infiltrační schopnost stále snižuje. Pokud srážky pokračují, je překročena infiltrační kapacita půdy a ta již nedokáže pohltit více vody. V tomto okamžiku značná část vody ze srážek odtéká povrchovým odtokem a velmi rychle dochází k nárůstu průtoku vodních toků.

#### **4.4.1 Typy povodní v Česku**

V předchozí kapitole bylo nastíněno několik typů povodní, z nichž některé se vyskytují v přímořských oblastech, a tedy v oblasti povodí Lužnice se nemohou vyskytnout. Tyto a další povodně, které se ve zkoumané oblasti nemohou vyskytovat, jsou v podrobnějším popisu mechanismu jejich vzniku a průběhu vynechány. Typy povodní v Česku představují povodně, které se v různých intervalech zpravidla vyskytují nebo teoreticky mohou vyskytovat na našem území a jeho okolí, tedy i v zájmové oblasti povodí Lužnice.

##### **4.4.1.1 Povodně způsobené táním sněhu<sup>20</sup>**

Povodně tohoto typu vznikají na tocích, v jejichž povodí se nachází sněhová pokrývka dostatečně mocná k tomu, aby množství vody v ní obsažené mohlo způsobit povodeň. Pro vznik povodně není nutná jen přítomnost sněhu v povodí, ale ještě působení několika dalších faktorů. Nejdůležitějším je náhlé zvýšení teploty, která zapříčiní rychlé tání sněhu, přičemž je logické, že čím větší oteplení nastane, tím rychleji dochází k tání a také ke zvyšování průtoků. Dále je velmi důležité množství vody obsažené ve sněhu a také to, jaké teplotní podmínky panovaly před začátkem tání.

---

<sup>20</sup> Tento typ povodní bývá také nazýván jako zimní, jarní či sněhová povodeň. Ať již používáme jakékoli z těchto označení, společným znakem zůstává, že povodeň je způsobena vodou uvolněnou ze sněhové pokrývky jejím roztáním.



Dostatečně dlouhá doba s teplotami pod bodem mrazu způsobuje promrznutí půdy, jejíž infiltrační kapacita a rychlost je v tomto stavu velmi omezená. Sníh se při rychlém oteplení mění na vodu mnohem rychleji než půdní profil stíhá rozmrazat a značná část vody ze sněhu je odváděna pouze povrchovým odtokem. K rychlejšímu tání přispívá kromě zvýšené teploty také přítomnost větru a často vzniku sněhových povodní předchází přítomnost dešťových srážek, které posilují povodňovou aktivitu.

Tento typ povodní se může vyskytovat v průběhu zimního období nebo na jaře. V zimě se objevují tehdy, pokud dojde k oblevě a dochází k tání sněhu v povodí často spojeným s vypadáváním srážek. Na jaře dochází k těmto povodním jako následek jarního tání sněhu. Na výskyt sněhových povodní jsou náchylnější povodí podhorských vodních toků a nížinné úseky větších toků (Langhammer 2012). Sněhové povodně také postihují povodí s malou výškovou členitostí, díky čemuž dochází k tání sněhu najednou ve velké ploše. Toky, na kterých se typ povodní způsobených táním sněhu vyskytuje pravidelně, se označují jako toky s jarním povodňovým režimem.

V povodí Lužnice je významným tokem, na kterém se vyskytují sněhové povodně, řeka Nežárka. Její povodňový režim odpovídá větším zásobám sněhu na Českomoravské vrchovině. Českomoravská vrchovina nemá výraznou výškovou členitost, čímž je umožněno tání na větších plochách zároveň. Na horní Lužnici je většina zásob sněhu situována v pramenné oblasti v Novohradských horách. Tento sníh taje většinou postupněji a také později než v povodí Nežárky a výrazný sněhový povodňový režim se na horním toku Lužnice nevyskytuje (Vlasák 2006).

#### **4.4.1.2 Ledové povodně**

Dalším typem povodní jsou takové, při kterých dochází k vyběžení toku jako následek působení ledu na dynamiku proudění v korytě. V tocích se v závislosti na teplotě, morfologii koryta a případných překážkách proudění mohou vytvářet různé typy ledu. Jak při různém promrznutí a zamrznutí vodní masy vznikají rozdílné typy ledu, liší se také proces vzniku povodně.

Ledové povodně jsou dalším typem povodní vyskytujících se v zimě. Jednou z ledových povodní je taková, která vzniká v době, kdy po období silných mrazů přijde oteplení. Ke zvýšení průtoku v korytě dochází vlivem tání sněhu, který taje rychleji než ledový pokryv v korytě. Důsledkem toho je rozlámání ledového pokryvu na kry, které jsou unášeny vodním proudem. V místech, kde se koryto zužuje nebo se v něm zmenšuje hloubka či je v něm jiná překážka proudění, se pohyb ker zpomaluje nebo se zastaví úplně. V takovém případě se kry v daném místě hromadí a vzniká ledová bariéra (ČHMÚ 2014). Bariéra velmi brzdí nebo téměř znemožňuje proudění vody v korytě a ta se před bariérou vzdouvá a rozlévá se do okolí. Pro vznik takového zaplavení území není nutné, aby průtok v korytě dosahoval povodňových hodnot.

Ledové povodně nevznikají jen nahromaděním uvolněných ker při oteplení, ale také při déle trvajících mrazech. Za těchto podmínek dochází k tvorbě dnového ledu nebo ledové kaše a tvoří se tzv. nápěchy, které brání přirozenému proudění vody. Dnový led vzniká, jak již název napovídá, na dně toků. Postupně se led tvoří na kamenech ve dně z částecek vnitrovodního ledu a roste jeho mocnost. Příhodnější pro tvorbu dnového ledu jsou toky s menší hloubkou a s kamenitým nebo štěrkovým dnem, kde se snadněji uchytává (Matoušek 2000). S rostoucí mocností dnového ledu se postupně snižuje průtočná kapacita koryta a rychlost proudění a dochází k rozlivu vody. Při postupném promrzání vodní masy se rychlost proudění může zpomalit natolik, že dochází i k tvorbě povrchového ledu a průtočný profil se ještě více zmenšuje. Následné tání takto zamrzlého koryta může způsobit zaplavení před ledovou bariérou (vizte předchozí odstavec).

K ucpání koryta ledem dochází i tehdy pokud se za déle trvajících mrazů tvoří ledová kaše. Ta vzniká u toků s větší rychlostí proudění, u kterých se proto nemůže vytvořit ledová pokrývka. V takových tocích vznikají částecy vnitrovodního ledu, který pokud se nezachytí na dně a netvoří dnový led, se hromadí na hladině a shlukuje se s dalšími částčkami. Při dostatečném nahromaděni vzniká ledová kaše. Ta je unášena vodním proudem a podobně jako ledové kry se hromadí v místech, ve kterých klesá unášecí schopnost toku nebo kde je nějaká překážka proudění. Dojde-li k nahromaděni dostatečného množství ledové kaše na hladině, začne prud strhávat její části pod hladinu. Takto stržená kaše se hromadí pod překážkou a vzniká ledový nápěch. Ten omezí proudění v toku, dojde ke vzduťu a rozliti toku mimo koryto (Matoušek 2000).

Ledových povodní máme tedy více typů s rozdílným procesem vzniku, ale přesto mají několik zásadních společných znaků. Ledové povodně vznikají při zaplnění koryta ledem, vyběžení při ledových povodních nastává i za normálních průtoků, rozliv je způsoben vzduťm před ledovou bariérou. Ledové povodně zasahují spíše jen krátké úseky toků (není to ovšem pravidlem) ale úroveň hladiny běžně dosahuje stoeleté vody (Matoušek 2000). V současné době na řadě toků ledových povodní oproti minulosti ubylo, zejména díky přehradám, které během roku mění teplotní poměry v tocích. Podrobně se ledovým jevům v tocích věnuje např. Matoušek ve svých dílech - Matoušek, V.: Vznik a vývoj ledových nápěchů (2000), Matoušek, V.: Tepelné a ledové procesy v tocích (1998). Z dostupných zdrojů nebylo zjištěno, že by se někdy vyskytla významnější ledová povodeň ve studované lokalitě na horní Lužnici.

**Obrázek č. 14:** Ledová povodeň v Praze roku 1940, která zasáhla i Lužnici



Zdroj: [http://www.metro.cz/foto.aspx?r=co-se-deje&c=A140422\\_173844\\_metro-extra\\_row&foto=ROW4baf4d\\_147.jpg](http://www.metro.cz/foto.aspx?r=co-se-deje&c=A140422_173844_metro-extra_row&foto=ROW4baf4d_147.jpg)

#### **4.4.1.3 Letní a podzimní povodně z dlouhotrvajících srážek**

Povodně tohoto typu jsou způsobeny dešťovými srážkami v teplé části roku, které přetrvávají několik dní. Povodně z dlouhotrvajících srážek zasahují velké oblasti a celá velká povodí, nikoli jen lokální malé toky jako při bleskových povodních. Jejich trvání bývá několik dní, ve výjimečných případech i více týdnů. Tento typ povodní patří v oblastech střední a severní Evropy k nejčastějším (Estrela 2001).

Příčinou regionálních povodní v podmínkách České republiky jsou zpravidla cyklonální srážky, které se nad naším územím vyskytují po několik dní. Frontální deště způsobující povodně jsou součástí cyklon, které nad naše území přicházejí zpravidla z oblasti Středozemního moře po cyklonální dráze Vb. Samotný přechod cyklony nemusí vyústit v extrémní hydrologickou situaci. Ta bývá v případě regionálních povodní způsobena tím, že cyklona téměř setrvává na místě nebo se pohybuje velmi pomalu, a proto srážky trvají dlouhou dobu. Tato stacionarita cyklony je způsobena pro tvorbu povodní ideálním postavením tlakových výší, které blokují pohyb cyklony dále. Intenzivní srážková činnost bývá navíc orograficky zesilována.

Oproti srážkám způsobující přívalové povodně (viz následující kapitola) nebývá jejich rychlost a nepředvídatelnost tak velká, ale zasahují rozsáhlá území<sup>21</sup> po delší dobu. Jiný je tím pádem i proces

---

<sup>21</sup> Území v řádu až tisíců km<sup>2</sup>, oproti jednotkám až desítkám km<sup>2</sup> při bleskových povodních.

vzniku regionálních povodní. S přetrvávajícími srážkami se nasycuje půdní profil, který při svém přesycení již nedokáže pojmout a odvést více vody. Dochází k překročení infiltrační kapacity a další voda ze srážek se po dopadu na zemský povrch rovnou účastní přímého odtoku. Od okamžiku překročení infiltrační kapacity dochází k rychlému vzestupu toků, které jsou v tuto chvíli hojně zásobované srážkovou vodou.

Velké povodně na střední a dolní části toku se projevují zaplavením rozsáhlých ploch a pomalejší odpovědí povodí na příčinnou událost povodně, delším trváním a menším specifickým odtokem než na horních tocích. Díky relativně pomalému stoupání vodních hladin a delší časové odezvě povodí je v těchto částech toku mnohem více času na nějaká bezpečnostní opatření než na horním toku. Přesto jsou ekonomické dopady povodní poměrně značné, protože bývá zaplavena velká plocha zemského povrchu a protože značná část společnosti není připravena na riziko povodně. Příkladem rozsáhlé povodně je například povodeň z roku 1995 na Rýně (plocha povodí 190 000 km<sup>2</sup>), která trvala více než dva týdny. Velké povodně z frontálních dešťů zasáhly naše území v posledních letech několikrát. Zatím naposledy to bylo v roce 2013 a předtím v letech 2010, 2002 či 1997. Povodně z let 2002, 2013 zasáhly i povodí Lužnice.

#### **4.4.1.4. Letní povodně z přívalových srážek velké intenzity**

Tento typ povodní, jak již název kategorie napovídá, se vyskytuje v letním období a jejich vznik je spojen s přítomností srážek velké intenzity (až 100 mm za hodinu). Přívalová nebo též blesková<sup>22</sup> povodeň je náhlé rozlití toku v důsledku intenzivní lokální, většinou bouřkové srážky. K rozlití dochází kvůli překročení infiltrační rychlosti. Velké množství vody dopadající v krátkém čase na zemský povrch se nestíhá vsakovat a zúčastňuje se povrchového odtoku, přestože půdní profil vůbec nemusí být nasycen vodou. Bleskové povodně se vyznačují velmi rychlým nárůstem průtoku, ale také jeho rychlým poklesem zpět na normální hodnotu (viz graf č. 7). Celá povodňová událost během přívalové povodně má dobu trvání pouze v rámci desítek minut až několika hodin.

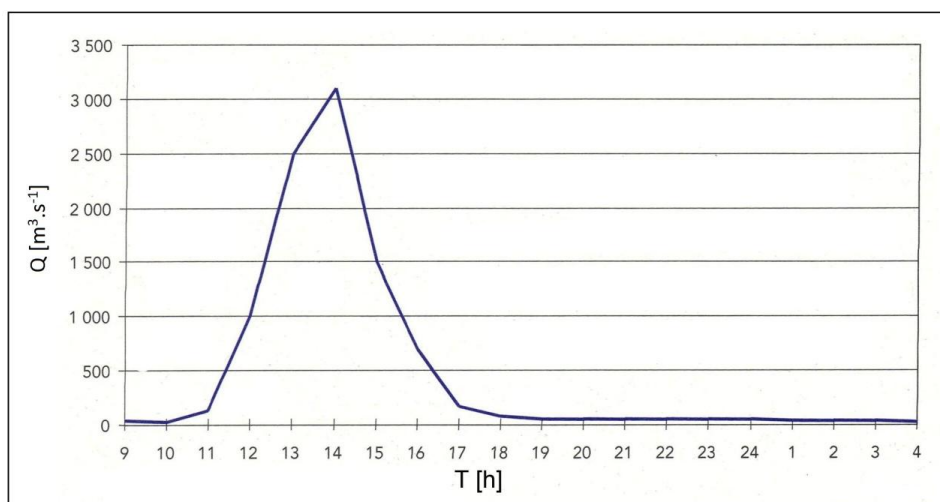
Přívalovými povodněmi bývají častěji zasažena menší povodí krátkých toků a také se mohou objevovat proudy vody v erozních rýhách, kde se žádné toky nevyskytují. Ohroženější jsou také povodí v horských oblastech, kde k rychlému odtoku přispívá orografie. Mezi ohrožená povodí patří také ta, která kromě dostatečné sklonitosti mají také vějířovitý tvar říční sítě (Langhammer 2012). Bleskové povodně jsou jen lokálního nebo regionálního rozsahu, ale přesto například v některých středomořských oblastech, jsou právě tyto povodně největším nebezpečím způsobující ztráty na životech. Mezi nejohroženější místa v Evropě patří ta, kde povodí mají krátkou dobu koncentrace a

---

<sup>22</sup> Mezi některými autory nepanuje shoda, který ze dvou pojmů je správný. V této práci autor používá termín přívalová povodeň, v anglicky psané literatuře tzv. „flash flood“.

jsou ovlivněna středomořskými cyklony. Patří mezi ně například právě oblasti Středomoří jako východní Pyreneje, Korzika, severozápadní Itálie, Katalánsko a Valencie ve Španělsku, v nichž se objevují zejména na podzim a na konci léta (Estrela 2001). V našich podmínkách jsou bleskové povodně vyvolávány silnými dešti během letních konvektivních bouří a postihují zejména malá povodí. S bleskovými povodněmi u nás bývají také spojeny silné proudy bahna z nevhodně obhospodařovaných polí. Nebezpečí bleskových povodní spočívá zejména v jejich extrémně rychlém nástupu, kdy se doba varování před nebezpečím rapidně snižuje. Téměř nepředpověditelné je také konkrétní místo, které zasáhnou intenzivní letní srážky.

**Graf č. 7:** Hydrogram řeky Almanzora zachycující přívalovou povodeň v říjnu 1973



Zdroj: Estrela (2001)

#### 4.4.1.5 Zvláštní povodně

Jako zvláštní povodňové události jsou chápány takové povodně, jejichž příčina není jen v přírodních jevech. Zvláštní povodně vznikají zpravidla kvůli poruše na vodních dílech, jako například protržením přehrad na tocích, poškozením hráze rybníků, jezů atp. Rozsah a míra škod způsobených takovouto povodní závisí zpravidla na velikosti poškozeného zařízení a na míře poškození a podle toho na množství uvolněné vody.

Povodně jako následek poškození vodních děl mívají zpravidla krátké trvání ale velmi rychlý a ničivý průběh. Z přirozených povodní by se tak daly přirovnat nejspíše k povodním bleskovým. Doba trvání zvláštní povodně je omezena množstvím vody zadržované vodním dílem a povodňová událost končí po vyprázdnění zásobní prostor VD. Zvláštní povodně mohou být způsobeny přímo chybným projektem VD<sup>23</sup> nebo nějakou technickou závadou<sup>24</sup>, častěji se však jedná o poškození VD následkem

<sup>23</sup> Takovýto případ je právě například Protržená přehrada na Bílé Desné, na které byly použity nevhodné stavební postupy, které spolu s geologickými anomáliemi způsobily protržení přehrady (Wikipedia 2014).

<sup>24</sup> Např. nehoda na Sajano-Šušanské přehradě.

přírodních procesů. K zvláštním povodním dochází po poškození hrází vlivem zemětřesení, sesuvů, ale asi nejčastěji během povodní, při kterých jsou vodní díla poškozena velkým nápořem vody. V takovýchto případech se nejedná čistě o zvláštní povodeň a dochází k ještě většímu zhoršení povodňové situace. Během povodní jsou teoreticky ohrožena všechna vodní díla a řada z nich i bývá nějakým způsobem postižena. V našich podmínkách bývají nejčastěji za povodní poškozeny či provaleny hráze rybníků, jejichž zadržovaná voda více ohrožuje místa dále po tocích.

Příkladem zvláštních povodní může být známý případ z Itálie z roku 1963 na přehradě Vajont. Poměrně nedávný případ se stal také v roce 2009 v Rusku při nehodě na přehradě Sajano-Šušenská na řece Jenisej. U nás asi nejnámějším případem zvláštní povodně, která byla způsobena protržením přehrady na řece Bílá Desná v Jizerských horách v roce 1916. Za zvláštní povodeň by nejspíše šly považovat i povodně vyvolané záměrně rychlým upouštěním přehrad, většinou z ekologických důvodů. Příkladem může být uměle vyvolaná povodeň na americké řece Colorado v roce 2008 otevřením přehrady Glen Canyon. V povodí horní Lužnice se žádná větší vodní díla nenacházejí a tak teoreticky hrozí pouze protržení rybníků v jejím povodí. Jednou z ne úplně nereálných hrozeb by mohl být Kapelníkův rybník v Novohradských horách, který leží přímo na Lužnici a jehož neudržovaná hráz je poškozená<sup>25</sup> (viz obrázek č. 15).

**Obrázek č. 15:** Poškozená hráz Kapelníkovy rybníka s vývěrem prosakující vody



*Zdroj: fotoarchiv autora (2014)*

---

<sup>25</sup> Informace je aktuální k jaru 2014.

#### **4.4.1.6 Kombinace typů povodní**

Představené typy povodní v Česku je nutno považovat pouze jako ideální případy. Zdaleka ne všechny povodňové události lze zařadit striktně do jedné kategorie, protože často dochází ke kombinaci příčinných faktorů. Například účinky sněhových povodní vzniklých táním sněhu mohou být zesilovány nejen dešti, ale i přítomností ledových jevů v korytě. V daném místě tak takováto povodeň může být považovaná za ledovou i sněhovou. Jiným příkladem je například povodeň z déletrvajících dešťů, které mohou být lokálně zesilovány přivalovými srážkami z konvektivních bouří. Příkladem takové situace mohou být například povodně z června 2013, při kterých v některých oblastech byly srážky zesíleny vnořenou konvekcí (Müller 2014, ústní sdělení). Poměrně běžný jev je kombinace zvláštní a přirozené povodně, kdy dojde k protržení vodního díla pod náparem vody z přirozené povodně. Ta tak je v určitém úseku toku ještě více zesílena.

## **5. Sucho**

Sucho patří spolu s povodněmi mezi přírodní katastrofy a je druhou z extremit odtoku. Sucho je spojeno s celkovým nedostatkem vody a se všemi následky s tím spojené. Projevuje se deficitem srážek a následně vody povrchové i podzemní a tím postupně také usycháním rostlin a celkovým narušením ekosystému. Dopady sucha na společnost mohou být srovnatelné, ale často i mnohem horší nežli dopady povodní. Stejně tak se přírodní prostředí s dopady sucha vyrovnává mnohem hůře než s následky povodní. Sucho zpravidla zasahuje větší oblasti než záplavy, má dalekosáhlejší dopady a jen obtížně se proti němu brání. V minulosti se lidská společnost hůře vyrovnávala s následky sucha nežli povodní a sucho také zapříčinilo zánik nebo úpadek několika civilizací. Přesto sucho dlouho bylo spíše na okraji zájmu a jako větší hrozba se do povědomí lidí pomalu dostává či spíše navrací teprve v posledních několika letech. Důvodem dlouhodobě nízkého povědomí o hrozbě sucha může být například delší období bez sucha, které by mělo silné dopady na moderní civilizaci nebo také jeho méně nápadný nástup a průběh, kdy nedochází k rychlé destrukci majetku, jako při jiných přírodních katastrofách.

Sucho jako přírodní jev v porovnání s povodněmi má velmi dlouhý průběh minimálně v řádu měsíců. Např. Cílek (Vesmír 2013) mluví i o tzv. megasuchu, kterými označuje epizody s nedostatkem vláhly trvající 20 - 30 let nebo naopak o bleskovém suchu, kterým označuje náhle rozšířené sucho, které jakousi paralelou pro přivalové povodně.

### **5.1 Příčiny vzniku sucha**

Primární příčinou vzniku sucha je nedostatek srážek a tento nedostatek může být dále zesilován dalšími vlivy. Mezi ty patří hlavně teplota, vítr, landuse nebo míra odběru vody. Sucho může



začít nejen díky souhře přírodních podmínek vhodných pro jeho vznik, ale i činností člověka, kdy je nevhodnými zásahy do vodního prostředí nebo nepřiměřeným odběrem výrazně sníženo množství dostupné vody. Příkladem takového člověkem způsobeného sucha může být známý případ Aralského jezera.

Nedostatek srážek je základním spouštěcím faktorem sucha, který se projeví na množství vláhly v půdě, nedostatečném doplňování podzemních vod a poklesem hladin vod povrchových. Přesto však hydrologický systém dokáže docela dlouhou dobu zmírňovat a pozdržet následky srážkového deficitu (Estrela 2001). Srážkový deficit je vyjádřen jako množství srážek za určité období a v určitém území v poměru k dlouhodobému průměru množství srážek za dané období. Nevýhodou tohoto jednoduchého ukazatele je obtížně stanovitelná hranice, kdy už je srážkový deficit takový, že začíná sucho. Obecně se však většinou používá hranice 75 % dlouhodobého průměru (Estrela 2001).

Intenzita sucha není jen funkcí míry srážkového deficitu, ale záleží také na tom, ve které části roku se tento deficit vyskytne. Dopady nedostatku dešťových srážek v zimě a v létě budou mít rozdílnou hydrologickou odezvu zejména z důvodu rozdílných teplotních podmínek. Dalším faktorem ovlivňující intenzitu a rychlost nástupu sucha je úroveň zásob vody v povodí v době před srážkovým deficitem. Díky menšímu výparu v zimním období dochází k většímu nasycení půdy vodou a k doplňování podzemních zásob vody. Deficit srážek v zimě tedy vede hlavně k nedostatku vody podzemní a to v zóně aerace i saturace. Naopak nedostatek srážek v létě, kdy je vyšší výpar, vede spíše k poklesu hladin povrchových vod (Estrela 2001). Deficit srážek na jaře, kdy začíná vegetační sezóna, mívá negativní dopad především na zemědělství.

### **5.1.1 Atmosférická cirkulace**

Typickým atmosférickým útvarům, který se vyznačuje nízkými srážkami, jsou oblasti vysokého tlaku vzduchu. Na území Evropy mají právě útvary vysokého tlaku vzduchu a jejich přetrvávání zásadní vliv na množství srážek a teplotu (Estrela 2001). Změna polohy a trvání těchto blokujících anticyklon, způsobuje změny v atmosférické cirkulaci a tím způsobuje teplotní a srážkové výkyvy. V podmínkách střední Evropy dochází k výskytům sucha nahodile v důsledku nerovnoměrného výskytu anticyklonálních a cyklonálních povětrnostních situací (Červený 1984). Vytvoří-li se nad Evropou mohutnější tlakové výše, mohou tyto bránit postupu frontálních systémů od Atlantického oceánu a Středozemního moře, které přinášejí srážky. V oblastech, nad kterými se tlaková výše vyskytuje, je tak srážková činnost velmi omezena. Setrvávají-li tlakové výše delší dobu nad stejným územím a blokují transport vláhly, mohou být příčinami vzniku nedostatku srážek a následného sucha. Přítomnost anticyklony bývá kromě sníženého množství srážek také spojena s vyššími teplotami, zmenšenou oblačností či delší dobou slunečního svitu, čímž je riziko sucha zvyšováno (Červený 1984).

Atmosférická cirkulace je tedy hlavní a v podstatě jedinou příčinou vzniku sucha ve střeoevropském prostoru. Všechny ostatní příčiny jsou jen podružné těmto anticyklonám. Samotná přítomnost anticyklony ještě nemusí vždy znamenat nástup sucha. Zda k suchu dojde, závisí zejména na době setrvání anticyklony, na její velikosti a na dalších anticykloně podružných faktorech zesilujících příčiny vzniku sucha. Mezi ty patří výpar, který je zesilován vyššími teplotami nebo prouděním vzduchu, které také výpar urychluje. Dále je sucho ovlivňováno předchozími zásobami vody v povodí. V závislosti na množství vody v půdě, tocích, jezerech, zvodních a dalších vodních útvech v krajině může být sucho po určitou dobu částečně eliminováno. Nejdříve při dlouhém srážkovém deficitu postupně klesá množství vody v povodí a snižuje se hladina vodních toků, které nejsou dostatečně dotovány vodou ze srážek a povrchového odtoku. Při setrvávajícím suchu jsou časem toky zásobovány pouze vodou z bazálního odtoku. Jeho intenzita je do značné míry závislá na geologických poměrech povodí (Estrela 2001). Lépe je možné suchu čelit na tocích s vodními nádržemi, které mohou nadlepšovat průtoky.

Sucho je zesilováno také socioekonomickými faktory. Mnoho případů hydrologického sucha není vždy způsobeno jen přírodními silami, ale často také nesprávným hospodařením lidí s vodními zdroji. Vysoká poptávka společnosti po vodě vede k nadměrnému využívání vodních zdrojů, které se přirozenými procesy nestíhají doplňovat. Na řadě míst světa tak dochází k dramatickému poklesu hladin podzemních vod, vysychání toků i jezer. Nejohroženější zásoby vody jsou tam, kde je vysoká koncentrace obyvatelstva a nedostatečné vodní zdroje a oblasti, kde je zemědělství závislé na závlahách. Největším spotřebitelem vody je ve světovém měřítku zemědělství. V jednotlivých oblastech se samozřejmě podíl spotřebované vody mezi jednotlivá odvětví lidské činnosti značně liší. Zemědělství je největším spotřebitelem vody např. ve Středozeří, konkrétně Řecko použije na závlahy až 80 % spotřebované vody (Estrela 2001).

## 5.2 Klasifikace sucha

Podobně jako povodně i nedostatek dostupné vody má svá pravidla rozdělení, v závislosti na tom z jakého pohledu sucho hodnotíme. Sucho lze hodnotit podle jeho intenzity, doby trvání, plošného rozsahu a závažnosti<sup>26</sup>. Standardně se sucho rozděluje podle svých projevů na čtyři kategorie, a sice meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické sucho. Jednotlivá sucha nastávají v představeném pořadí, pokud není dané období přerušeno dostatečně intenzivní srážkovou činností, která by postup sucha zastavila.

---

<sup>26</sup> I v české literatuře je často používán anglický termín *severity*.

### **5.2.1 Meteorologické sucho**

Meteorologické sucho je typem, který nastává jako první a předchází ostatním typům sucha. Meteorologické sucho je definováno jako období v určité oblasti, ve které je množství srážek menší než jejich průměrné množství v daném místě a období. Jeho projevem je tedy pouze srážkový deficit oproti normálu. Pro stanovení meteorologického sucha se většinou používají data měsíčních srážkových úhrnů nebo analýzou kumulativních srážkových úhrnů (Mishra, Singh 2010). Tento typ sucha nastává v našich podmínkách nejčastěji a jeho účinky nebývají nijak katastrofické, protože než se projeví negativní účinky sucha, bývá přerušeno srážkami.

### **5.2.2 Zemědělské sucho**

Zemědělské nebo též agronomické sucho nastává při delším srážkovém deficitu, kdy je vyčerpána půdní vláhá dostupná pro rostliny a ty začínají hynout nebo jsou poškozeny nedostatkem vody. Doba, kdy nastává zemědělské sucho a s jakou intenzitou závisí kromě dalších faktorů jako teplota a výpar, také na vlastnostech půdy, a sice na její schopnosti vázat a udržet vodu. Dopady zemědělského sucha jsou velmi ovlivněny tím, v jaké fázi vývoje rostlin sucho nastane. Největší škody způsobuje sucho, které přijde na začátku vegetačního období. Proto se také zemědělské sucho může ještě dělit na půdní a fyziologické, přičemž půdní vyjadřuje nedostatek vody obsažené v půdě, které ale ještě nemusí nutně způsobit usychání rostlin v závislosti na části roku, kdy nastane. Fyziologické sucho je takové, které již postihuje rostliny, které vlivem nedostatku vláhly hynou (Šandová 2013).

Agrárnímu suchu může člověk ještě poměrně dobře čelit pomocí zavlažování, které ovšem prodražuje zemědělskou produkci a nese sebou další negativní vlivy, jako urychlení nástupu hydrologického sucha.

### **5.2.3 Hydrologické sucho**

Tento typ sucha se objevuje i několik měsíců po zemědělském suchu (Šandová 2013). Hydrologické sucho je charakterizováno úbytkem zásob povrchových (vizte obr. ) i podpovrchových vod. Rychlost a míra jejich úbytku závisí např. na předchozím nasycení povodí, jeho morfologii a jedním z hlavních faktorů ovlivňujících hydrologické sucho jsou geologické poměry v povodí (Vogel, Kroll in Mishra, Singh 2010). Hydrologické sucho je období s výskytem velmi malých průtoků v tocích, které jsou nižší než  $Q_{355}$  (Šandová 2013).

**Obrázek č. 16:** Lužnice v dubnu 2014 v lokalitě Benešův mlýn - nízký vodní stav umocněn MVE



**Zdroj:** fotoarchiv autora

#### **5.2.4 Socioekonomické sucho**

Posledním typem sucha, které nastává při přetrvávajícím nedostatku srážek, je sucho socioekonomické. V této fázi sucha jsou již velmi omezené zásoby dostupných povrchových i podzemních vod. Socioekonomické sucho působí svými účinky již zřetelně i přímo na lidskou společnost a její aktivity. Vodní zdroje již nedokážou plně pokrývat požadavky společnosti a postupně dochází k omezování odběrů. Při socioekonomickém suchu se stanovují prioritní oblasti lidské činnosti, které musí být zásobovány vodou a ve kterých se musí spotřeba omezit. Zpravidla platí, že nejdříve bývá omezena průmyslová výroba, která neprodukuje životně nutné komodity a jako poslední přichází na řadu zásobování obyvatelstva.

Existují ještě další typy sucha podle toho, z jakého hlediska jej hodnotíme. Je to např. klasifikace dle Thornthweitea (1947), který rozlišuje sucho podle jeho periodicity výskytu. Podle této klasifikace se sucho dělí na stále, sezónní a nahodilé.

Ke kvantifikaci sucha se využívá řada ukazatelů, jako standardizovaný srážkový index, Langův dešťový faktor, Palmerův dešťový faktor a řada dalších. Tyto nejsou v práci představeny, protože s nimi autor nepracuje. Sucho bylo hodnoceno pouze na základě výskytu průtoků  $Q_{355}$  a nižších a podle výskytu mimořádně málo vodných roků. Práce se tedy zabývá pouze výskytem sucha hydrologického.

### 5.3 Dopady sucha

Při velkém suchu nedostatek vody může přinést problémy v průmyslu, zemědělství, dopravě, energetice a v mnoha dalších oblastech lidských činností i přírodních procesů. Jako první pocítí nedostatek vody rostliny jak zemědělské, tak ve volné přírodě, které začnou postupně usychat. Lépe na tom budou však zemědělské plodiny, které člověk bude zavlažovat, což ale vede k dalšímu zhoršování nedostatku vody ve zdrojích. Při výraznějším poklesu hladin začínají být velmi ohroženy vodní organismy, protože dochází ke zmenšení životního prostoru, větší konkurenci a boji o zdroje. Zároveň jsou vodní organismy vystaveny zhoršující se kvalitě vody, což je dalším z negativních dopadů sucha. Při nedostatku vody se snižuje její samočistící schopnost, zvyšuje se koncentrace případných nebezpečných látek a také se voda snadněji ohřívá a vzniká tak další stresový faktor pro vodní organismy. Snížená kvalita vody rovněž může následně postihnout nejen vodní společenstva, ale také hospodářství kvůli rostoucím nákladům na čištění vody. Dopady na hospodářství má sucho také kvůli omezení lodní dopravy nebo při ztíženém chlazení v průmyslu.

## 6. Odtokový režim Lužnice a Skřemelice

Odtokový režim toků závisí především na zdroji vody v povodí a dále na fyzickogeografických faktorech jako nadmořská výška, výšková členitost na povodí nebo sklonitost a expozice svahů. V podmínkách zájmového území jsou hlavními zdroji vodnosti dešťové a sněhové srážky a zásoby sněhu na povodích. Průtok v určitém bodě toku je vždy výsledkem součtu množství vody, které se do toku dostane ze všech složek tvořících odtok z povodí, tedy povrchovým, hypodermickým a bazálním. Průtok je v čase proměnlivá veličina a právě variabilita průtoku udává odtokový režim toku.

V následujících kapitolách 6.1 až 6.3 je popsán hydrologický režim horní Lužnice po profil Ehrendorf a Skřemelice po závěrový profil Hoheneich. Kapitoly jsou rozděleny na denní, měsíční a roční režim průtoků. Výsledky jsou na obou profilech prezentovány vždy z dat dlouhodobého měření z let 1971 - 2014. Dále jsou vždy stejné charakteristiky prezentovány za rok 2013 a popsány odchylky od normálu. Samostatné vyhodnocení průběhu červnové povodně a její extremity je v kapitole 8. Data z dlouhodobého měření do roku 2012 pocházejí od instituce Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation a data za rok 2013 a 2014 poskytl podnik Povodí Vltavy. Hodinová data pro všech pět profilů poskytly obě zmíněné instituce pro různé profily. Údaje od PVI jsou pouze zprostředkovaná data rakouské hydrologické služby, takže plně korespondují s daty poskytnutými přímo rakouskými hydrology. Jednotlivé odtokové charakteristiky jsou vždy uvedeny v patřičné kapitole a pro oba profily jsou všechny navzájem porovnány v závěru patřičné kapitoly.

## 6.1 Režim denních průtoků

Proměnlivost denních průtoků patří k základním charakteristikám odtokového režimu, které podávají informaci o variabilitě průtoků, rychlosti změn průtoků a četnost výskytu daných průtoků (Netopil 1984). Pro zhodnocení denních průtoků se používají čáry průtoků a také čáry překročení, které jsou zobrazeny a popsány v následujících dvou podkapitolách pro jednotlivé hodnocené profily. Dále se k zhodnocení denních průtoků používají statistické ukazatele, k nimž patří decilová odchylka a variační koeficient. Tyto ukazatele jsou v podkapitolách také představeny. Statistické ukazatele jsou vždy spočítány za celou 43letou řadu a zároveň je vždy stejný ukazatel spočítán i samostatně pro rok 2013.

### 6.1.1 Lužnice - Ehrendorf

Z grafu denních průtoků mezi lety 1971 a 2014 pro Lužnici v profilu Ehrendorf (viz graf č. 8) je patrná poměrně značná rozkolísanost průtoků. Dlouhodobý průměrný průtok na profilu Ehrendorf je  $2,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a střední hodnota průtoků, která není ovlivněna extrémny je v daném profilu  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Absolutně nejvyšší průměrný denní průtok s hodnotou  $142 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl ve sledovaném období naměřen 13.8.2002, což je o 30 % větší průtok, než který odpovídá v profilu Ehrendorf hranici stoleté povodně ( $Q_{100} = 110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Pět dalších nejvyšších denních průtoků bylo naměřeno také během první a druhé části povodně ze srpna 2002. Za nimi následují nejvyšší průtoky s hodnotou  $41 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ze dnů 29.3.2006 a 3.6.2013.

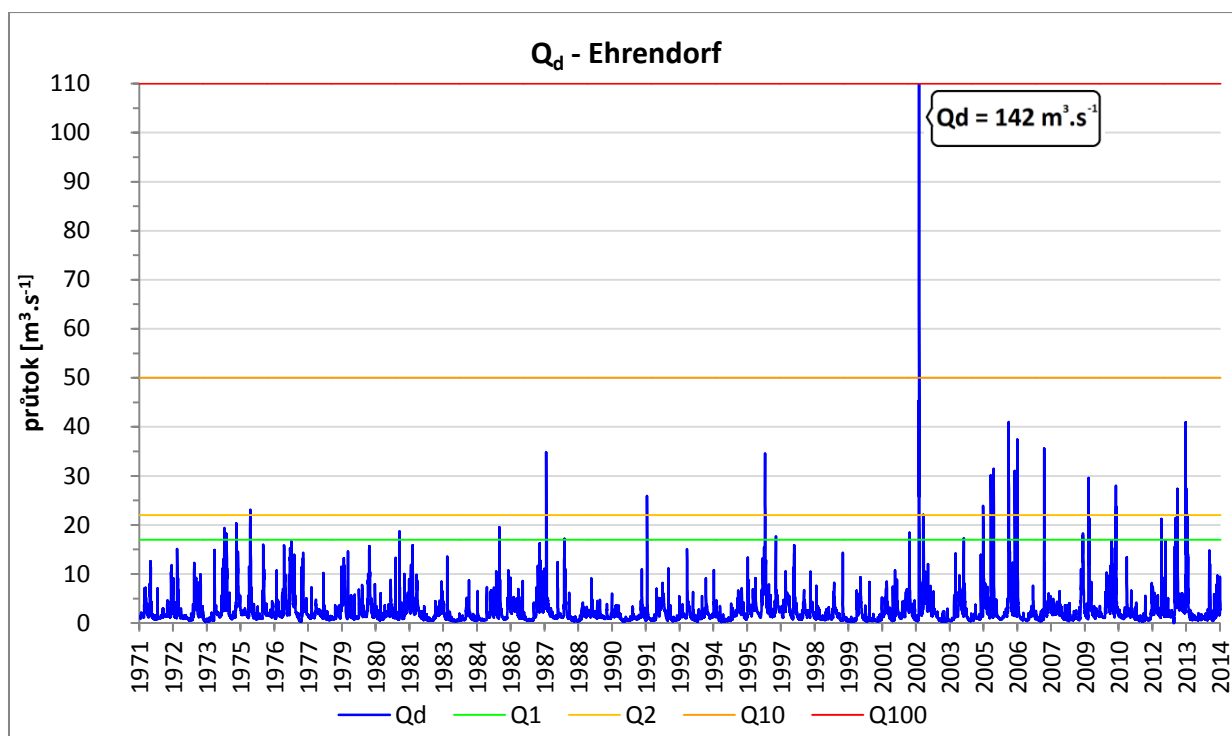
Za celou dobu pozorování denních průtoků byl jednoletý průtok  $Q_1 = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na profilu Ehrendorf dosažen nebo překročen celkem ve sto případech. Z toho jeden případ dosáhl úrovně větší než stoletý průtok (13.8.2002) a pouze dvakrát byl dosažen či překročen průtok  $Q_{10} = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a sice 12. a 14.8.2002. Denní průtok přesahující  $Q_1$  byl během celého srpna 2002 přesážen celkem čtrnáctkrát, z toho jednou dosáhl průtok úrovně  $Q_1$ , šestkrát  $Q_2$ , čtyřikrát  $Q_5$ , dvakrát  $Q_{10}$  a jednou  $Q_{100}$ . Tyto údaje jasně reflektují extremitu průtoků ze srpna 2002, během kterého bylo dosaženo 14 % všech průtoků větších než  $Q_1$  během celého pozorovaného období mezi lety 1971 - 2014. Celkově se na profilu jednoletý průtok vyskytl 46x, dvouletý 42x, pětiletý 9x, desetiletý 2x a stoletý 1x. Nejvíce dnů s povodňovým průtokem na Lužnici nastalo v roce 2002, kdy jich bylo celkem 18 a v roce 2006 se 17 dní, během nichž byl  $Q_d$  roven nebo větší  $Q_1$ .

Z grafu denních průtoků je také patrný častější výskyt povodňových průtoků po roce 2002. Od tohoto roku (včetně) do roku 2014 se na Lužnici vyskytlo 76 % všech denních průtoků rovných nebo vyšších než  $Q_1$ . Úroveň jednoleté vody při denním průtoků od roku 2002 do roku 2014 byla dosažena 30x,  $Q_2$  34x,  $Q_5$  9x,  $Q_{10}$  2x a jedenkrát  $Q_{100}$ .

Nejnižší denní průtok s hodnotou  $0,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se v profilu ve sledovaném období vyskytl pouze jednou dne 22.8.1993. Denní průtok menší než  $Q_{355} = 0,62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl na profilu Ehrendorf mezi lety 1971 - 2014 naměřen celkem v 1732 dnech. Nejvíce dnů s průtokem menším než  $Q_{355}$  se vyskytovalo na Lužnici v roce 2000, kdy byl průtok menší než  $Q_{355}$  ve 159 dnech. Období s výrazně nízkými průtoky bylo hlavně v podzimních a zimních měsících roku. Následoval suchý rok 2003 s celkem 148 dny s nízkými průtoky, které přetrvávaly hlavně v průběhu léta a podzimu.

V porovnání s prací Svobody (2011), který hodnotil průtoky na profilu Pilař, si maximální dosažené průtoky na obou profilech odpovídají. Výjimku tvoří pouze Svobodou zmiňovaný průtok na Pilaři ze dne 1.7.2006, který na profilu Ehrendorf nepatřil mezi nejvyšší. Z pozorovaných dat vyplývá, že na formování extrémního průtoky na Pilaři měl výrazně větší vliv přítok z povodí Skřemelice a Dračice. Ve dnech s nejnižšími průtoky si data zjištěná Svobodou neodpovídají se zjištěními prezentovaných v této práci. Nejnižší průtoky na Pilaři dokonce dosahují nižších hodnot, přestože Lužnice mezi profily přijímá vody ze Skřemelice, Rybné nebo Dračice. Důvodem neodpovídajících si minimálních průtoků a nižších hodnot, je s největší pravděpodobností ovlivnění průtoky na Pilaři odběrem do Zlaté stoky, jejíž průtok nebyl ve Svobodově práci do výsledků započítán.

**Graf č. 8:** Chod denních průtoků na profilu Ehrendorf, 1971 - 2014



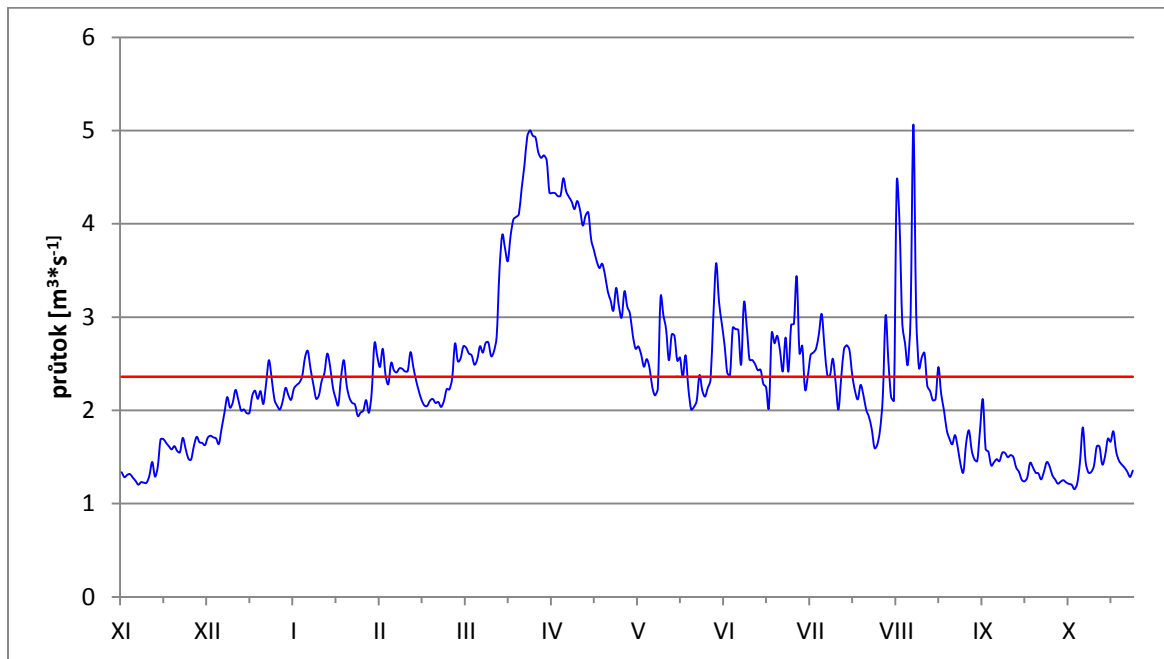
Zdroj dat: e-HYD, Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI, Das Land Niederösterreich



Z dat ze sledovaného období byly vypočítány pro profil Ehrendorf dlouhodobé denní průměrné průtoky a vyneseny do grafu č. 9. Z grafu je patrné, že maximální průtoky jsou na horní Lužnici v období jarního tání v průběhu března a dubna. Denní průtoky začínají poměrně strmě růst od poloviny března, vrcholí na konci března s hodnotou  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a mírně klesají v průběhu dubna a až do prvních květnových dní zůstávají denní průtoky mírně nadprůměrné. Období jarních zvýšených průtoků je rozloženo do delšího období vlivem větší výškové členitosti povodí horní Lužnice. Kvůli tomuto dochází k postupnému odtávání sněhové přikrývky v jednotlivých částech povodí a k zásobování toku vodou po delší časový horizont.

Dlouhodobé průměrné denní průtoky v letních měsících vykazují značnou rozkolísanost, kdy se na povodí vyskytují průtoky většinou mírně nadprůměrné, ale tyto jsou střídány i kratšími obdobími s podprůměrnými průtoky. Z grafu je patrné výrazné srpnové maximum se dvěma vrcholy, z nichž větší má hodnotu přesahující i maximální jarní průtoky z tání a je tak v podstatě prvním maximem průtoků. Oba tyto vrcholy promítají do křivky dlouhodobých denních průměrů povodí z roku 2002 a opět tak reflektují její mimořádnost, kdy jedna povodňová událost ovlivní celou dlouhodobou řadu dat. V případě, že z dat použitých pro výpočet dlouhodobých Qd odfiltrujeme celý srpen 2002, klesne nejvyšší dlouhodobý denní průtok dosažený v srpnu na  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Celý srpen pak nijak zvlášť nevybočuje od výkyvů běžných pro ostatní letní měsíce. Z porovnání se Svobodovými výsledky (2011) vyplývá, že na jarní maximum na Pilaři má větší vliv přítok z Novobystřické vrchoviny, kde sněhová pokrývka odtává plošně a zásobuje Lužnici množstvím vody. Jarní maximum denních průtoků na Pilaři tak je skutečným maximem a srpnové průtoky i se započítáním extrémní povodně 2002 ho zdaleka nepřekonávají tak jako je tomu na horní Lužnici po profil Ehrendorf. Minimální denní průtoky se dlouhodobě vyskytují v podzimních měsících.

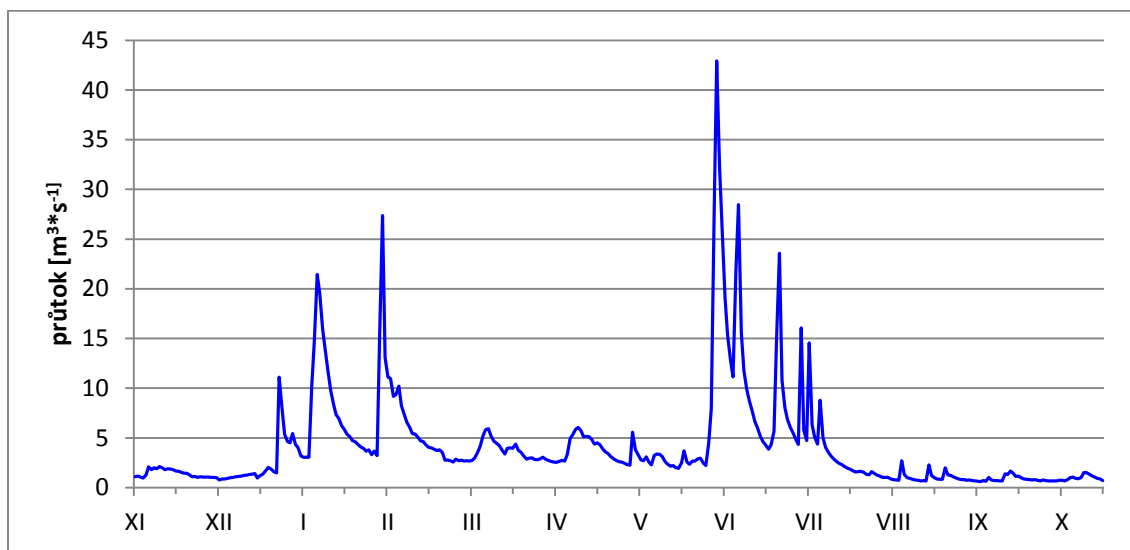
**Graf č. 9:** Dlouhodobý chod denních průtoků, 1971 - 2014



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI, Das Land Niederösterreich

Průběh denních průtoků během roku 2013 je zachycen na následujícím grafu č. 10. Denní průtoky se v tomto roce značně lišily od dlouhodobého trendu, jak je z grafu patrné. Nebylo zaznamenáno žádné výrazné jarní maximum, což vypovídá o velmi malé či téměř žádné sněhové pokrývce v povodí. Krátkodobé výkyvy, které však až pětinasobně převýšily hodnoty dosahované na jaře, se objevily již během ledna a února. Tyto nárůsty průtoků nejspíše byly zapříčiněny oblevy, během kterých odtekla voda ze sněhové pokrývky, která se v zimě na povodí vyskytovala. Všechny sníh tak pravděpodobně odtál během těchto oblev, a proto se nevyskytlo jarní maximum. Největší průtoky se v roce 2013 vyskytly až během června a července. Tyto způsobila povodeň na počátku června 2013 a po ní následující vyšší úhrny srážek.

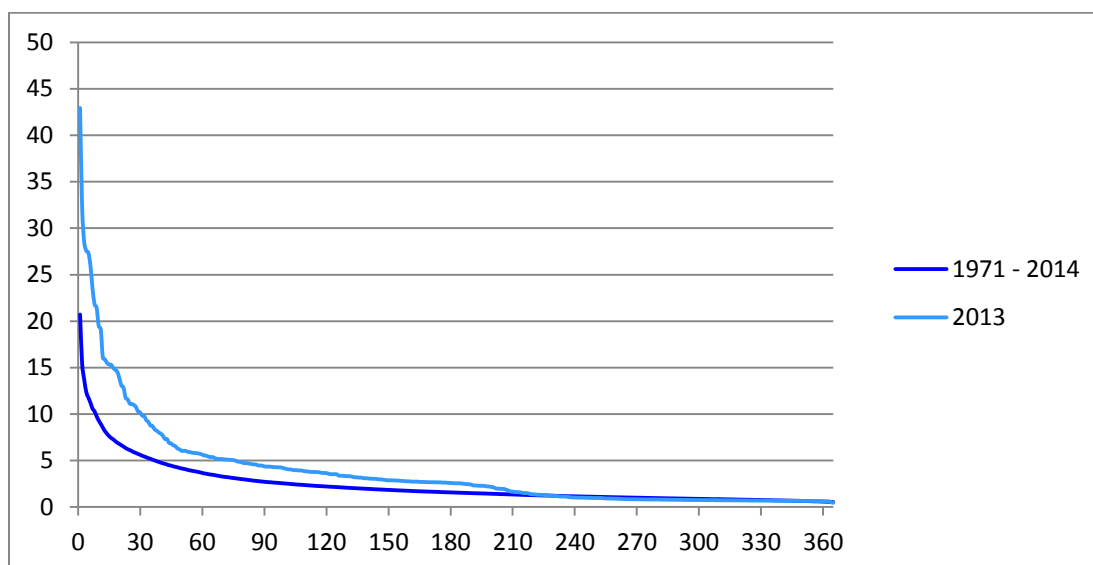
**Graf č. 10:** Chod denních průtoků v roce 2013



Zdroj dat: PVI

O proměnlivosti denních průtoků a četnosti jejich výskytu dobře vypovídají čáry překročení denních průtoků. Tyto byly zkonstruovány pro oba hodnocené toky. Pro Skřemelici jsou vyobrazeny v následující kapitole, kde je uvedeno i vzájemné porovnání křivek na tocích. Čáry překročení jsou sestrojeny za celé sledované období a pro hydrologický rok 2013 - graf.č. 11. Hodnoty m-denních průtoků pro obě období jsou uvedeny v tabulkách č. 3 a 4. Porovnáme-li křivku z roku 2013 s dlouhodobou čarou překročení průtoků, dojdeme k závěru že průtoky přibližně od Q210 až Q365 jsou shodné. Průtoky, které se vyskytly po menší počet dní, značně převyšují dlouhodobý průměr. Za tyto vysoké průtoky je zodpovědné období s vysokými průtoky v červnu 2013 a vysoké průtoky během zimy.

**Graf č. 11:** Čáry překročení denních průtoků 1971 - 2014 a 2013, Lužnice - Ehrendorf



Zdroj dat: e-HYD, Amt der NÖ Landesregierung

**Tab. č. 3:** m-denní průtoky 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf

m-dennost	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q355
m-denní průtoky 1971 - 2014	5,63	3,68	2,72	2,21	1,84	1,58	1,35	1,15	1,01	0,88	0,75	0,62

Zdroj dat: e-HYD, PVI, vlastní výpočet

**Tab. č. 4:** m-denní průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf

m-dennost	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q355
m-denní průtoky 2013	10,20	5,65	4,39	3,67	2,89	2,60	1,678	1,05	0,85	0,77	0,71	0,67

Zdroj dat: PVI, vlastní výpočet

Pro číselné zhodnocení rozkolísanosti denních průtoků byly vypočteny hodnoty decilové odchylky a variačního koeficientu pro rok 2013 a pro celé sledované období. Decilová odchylka v roce 2013 měla hodnotu 0,94 a z celé hydrologické řady byla vypočtena hodnota 0,49. Vyšší hodnota v roce 2013 ukazuje na výrazně větší rozkolísanost průtoků. Přesnější vyhodnocení variability průtoků v porovnání s jiným tokem však udává variační koeficient (Netopil 1984), jehož hodnota v roce 2013 byla 2,27 a v celém sledovaném období 1,34. Nejvyšší hodnoty dosáhl variační koeficient v roce 2002, a to 4,5.

### 6.1.2 Skřemelice - Hoheneich

Graf denních průtoků z let 1971 až 2014 byl sestaven i pro Skřemelici v profilu Hoheneich (viz graf č. 12). Z grafu je opět patrná značná rozkolísanost denních průtoků, a to dokonce větší než na Lužnici, jak dokládají i výpočty variačního koeficientu. Dlouhodobý průměrný průtok v profilu

Hoheneich je  $2,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a střední hodnota průtoku  $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Nejvyšší zaznamenaný průměrný denní průtok byl naměřen stejně jako na Lužnici dne 13.8.2002 a dosahoval hodnoty  $107 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Hranice stoletého průtok odpovídající  $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  tak byla překročena o 19 %. V žádném jiném případě se za sledované období mezi denními průtoky stoletý průtok již nevyskytl. Dosažena byla pouze hranice  $Q_{10} = 46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , a to v pěti případech, což je vícrát než na profilu Ehrendorf. Z těchto pěti případů se čtyři objevily během druhé povodňové vlny v srpnu 2002. Qd z první vlny této povodně je na profilu Hoheneich až 12. nejvyšší zaznamenanou hodnotou, zatímco na Lužnici byl Qd z první části povodně v roce 2002 čtvrtým nejvyšším naměřeným průtokem. Oproti Lužnici se mezi největšími průtoky objevuje jarní povodeň z konce března 2006. Maximální Qd během této povodně na Skřemelici nastal 29.3.2006 s hodnotou  $47 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , která je čtvrtým největším zaznamenaným průtokem ve Skřemelici a přesahuje hranici  $Q_{10}$ . Značně rozdílný mezi profily je i maximální Qd dosažený během povodně 2013. Zatímco na Lužnici byl Qd při povodni v červnu 2013 překonán pouze průtoky ze srpnové povodně 2002, na Skřemelici byl maximální Qd v červnu 2013 až 32. nejvyšším zaznamenaným průtokem ve sledovaném období. Většina z průtoků větších než při letní povodni 2013 byla dosažena v jarních měsících. Výsledky tak jasně ukazují, že povodeň z června 2013 zasáhla mnohem silněji povodí samotné horní Lužnice.

Za hodnocené období denní průtok dosáhl nebo překročil jednoletý průtok  $Q_1 = 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v 59 případech.  $Q_{100}$  byl dosažen 1x,  $Q_{10}$  5x,  $Q_5$  7x,  $Q_2$  9x a jednoleté úrovně dosáhly průtoky ve 37 případech. V průběhu srpna 2002 bylo u Qd dosaženo povodňových průtoků v 9 dnech, tj. 15 % všech povodňových průtoků mezi lety 1971 a 2014. Ještě o něco výrazněji se na celkovém počtu povodňových průtoků podílela jarní povodeň v roce 2006, jež měla úroveň přesahující jednoletý průtok po dobu 11 dnů. Rok 2006 má na celkovém počtu dní, během kterých byl dosažen povodňový průtok, největší podíl s celkovým počtem 16 dní, což je 27 % všech Qd větších nebo rovných  $Q_1$  zaznamenaných během 43 hodnocených let. Z tohoto se 11 vyskytlo na přelomu března a dubna a 5 v letních měsících. Z těchto 16 případů byl 1x dosažen  $Q_{10}$ , 6x  $Q_5$ , 4x  $Q_2$  a 5x  $Q_1$ .

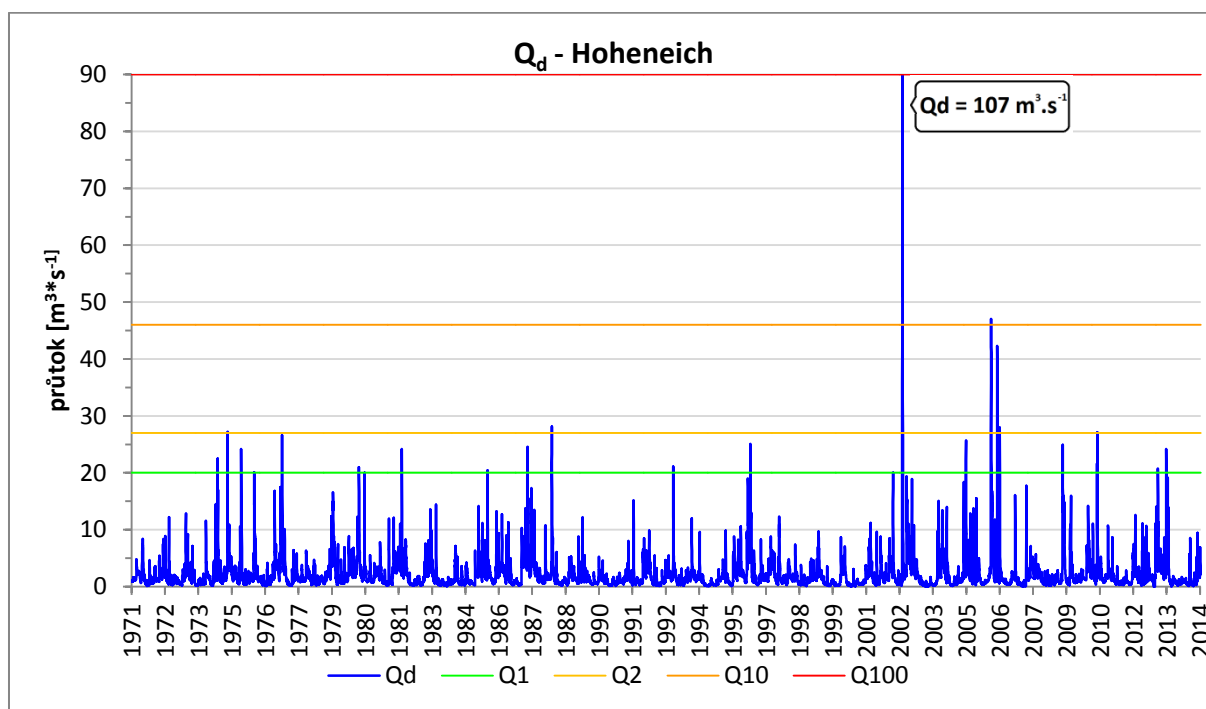
Stejně jako u grafu denních průtoků pro profil Ehrendorf, je i z grafu denních průtoků v profilu Hoheneich zřejmý častější výskyt povodňových průtoků po roce 2002, ale zdaleka ne tak výrazný jako u Lužnice. Celkem bylo po roce 2002 včetně, na profilu Hoheneich zaznamenáno 61 % všech povodňových průtoků v hodnoceném období. Během tohoto období byl  $Q_1$  dosažen 17x,  $Q_2$  6x,  $Q_5$  7x,  $Q_{10}$  5x a stoletý průtok 1x. Do roku 2002 od počátku hodnoceného období nedosáhl Qd hodnoty  $Q_{10}$  ani jednou. Nejvíce dosáhla úroveň denního průtoku na  $Q_2$ , a to 3x během 31 let.

Nejnižší denní naměřený průtok na profilu Hoheneich měl hodnotu  $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a byl naměřen pouze v jednom případě dne 8. 8. 2007. Denní průtok menší než  $Q_{355} = 0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl na profilu

Hoheneich mezi lety 1971 - 2014 zaznamenán celkem 1164x. Rok s největším počtem dnů s průtoky do  $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl rok 2003, kdy byl denní průtok maximálně v hodnotě  $Q_{355}$  zaznamenán ve 117 dnech. Nejvíce dnů s nízkými průtoky se vyskytlo během všech tří letních měsíců, kdy jich bylo zaznamenáno celkem 65. Další rok s největším počtem dní s nízkými průtoky byl rok 1994 se 113 dny, během kterých  $Q_d$  nedosáhl úrovně vyšší než  $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Porovnáme-li opět výsledky s těmi, ke kterým došel Svoboda na profilu Pilař, dojdeme k závěru, že v nejvyšších průtocích si dny s maximálními hodnotami  $Q_d$  opět odpovídají, a to bez výjimky. Nejnížší průtoky si časově neodpovídají se Svobodovými zjištěními na Pilaři, čehož je příčinou nejspíše již zmiňovaná Zlatá stoka, ale dny s nejmenšími průtoky si neodpovídají ani v rámci profilů Ehrendorf a Hoheneich. Celkový počet dní s malými  $Q_d$  na profilu Hoheneich je o více než 500 nižší než na Lužnici. Počet dní s průtoky do  $Q_{355}$  je na Skřemelici vždy menší i v letech, ve kterých na obou profilech bylo nejvíce dnů s malými průtoky. Vzhledem k faktu, že dlouhodobě jsou nad povodím Skřemelice nižší úhrny srážek, bude takto velký rozdíl způsoben přítomností většího počtu rybníků, jak na samotném toku Skřemelice, tak v jejím povodí. Tyto mohou při vhodné manipulaci v době nižších srážek částečně nadlepšovat malé průtoky. Pozitivní vliv pravděpodobně mají i mokřady a rašeliniště v povodí Skřemelice, které se v okolí Lužnice nevyskytují. Za pozornost stojí také relativní porovnání nejnížších průtoků. Na Lužnici nejnížší  $Q_d$  dosahují 37 % hodnoty  $Q_{355}$ , zatímco na profilu Hoheneich dosahují nejnížší  $Q_d$  pouze 18% úrovně  $Q_{355}$ . Na profilu Hoheneich tedy nastávají nízké průtoky v menším počtu dní, ale dosahují větší extremity. Autor práce se domnívá, že příčinou je možnost částečného nadlepšení průtoků ve Skřemelici množstvím rybníků a přítomností mokřadů, které snižují počet dnů s nízkými  $Q_d$ . Zároveň pokud přetrvává období s malými úhrny srážek, případně s vysokými teplotami, déle, tak je již kapacita vodních ploch pro dotování Skřemelice vyčerpána a naopak je se více prosazuje výpar. V tomto případě se teprve projeví větší pravděpodobnost vypadávání srážek nad povodím Lužnice, a to zejména v pramenné oblasti Novohradských hor a denní průtoky Lužnice tak mohou být navyšovány spíše než  $Q_d$  na Skřemelici.

**Graf č. 12:** Chod denních průtoků na profilu Hoheneich, 1971 - 2014



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI, Das Land Niederösterreich

Dlouhodobý režim denních průtoků na profilu Hoheneich je zachycen na grafu č. 13. Z něho je patrné, že maximální průtoky se na profilu vyskytují na přelomu března a dubna a vrcholí v hodnotě  $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Největší Qd tedy nastávají v období jarního tání sněhu. Z tvaru křivky dlouhodobých denních průtoků je v porovnání s Lužnicí patrné, že v dubnu, kdy dochází k postupnému poklesu jarních denních průtoků, je tento pokles na Skřemelici rychlejší, což odpovídá rychlejšímu tání sněhu v povodí Skřemelice a postupnému odtávání na Lužnici. Tání sněhu najednou ve větší ploše odpovídá i větší hodnota maxima s hodnotou  $5,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  oproti  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na Lužnici.

Na dlouhodobé denní průtoky v jarních měsících měla značný vliv povodeň v roce 2006. Při odfiltrování dat z této povodně dojde k mírnému snížení hodnoty jarního maxima a v období poklesu jarních maxim dojde k mírnému zploštění. Hodnota maxima se sníží jen mírně na  $5,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , což je více než na Lužnici. V případě odfiltrování i ponechání dat z jarní povodně 2006 je jarní maximum na Skřemelici koncentrováno do menšího počtu dní a s většími průtoky než na Lužnici. Při odfiltrování dat z jara 2006 i na Lužnici, kde nebyla úroveň extremity povodně tak velká, poklesne maximum na profilu Ehrendorf na  $4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Období nárůstu hodnoty denních průtoků na Skřemelici odpovídá i době nárůstu průtoků na Lužnici, v jejíž povodí dochází též k tání sněhu ve stejných nadmořských výškách jako u Skřemelice.



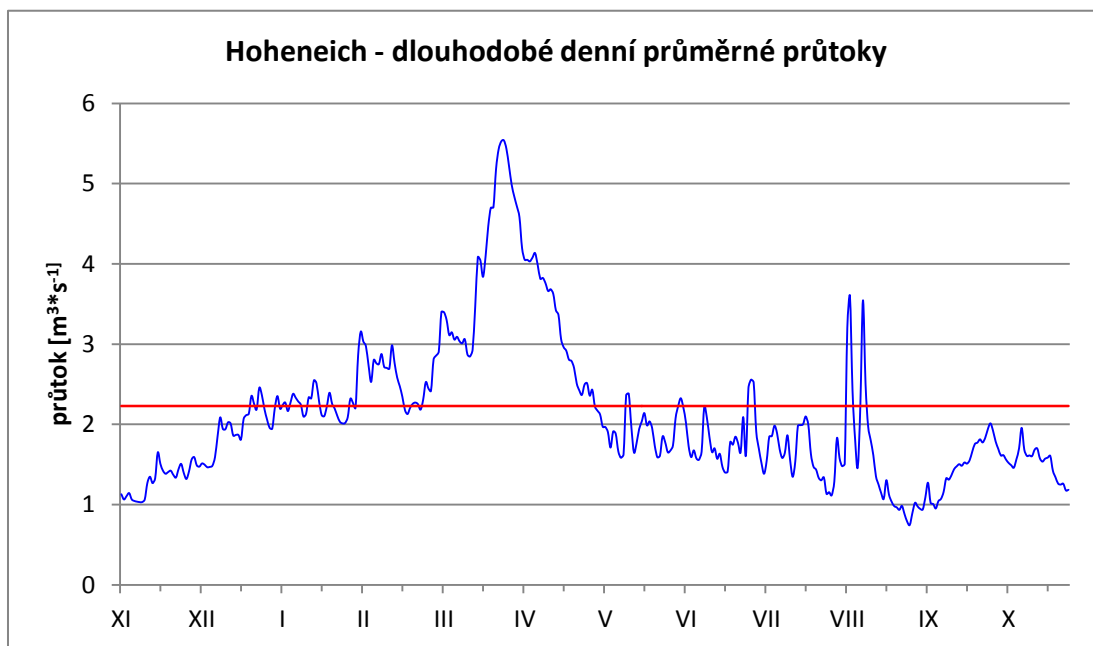
Na Skřemelici jsou také narozdíl od Lužnice znatelnější větší nárůsty průtoků v únoru a na počátku března, které odpovídají oblevám v zimním období. Tyto se na průtocích opět odrazí silněji, je-li zasaženo celé povodí Skřemelice, než jen část u Lužnice.

Z grafu č. 13 je v průběhu roku patrné i druhé maximum denních průtoků během srpna. Stejně jako na Lužnici je toto způsobeno povodní ze srpna 2002, která zasáhla obě povodí. Na Skřemelici jsou srpnové průtoky skutečně až druhým maximem a nedosahují stejných hodnot jako při jarním maximu. Tato skutečnost značí, že povodeň v srpnu 2002 nebyla na Skřemelici tolik extrémní jako na Lužnici a průtoky z jarního tání sněhu mají dominantní vliv na dlouhodobá maxima denních průtoků. Při odfiltrování dat ze srpna 2002 opět srpen v dlouhodobém pohledu nijak nevybočuje od ostatních letních měsíců.

Během letních měsíců jsou denní průtoky na Skřemelici až na výjimky podprůměrné a rozkolísané, ale ne s takovými rozdíly jako na Lužnici. Menší rozkolísanost na Skřemelici během letních měsíců je nejspíše způsobena větším počtem vodních ploch v povodí, které přispívají ke snížení rozkolísanosti. Hlavní příčina podprůměrných průtoků během letního období je pravděpodobně v nižších srážkových úhrnech nad povodím Skřemelice a zároveň opět ve vodních plochách, které v letních měsících zvyšují výpar z povodí.

S výsledky Svobodovy práce si graf dlouhodobých denních průtoků Skřemelice odpovídá v úrovni maxim denních průtoků během roku, včetně maxima způsobeného povodní 2002. Jarní maximum je na Pilaři rozloženo do delšího časového úseku, což odpovídá průtokům z horní Lužnice s pomalejším odtáváním sněhových zásob. Období minimálních průtoků si odpovídají na všech. Na Pilaři se letní denní průtoky na rozdíl od Skřemelice nevyskytují tak výrazně pod úrovní průměrného denního průtoky a zároveň nevykazují tak prudké výkyvy jako Lužnice na profilu Ehrendorf.

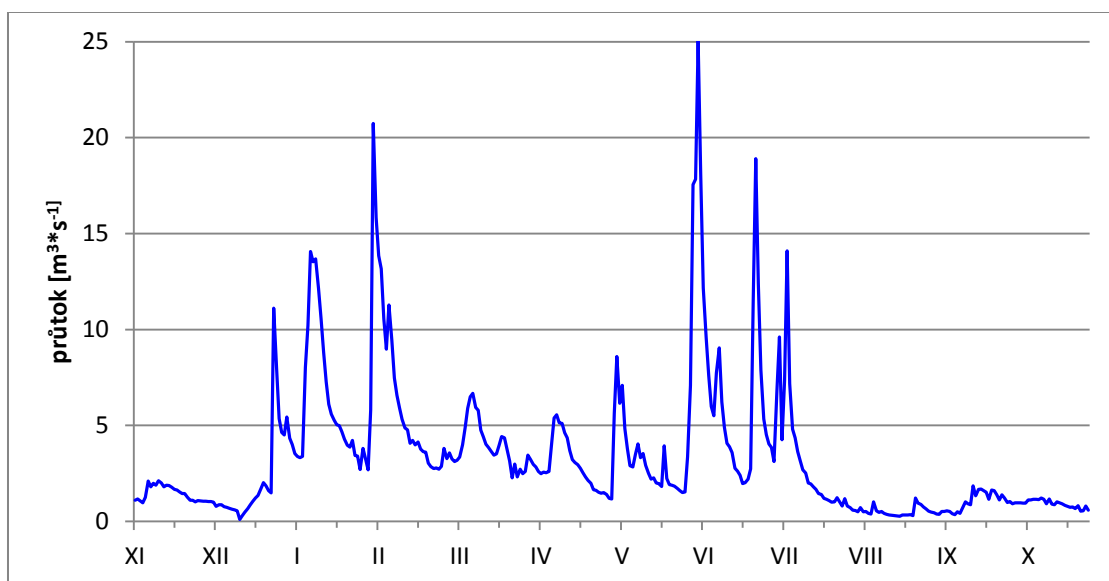
**Graf č. 13:** Dlouhodobý chod denních průtoků, 1971 - 2014



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI, Das Land Niederösterreich

Stejně jako pro Lužnici byl sestrojen i graf denních průtoků v roce 2013 pro Skřemelici v závěrovém profilu Hoheneich (viz graf č. 14). Taktěž na tomto toku se denní průtoky v roce 2013 odlišovaly od dlouhodobého průměru a jejich průběh je podobný tomu na Lužnici. I zde chybí typické jarní maximum v březnu a stejně tak se objevují vysoké průtoky během zimních měsíců. Možné příčiny autor vidí stejně jako popsané v předchozí kapitole.

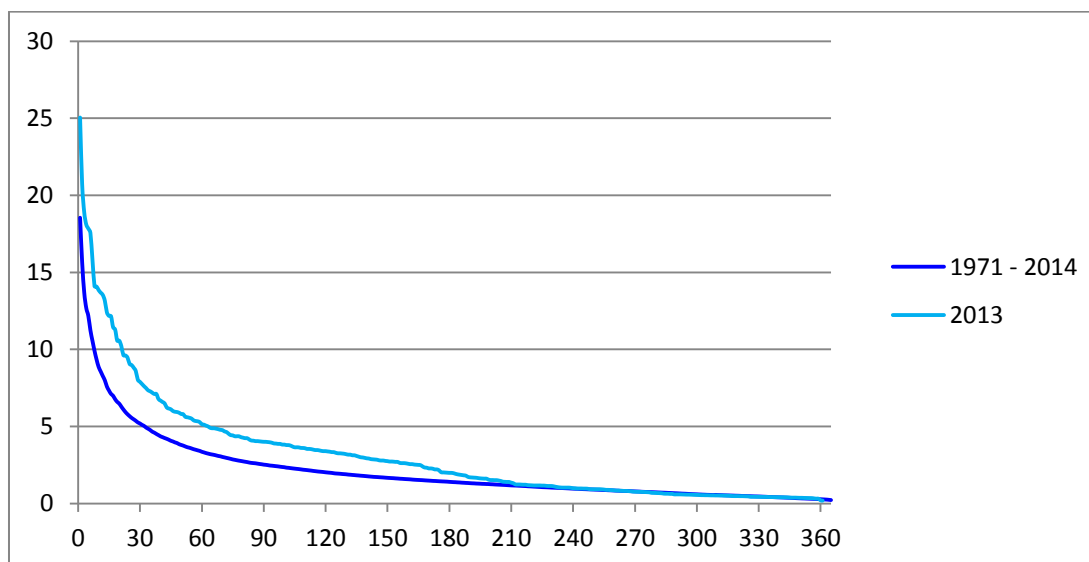
**Graf č. 14:** Chod denních průtoků v roce 2013



Zdroj dat: PVI

Čáry překročení za celé sledované období a pro hydrologický rok 2013 jsou grafu č. 15. Hodnoty m-denních průtoků pro obě období jsou uvedeny v tabulkách č. 5 a 6 pod grafem. Také rozdíly v průběhu čar překročení je stejné jako na Lužnici.

**Graf č. 15:** Čáry překročení denních průtoků 1971 - 2014 a 2013, Skřemelice -Hoheneich



Zdroj dat: e-HYD, Amt der NÖ Landesregierung

**Tab. č. 5:** m-denní průtoky 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich

m-dennost	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q355
m-denní průtoky 1971 - 2014	5,18	3,35	2,51	2,02	1,66	1,40	1,17	0,96	0,78	0,59	0,45	0,30

Zdroj dat: e-HYD, PVI, vlastní výpočet

**Tab. č. 6:** m-denní průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf

m-dennost	Q30	Q60	Q90	Q120	Q150	Q180	Q210	Q240	Q270	Q300	Q330	Q355
m-denní průtoky 2013	7,89	5,14	4,00	3,39	2,741	1,98	1,34	0,99	0,76	0,55	0,42	0,34

Zdroj dat: PVI, vlastní výpočet

Čáry překročení relativizované dlouhodobým průměrným průtokem za celé sledované období na obou tocích se překrývaly téměř ze 100 %. Odchylky byly pouze v nejnižších a nejvyšších hodnotách, přičemž na profilu Hoheneich byly dosaženy menší hodnoty průtoků od Q300 až po Q365. U průtoků s nejmenším počtem dnů překročení mírně převyšovaly průtoky na Lužnici. Konkrétně v nejvyšší hodnotě průtoků to bylo o  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Relativizované m-denní průtoky pro rok 2013 jsou u obou toků shodné mezi Q30 a Q365. Lužnice u průtoků s menším počtem dní překročení

než Q30 vykazuje vyšší hodnoty, které se v nejvyšší hodnotě liší až o  $4,4 \text{ m}^3$ . Tyto grafy nejsou v práci publikovány. Pro vzájemné porovnání bylo využito koeficientů uvedených v následujícím odstavci.

Hodnota decilové odchylky na Skřemelici je pro rok 2013 0,75 a dlouhodobě má hodnotu 0,47. Variační koeficient pro rok 2013 má hodnotu 1,68 a pro celé sledované období 1,32. V dlouhodobém hledisku je tedy rozkolísanost na Lužnici mírně větší než na Skřemelici (1,34 oproti 1,32) avšak velmi zanedbatelně. Větší rozdíl se vyskytuje v roce 2013 (2,27 - Lužnice a 1,68 - Skřemelice) a koeficient tak vypovídá o větší variabilitě průtoků na Lužnici. Také na Skřemelici byla hodnota variačního koeficientu největší v roce 2002, kdy dosáhla až na 4,02.

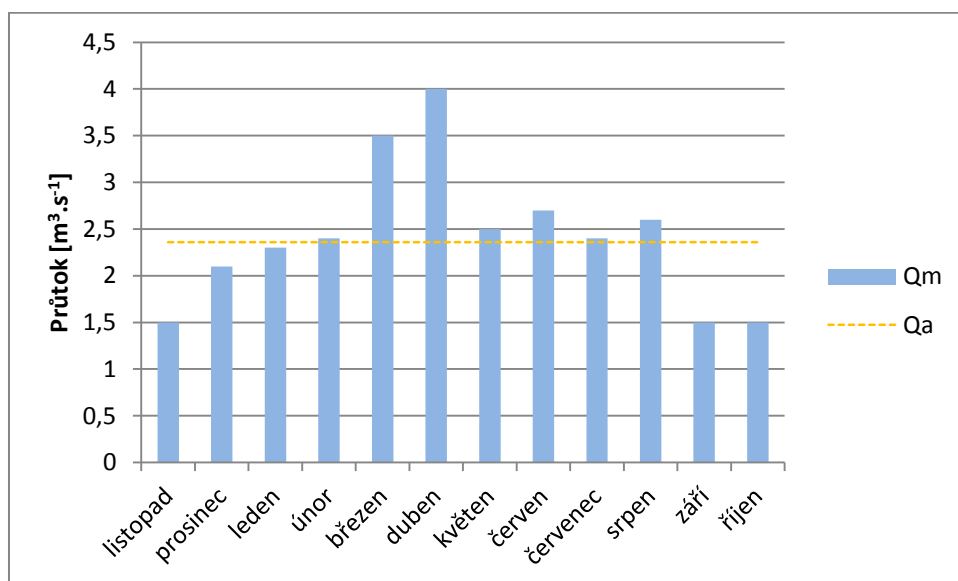
## **6.2 Režim měsíčních průtoků**

Rozložení odtoku v průběhu roku lze dobře posoudit podle průtoků v jednotlivých měsících. Měsíční režim odtoku lze sledovat, jak za jednotlivé roky, tak za delší období. K zhodnocení měsíčních průtoků se využívají grafy zobrazující průměrné průtoky v jednotlivých měsících a také číselné koeficienty, jejichž pomocí srovnáváme rozložení měsíčních průtoků na různých tocích. Chod měsíčních průtoků lze rozdělit i na jednotlivá časová období v průběhu roku, jak je představeno v následujících podkapitolách.

### **6.2.1 Lužnice - Ehrendorf**

Graf č. 16 zobrazuje chod měsíčních průtoků na horní Lužnici v profilu Ehrendorf v období mezi lety 1971 - 2014. Z grafu je patrná nevyrovnanost odtoku v průběhu roku s maximem v dubnu s hodnotou  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Druhým měsícem s největšími průtoky je březen s hodnotou  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a je tak zřejmé, že maximum odtoku připadá na jaro. Následující měsíc květen a všechny letní měsíce se svými dlouhodobými průměrnými průtoky velmi blíží průměrnému průtoku. Z grafu vyplývá, že na rozdíl od denních průtoků nejsou data zakreslena odlehlými hodnotami z extrémní povodně 2002 nebo méně extrémní z roku 2006. Nejnížší průtoky se na Lužnici vyskytují ve všech třech podzimních měsících se shodnou hodnotou  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

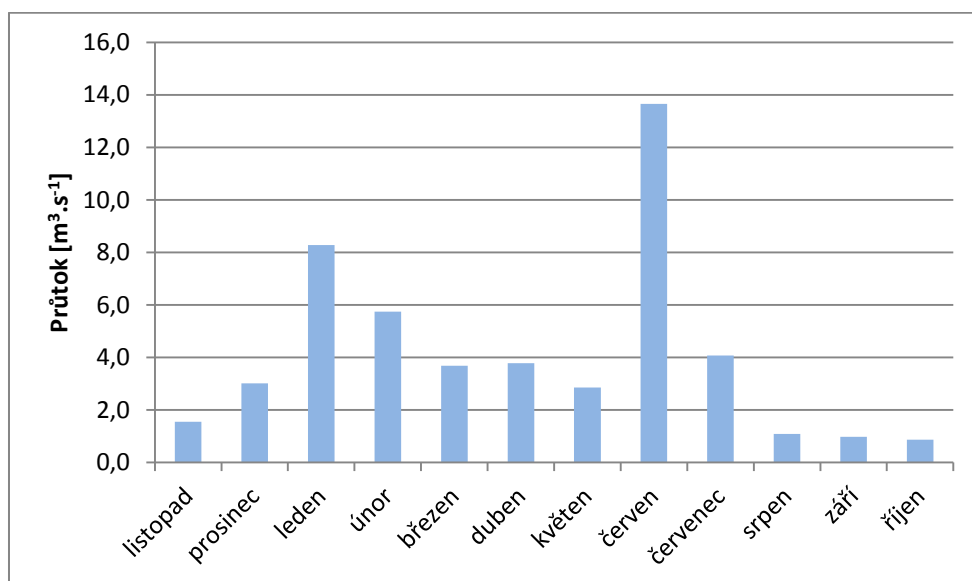
**Graf č. 16:** Průměrné měsíční průtoky za období 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI, Das Land Niederösterreich

Rozdělení průměrných měsíčních průtoků bylo sestaveno zvláště i pro rok 2013. Z grafu č. 17 je patrná výrazně větší rozkolísanost měsíčních průtoků v porovnání s dlouhodobými průměry. Dominantní postavení má měsíc červen s průtokem  $13,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Oproti normálu je nadprůměrný i červenec a naopak srpnové průtoky byly v roce 2013 méně než poloviční. Podzimní měsíce odpovídaly běžným hodnotám. Měsíc duben, který je dlouhodobě nejvodnějším měsícem, sice dosahoval přibližně průměrných hodnot okolo  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , ale v roce 2013 byl překonán nejen červnem, během kterého nastala povodeň a značně tak ovlivnila rozložení odtoku během roku, ale i lednem, únorem a červencem. Větší hodnoty v červenci byly způsobeny srážkami nad stále ještě nasyceným povodím a výrazně vyšší průtoky v lednu a únoru nejspíše způsobily zimní oblevy.

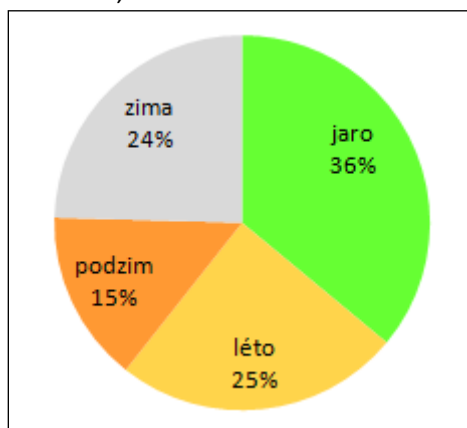
**Graf č. 17:** Průměrné měsíční průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf



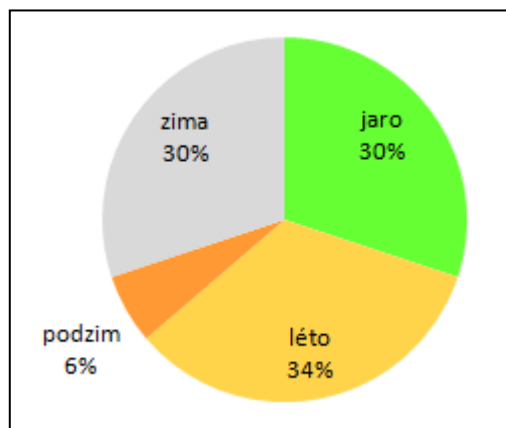
Zdroj dat: Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Odtok z povodí Lužnice byl rozdělen procentuálně do jednotlivých ročních období, aby bylo možné lépe porovnat rozložení průtoků na obou profilech. Z grafu č. 18 je zřejmé, že maximum odtoku připadá na jaro s hodnotou 36 % celkového ročního odtoku a chod odtoku tak spadá do kategorie mírně nevyrovnaný. Největší podíl má dlouhodobě měsíc duben s 13,8 % celkového ročního odtoku a je následován březnem s 12,1 %. Letní a zimní měsíce se podílí na odtoku každý jednou čtvrtinou a nejmenší podíl připadá na podzim s 15 % celkového odtoku.

**Graf č. 18:** Rozložení odtoku v ročních obdobích, období, Lužnice - Ehrendorf 1971 - 2014



**Graf č. 19:** Rozložení odtoku v ročních období Lužnice - Ehrendorf 2013



Zdroj dat: oba grafy e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

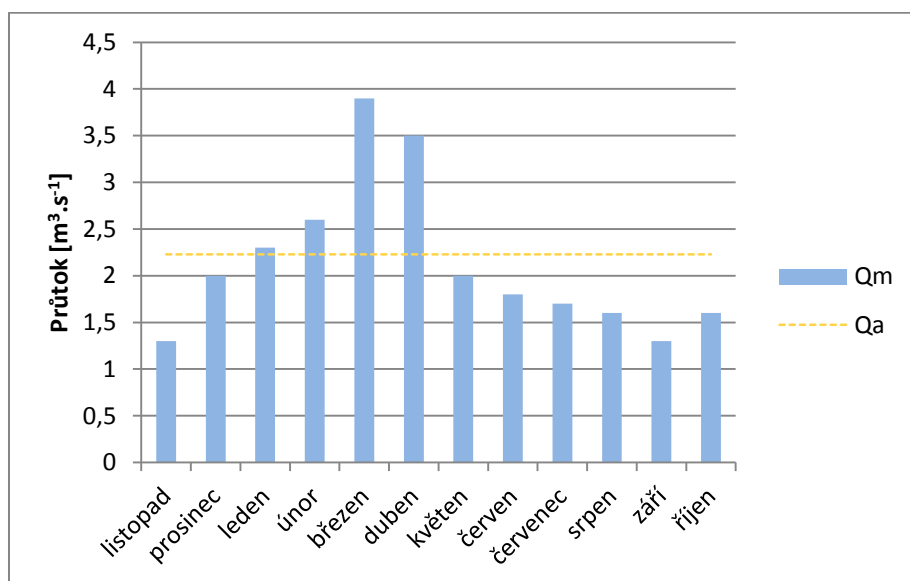
Rozložení průtoků během ročních období v roce 2013 dobře reflektuje odchylky jednotlivých měsíců a značně se tak liší od dlouhodobých průměrů. Na jaro v tomto roce připadlo 30 % ročního odtoku a maximum se vyskytuje v létě s hodnotou 34 % ročního odtoku (graf č. 19). Pokles odtoku v jarních měsících byl způsoben zejména výrazně většími průtoky v jiných obdobích. Zejména v červnu vlivem letní povodně a nezvykle vysokými průtoky v zimních měsících. Zima spolu s jarem tak s 30 % ročního odtoku v roce 2013 byly po létě druhými nejvodnějšími obdobími. Téměř veškerý odtok v roce 2013 byl rozdělen pouze do tří ročních období. Podzim se svými průtoky se příliš nelišil od normálu, ale kvůli vysokým průtokům v ostatních částech roku byl jeho podíl značně snížen na pouhých 6 % ročního odtoku.

Koeficient  $K_r$ , který vyjadřuje nevyrovnanost odtoku během roku podle podílu jednotlivých měsíců vychází pro celé sledované období 2,67 a pro rok 2013 8,35 a je tedy zřejmé, že v roce 2013 byl odtok výrazně méně vyrovnaný oproti dlouhodobému průměru.

### 6.2.2 Skřemelice

Graf č. 20 pro profil Hoheneich zobrazuje dlouhodobý chod měsíčních průtoků na Skřemelici. Stejně jako u Lužnice je v grafu zřetelná nevyrovnanost měsíčních průtoků během roku s maximem v jarních měsících. Ve srovnání s Lužnicí nastává jarní maximum s hodnotou  $3,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  již v průběhu března, tedy o měsíc dříve než na Lužnici. Duben se  $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je až druhým dlouhodobě nejvodnějším měsícem v roce. V květnu oproti předchozím jarním měsícům dochází k rychlému poklesu průtoků na  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento pokles je způsoben vyčerpáním zásob vody ze sněhové pokrývky, která již roztála během předchozích měsíců. Během následujících letních měsíců dochází k mírnému poklesu průtoků až do září, které je spolu s listopadem s průměrným průtokem  $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nejméně vodným měsícem. Měsíční průtoky začínají opět růst až v zimním období v prosinci a během zbývajících zimních měsíců mírný růst přetrvává. Nárůst průtoků v zimním období je hydrologickou odpovědí na sněhové resp. dešťové srážky, které se vlivem teploty nestanou součástí sněhové pokrývky a na oblevy během zimy. Data měsíčních průtoků, tak jako na Lužnici, nejsou zatížena extrémními událostmi, které by výrazně zkreslily měsíční chod průtoků.

**Graf č. 20:** Průměrné měsíční průtoky za období 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich



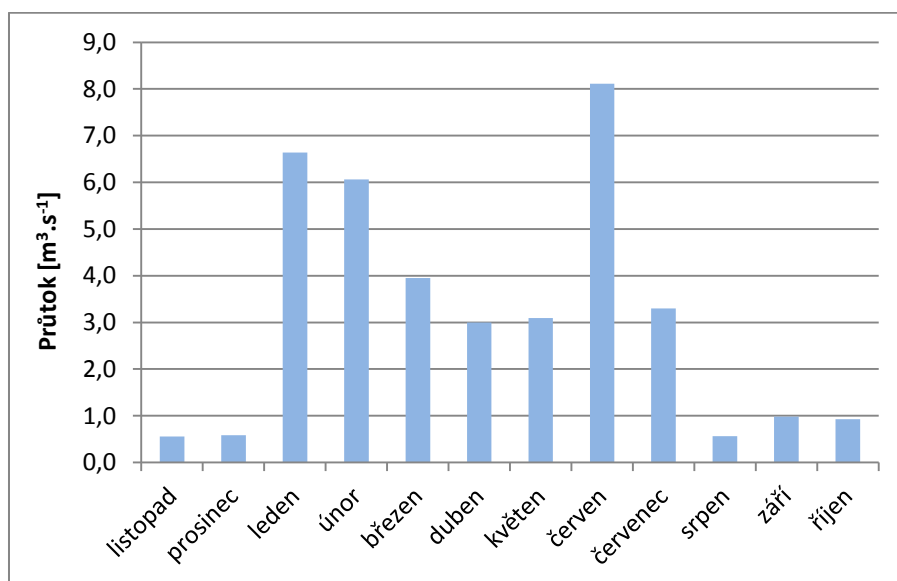
Zdroj dat: Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Měsíční chod průtoků v roce 2013 byl zejména vlivem červnové povodně značně pozměněný oproti dlouhodobému stavu a byl velmi podobný chodu měsíčních průtoků na Lužnici, jak ukazuje graf č. 21. Měsícem s maximálním průtokem  $8,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl červen, který byl ovlivněn červnovou povodní a zvýšenými průtoky během následujících srážkových událostí. Červencové průtoky dosáhly téměř dvojnásobku dlouhodobého červencového průměru a byly způsobeny jednotlivými srážkovými událostmi nad nasyceným povodím. Následující srážkově chudší období se odrazilo i na průtocích v nadcházejících měsících, během kterých průtoky dosahovaly podprůměrných hodnot.

Oproti normálu březen ani duben nebyly měsíci s maximálními průtoky, ale byly výrazně překonány průtoky lednovými a únorovými. Březen dosáhl stejné úrovně, jaké odpovídá dlouhodobý stav, duben byl jen mírně podprůměrný, ale maximální průtoky po povodněmi postiženém červnu se na Skřemelici objevily v lednu a únoru. V obou měsících přesáhly měsíční průtoky  $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a byly způsobeny nejspíše zimními oblevami a srážkami, které nesetrvávaly na zemském povrchu jako sněhová pokrývka.



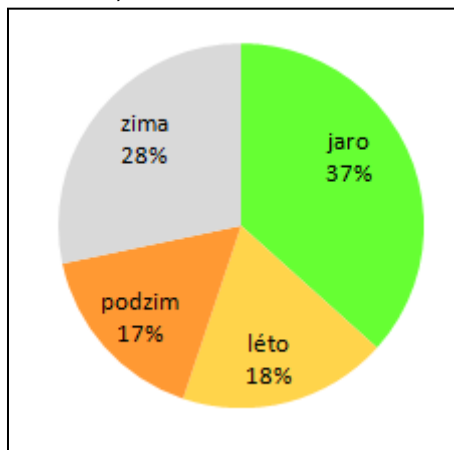
**Graf č. 21:** Průměrné měsíční průtoky v roce 2013, Skřemelice - Hoheneich



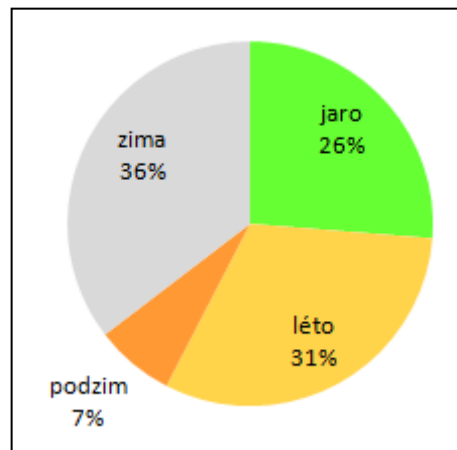
Zdroj dat: Amt der Nideroesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Podíl jednotlivých ročních období na celkovém ročním odtoku je pro celé období zobrazen na grafu č. 22. Z něho je zřejmé, že většina odtoku (37 %) připadá na jaro a stejně jako Lužnice patří mezi toky s mírně nevyrovnaným chodem odtoku. Na léto připadá 18 % odtoku, následuje podzim se 17 % a s 28 % se na odtoku podílí zima. Maximum odtoku je soustředěno stejně jako na Lužnici do jara, ale menší část odtoku připadá na léto a naopak poměrně značná část odtoku je soustředěna do zimních měsíců. Větší podíl zimy na ročním odtoku je způsoben nižší nadmořskou výškou povodí, které tak je náchylnější na odtávání sněhové příkrývky i během zimy. Nejmenší část odtoku připadá se 17 % na podzim, což je ve srovnání s Lužnicí podobná část odtoku. Nejvodnějším měsícem v roce je březen, který se na celkovém průměrném ročním odtoku podílí 15,2 %, což je více než nejvodnější měsíc duben na Lužnici. Následován je dubnem, který se podílí na odtoku 13,7 %.

**Graf č. 22:** Rozložení odtoku v ročních obdobích, obdobích, Lužnice - Ehrendorf 1971 - 2014



**Graf č. 23:** Rozložení odtoku v ročních obdobích Lužnice - Ehrendorf 2013



Zdroj dat: oba grafy e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

V roce 2013 došlo vlivem odchylek od dlouhodobých měsíčních průtoků ke změně podílu jednotlivých období na celkovém odtoku. Na jaro připadla o 11 procentních bodů menší část odtoku, na léto o 13 proc. bodů větší (graf č. 23). Nárůst byl zaznamenán i u zimních měsíců a o 10 proc. bodů poklesl podíl odtoku během podzimu. Během jarních měsíců byly měsíční průtoky celkově nadprůměrné, ale během ostatních měsíců došlo ještě k většímu nárůstu průtoků, takže celkový podíl jara byl oslaben. Největší podíl na odtoku v roce 2013 připadl na letní období kvůli velmi nadprůměrným průtokům v červnu. Oproti normálu byl značně potlačen podzim, během kterého převládaly podprůměrné měsíční průtoky. Zima měla zvýšený podíl na celkovém odtoku kvůli lednovým a únorovým průtokům, které dosahovaly více než dvojnásobné hodnoty dlouhodobých průměrů.

Hodnoty koeficientu  $K_r$  pro rok 2013 a za celé sledované období jsou 7,86 a 3,53. V roce 2013 tedy Skřemelice vykazovala menší míru nevyrovnanosti odtoku během roku, ale v dlouhodobém hledisku je její odtok více nevyrovnaný (hodnoty Lužnice jsou 8,35 a 2,67).

### 6.3 Režim ročních průtoků

Roční průtoky na tocích jsou ukazatelem, podle kterého lze dobře vyhodnotit velikost odtoku v daném roce. Velikost odtoku se mění v závislosti na množství dešťových i sněhových srážek nad povodím. Na velikosti ročních průtoků se mohou odrazit i výrazné povodňové události, které mohou

zvýšit celkový roční odtok. V následujících podkapitolách jsou prezentována data za 44, resp. 43-letou<sup>27</sup> řadu pozorování u profilů na Lužnici a Skřemelici.

Pro oba toky byly stanoveny pravděpodobnosti překročení průměrných ročních průtoků podle vzorce  $p = \frac{m-0,3}{n+0,4} * 100$  a jednotlivé roky vyhodnoceny podle vodnosti. Větší pozornost je zvláště věnována vždy nejvíce vodným rokům a roku 2013 a jejich porovnání na studovaných tocích. Méně podrobně jsou popsány roky mimořádně málo vodné.

### 6.3.1 Lužnice - Ehrenorf

Chod ročních průtoků ve sledovaném období je znázorněn na následujícím grafu č. 24, ve kterém jsou barevně odlišeny roky s rozdílnou vodností a klouzavý průměr ročních průtoků s tříletým krokem. V celém studovaném období se vyskytly celkem čtyři hydrologické roky, které spadají do kategorie mimořádně vodný rok s pravděpodobností překročení ( $p$ ) menší než 10 %. Nejvíce vodným rokem byl rok 2002 s ročním průtokem  $4,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , následován je roky 2006 a 1977 s hodnotou  $4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Čtvrtým nejvíce vodným rokem byl rok 1996 s průměrným průtokem  $4,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

V mimořádně vodných rocích 2002 a 2006 bylo z celého období zaznamenáno nejvíce dnů (17 a 16), během kterých byl dosažen nebo překročen jednoletý průtok. K vysoké míře vodnosti v těchto letech tak jednoznačně přispěly konkrétní povodňové události z jara 2006 a léta 2002. V dalším mimořádně vodném roce 1996 byl jednoletý průtok dosažen či překonán již jen během sedmi dnů, z čehož 6 připadá na měsíc květen. V celé řadě se však objevují ještě další roky s větší četností povodňových průtoků. Mimořádná vodnost v tomto roce tedy nebyla způsobena jednou konkrétní povodní, ale zvýšeným odtokem z povodí způsobeným vysokými úhrny srážek, které byly v tomto roce nadprůměrné. Zvláště deštivý byl právě květen.

Zajímavý je také mimořádně vodný rok 1977, během něhož se mezi denními průtoky nevyskytl žádný povodňový. Značná vodnost v tomto roce, který byl srážkově mírně nadprůměrný, byla způsobena vysokým odtokem v únoru a březnu ( $Q_m = 10,6$  a  $7,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Během velmi výrazného odtoku z přelomu zimy a jara nenastal ani jednou povodňový průtok, ale na vysoké úrovni setrval po dlouhou dobu. Tento stav naznačuje, že se v povodí nacházely velké zásoby sněhu, které ale odtávaly postupně. K mimořádné vodnosti roku přispěly také nadprůměrné průtoky v průběhu celého srpna s vrcholným denním průtokem  $14,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v druhé polovině srpna. Tyto byly způsobeny vysokými srážkovými úhrny během celého srpna.

---

<sup>27</sup> Z celkové řady 44 let není v grafu zobrazen hydrologický rok 1971 z důvodu chybějících dat za listopad a prosinec z kalendářního roku 1970. Podle dostupných dat byl rok 1971 na Lužnici průměrně vodným. Toto neplatí pro Skřemelici, pro kterou je řada pro hydrologický rok 1971 kompletní.

Mimořádně málo vodné roky se mezi hydrologickými roky 1971 a 2014 vyskytly také ve 4 případech, a to v letech 1984, 1990, 2000 a 2014. V roce 1984, který byl z celé řady nejsušším rokem, vypadalo o více než 100 mm srážek méně, než jsou průměrné roční srážky a rok tak patřil k srážkově chudým. Nedostatek srážek se podepsal i na průtocích, které dosahovaly průměrných hodnot pouze během dubna. Další výraznější průtoky se během roku objevily pouze dvě, a to jako hydrologické odezvy na krátkodobé srážky s velkou intenzitou. Rok 1990 také patřil mezi srážkově podprůměrné, ale nejvíce se na nízkém ročním průtoku odrazila absence jarního maxima. Toto sice nastalo, ale jeho trvání bylo pouze v řádu jednotek dní. Z těchto údajů vyplývá, že v roce 1990 se na povodí musely vyskytovat jen minimální zásoby sněhu, které roztály během několika málo dní, aniž by vyvolaly výraznou hydrologickou odezvu povodí. Po dobu letního období se průtoky ani srážky neodchylovaly od normálu. Podprůměrné průtoky byly na toku zaznamenány během podzimu a zimy.

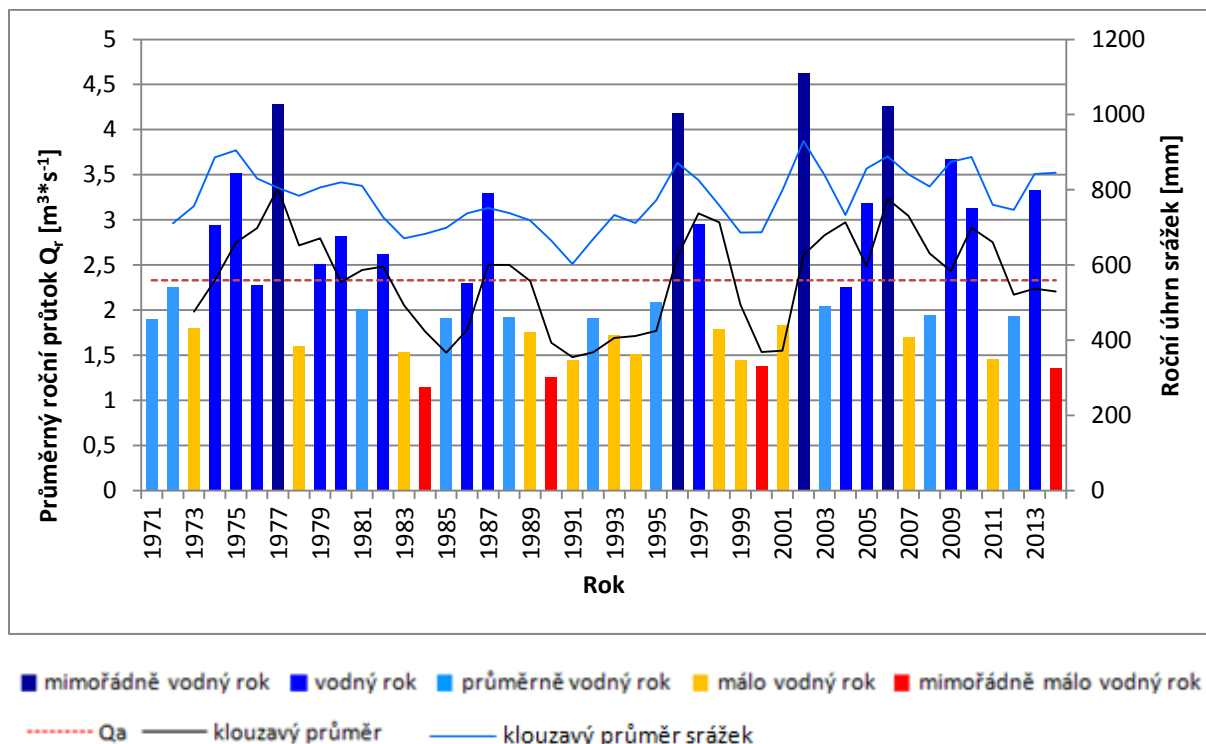
Jen mírně podprůměrné množství srážek vypadalo nad povodím v roce 2000, který byl dalším z mimořádně suchých roků. V tomto roce nastalo jarní maximum blízké dlouhodobému průměru, ale během měsíců dubna a května nad povodím vypadalo jen velmi málo srážek a průtoky se po odeznění jarního maxima rychle ocitly pod hranicí průměru. Častější srážky se nad povodím objevovaly až v průběhu letních měsíců, ale jen málo ze srážkových úhrnů dosáhlo dostatečné intenzity nebo bylo koncentrováno do více dní po sobě, aby se povodí dostatečně nasýtilo. Podobná situace panovala i v průběhu podzimu. Vzhledem k faktu, že úhrn srážek nebyl výrazně podprůměrný, je možné, že vliv na nízké průtoky mohly mít také vysoké teploty během roku. Tuto domněnku však nelze z dostupných dat ověřit.

Posledním mimořádně málo vodným rokem byl hydrologický rok 2014 uzavírající řadu průtoků s ročním průtokem  $1,36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Srážkově průměrný rok byl mimořádně suchým kvůli úplné absenci jarního maxima průtoků. V podstatě nulové zásoby sněhu na povodí nevyvolaly během jarního tání žádnou hydrologickou odezvu a zároveň nebyly vytvořeny dostatečné zásoby pro bazální odtok. Průtoky se po celou zimu držely na podprůměrné úrovni. Dva vyšší průtoky se objevily až v polovině května jako odezva na intenzivní srážky krátkého trvání. Podprůměrný odtok z povodí panoval i téměř po celé léto a naopak mírně nadprůměrných hodnot dosahoval během konce srpna a září. Během žádného ze suchých roků nebyl zaznamenán ani jeden denní průtok dosahující úroveň alespoň Q1.

Rok 2003, během něhož nastalo v celé Střední Evropě velké sucho, na Lužnici mezi mimořádně suchými roky nefiguruje, přestože srážkový úhrn patřil v tomto roce k nejmenším z celé pozorované řady. Důvodem, proč je rok 2003 průměrně vodný, je v neobvykle vysokých průtocích

panujících v průběhu listopadu a prosince 2002, které navyšují celý průměrný roční průtok. Velmi nízké průtoky se na Lužnici objevují od února 2003 po celý zbytek hydrologického roku 2003.

**Graf č. 24:** Roční průtoky 1971<sup>13</sup> - 2014, Lužnice - Ehrendorf



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Vodné roky s pravděpodobností výskytu 11 - 40 % se v celé pozorované řadě vyskytly celkem ve 14 případech a byl mezi nimi i rok 2013. Ten byl s ročním průtokem  $3,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  na Lužnici sedmým nejvodnějším rokem z celé hydrologické řady. Množstvím srážek přes 900 mm nad povodím Lužnice patřil tento rok k nejdeštivějším v celém sledovaném období. Celkem 13x byl během roku dosažen či překročen jednoletý průtok. Na vodnost roku měla zásadní vliv povodeň v létě 2013. Na vodnosti celého roku se také odrazily vysoké průtoky na počátku a na konci ledna, které nastaly jako důsledek srážek ve zmíněném období. Průtoky na začátku ledna při vrcholu přesahovaly hodnoty  $21$  a  $27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Po celé jaro až do nástupu letní povodně na počátku června převládaly na toku vlivem deštivého počasí mírně nadprůměrné průtoky. Po odeznění všech nadprůměrných průtoků, které převládaly i po celou první polovinu července se až do konce roku na Lužnici vyskytovaly průtoky mírně podprůměrné.

Z vodných roků byly vodnější než rok 2013 jen hydrologické roky 1975 a 2009. V roce 1975 se vyskytla dvě výrazná maxima, a to v prosinci 1974 a červenci 1975 s hodnotami přesahujícími  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

(prosinec) a  $23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (červenec). Jarní maximum absentuje a průtoky se v době jeho běžného výskytu pohybovaly okolo hodnoty  $Q_a$ . V prosinci velmi neobvykle vysoké průtoky byly vyvolány vysokými úhrny srážek (přes 200 mm během celého prosince). Vzhledem k velmi prudkému nárůstu průtoku a roční době je možné, že srážky začaly vypadávat na zmrzlou půdu a rychle se staly součástí povrchového odtoku. Tuto hypotézu však nelze ověřit. Naopak doložitelné je, že na odtok neměla vliv sněhová pokrývka. Tato se na povodí před vypadáváním dešťových srážek nevyskytovala a vysoký odtok byl vyvolán pouze srážkami nad povodím. Průtoky výrazně přesahující průměrné hodnoty přetrvávaly po celý červenec, který byl srážkově velmi bohatý.

Celkově pátým nejvodnějším rokem byl s průtokem  $3,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  rok 2009, během kterého bylo 14x dosaženo denních průtoků rovných nebo větších než jednoletý průtok. S tímto počtem je v pořadí třetím rokem s největší četností výskytu povodňových průtoků. Velká vodnost roku byla způsobena neobvykle vysokým jarním maximem při vrcholu dosahujícího hodnoty více než  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , které bylo výsledkem tání velkého množství sněhu (v nejvyšších polohách povodí byla ještě na konci března více než 1 m mocná sněhová pokrývka). Roční průtok také byl navýšen povodňovými průtoky (s maximem  $Q_d = 29,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) v druhé polovině června a první polovině července. Tyto ve zmíněném období způsobily vysoké srážkové úhrny, které byly často konvektivního charakteru. Srážkově patřil rok 2009 ve sledovaném období k nejdeštivějším.

Charakter změn ročních vodností za celé období lze vystihnout pomocí čáry klouzavých průměrů. Tato byla sestrojena v časovém kroku tří let. Z klouzavého průměru lze vyčíst, že mezi roky 1971 a 2014 se objevily 4 nadprůměrně vodné periody, z toho jedna jen mírně nadprůměrná. První se objevila v druhé polovině 70. let 20. st., druhá málo výrazná v druhé polovině 80. let, třetí s kratším trváním v polovině 90. let a čtvrtá s nejdelším trváním mezi roky 2002 a 2012. Období s nižšími průtoky se objevují na počátku sledovaného období, v první polovině 80. let, nejdelší suchá perioda se vyskytovala na Lužnici od konce 80. let až do poloviny let 90. Další málo vodné období bylo zaznamenáno ve druhé pol. 90. let. Zatím poslední méně vodná perioda se objevuje po roce 2011, v níž je sice i vodný rok 2013, který je však obklopen roky s menší vodností. Z čáry klouzavého průměru sledovaného období vyplývá, že na odtok bohaté periody se na Lužnici objevují přibližně v desetiletém intervalu střídání málo vodnými periodami. Toto platí ve studovaném období, ale aby tvrzení bylo jednoznačně prokazatelné a zároveň bylo možné odhadnout případný budoucí vývoj, byla by potřebná delší řada průtoků.

### 6.3.2 Skřemelice - Hoheneich

Chod ročních průtoků pro Skřemelici je vyobrazen na grafu č. 25 se stejnými prvky jako graf pro Lužnici. V hodnocení ročních průtoků na Skřemelici nejsou objasňovány příčiny odchylek

vodnosti, jako tomu je u vyhodnocení ročních průtoků Lužnice, pokud se tyto objevily ve stejný rok. Autor předpokládá, že rovnocenné odchylky ve stejných letech jsou stejného původu. Podrobněji jsou vyhodnoceny pouze výrazné odchylky, které byly zaznamenány v jiných letech než na Lužnici.

Mimořádně vodné roky se na Skřemelici během 44 pozorovaných let vyskytly celkem 5x, což je o jeden více než na Lužnici. Roky 1996, 2002 a 2006 jsou shodné s Lužnicí. Dalšími velmi vodnými obdobími byly roky 1980 a 1987. Rok 1977, na Lužnici spadající do kategorie mimořádně vodný, byl na Skřemelici jen vodný. Velký odtok v roce 1980 s hodnotou  $Q_r = 3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  byl způsoben nadprůměrným odtokem v průběhu zimy a dalšími dvěma maximy odtoku na jaře a v létě. Vysoký odtok nastal na začátku prosince, kdy napadl sníh, ale až 30<sup>28</sup> cm vysoká sněhová pokrývka rychle odtávala. Delší období nadprůměrných průtoků bylo zaznamenáno i v lednu a únoru, kdy se během několika dnů opět utvořila až 30 cm sněhová pokrývka, která během několika dní roztála. Březen kvůli sněhu roztátému již v předchozím měsíci byl mírně podprůměrný a značně nadprůměrný byl svým odtokem celý duben. Nadprůměrný odtok v dubnu i počátku května způsobily zvýšené úhrny srážek nad povodím. Nadprůměrně vodným obdobím byla třetí dekáda července, během které byl dosažen i jednoletý průtok. Tento byl výsledkem vyššího úhrnu srážek ze dne 20. 7. 1980, které vypadaly na předchozími srážkami nasycené povodí.

V roce 1987 dosáhl roční průtok úrovně  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , což je více než v roce 2002. Rok byl srážkově nadprůměrný, ale během sledovaného období se vyskytovalo více let s ještě většími srážkovými úhrny a přesto nenastal tak velký odtok. Jednoletý denní průtok byl v roce 1987 naměřen celkem 3x, a to na konci března v po sobě následujících dnech. Takto vysoký roční průtok byl způsoben oblevami na začátku a v průběhu února a v prvních březnových dnech. Později v první polovině března se utvořila přes 40 cm silná sněhová pokrývka, která roztála během třetí březnové dekády a odtok z povodí tak byl oproti normálu značně navýšen. Vysoké průtoky také převažovaly v průběhu deštivého června a července.

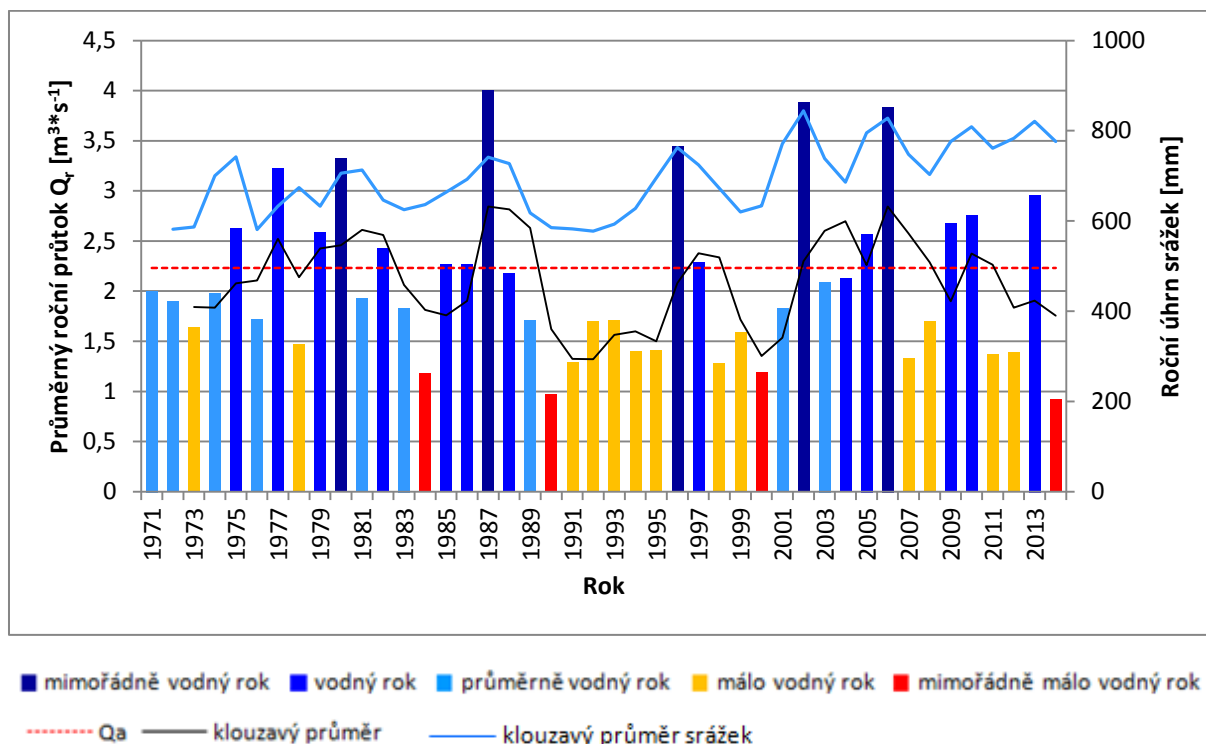
Suché roky na Skřemelici odpovídají mimořádně málo vodným rokům na Lužnici. Roky průměrně vodné se na Skřemelici objevují 9x, z nichž se 66 % vyskytlo během prvních 12 pozorovaných let, a na zbývajících 32 let připadají průměrně vodné roky jen tři. V posledních 30 letech se tak na Skřemelici objevují převážně roky odchylující se od normálu. Lužnice v porovnání se Skřemelicí má ve sledované řadě podobný počet průměrně vodných roků, ale tyto jsou rovnoměrně rozloženy v celém hodnoceném období.

---

<sup>28</sup> Údaje o výšce sněhové pokrývky v celé kapitole „Skřemelice - Hoheneich“ pocházejí ze stanice Altmanns nacházející se ve střední části povodí. Lze předpokládat, že ve vyšší části byla výška sněhové pokrývky větších hodnot.

Čára klouzavého průměru s tříletým krokem vykazuje velmi podobnou periodicitu výkyvů jako klouzavé průměry na Lužnici. Období vodných i málo vodných period si na obou tocích odpovídají. Více vodné periody na Lužnici, kromě druhé pol. 80. let, se vyznačují větší odchylkou od normálu a na odtok bohatá období jsou vodnější než na Skřemelici. Toto platí přesto, že mimořádně vodných roků bylo na Skřemelici více. Na Lužnici je však více vodných roků, které klouzavý průměr nestahují dolů jako málo vodné roky, jichž bylo více na Skřemelici.

**Graf č. 25:** Roční průtoky 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

## 7. Povodňový režim Lužnice a Skřemelice

Povodňovému režimu Lužnice se ve svých pracích podrobně věnovali např. Vlasák (2007, 2006) nebo Svoboda (2011). Závěry autorů jsou, že menší povodně s průtokem Q1 až Q2 se na Pilaři objevují více v zimní polovině hydrologického roku (listopad - duben) a povodně s periodou opakování 5 a více let se až na výjimky vyskytují v letním půlroce, zejména v letních měsících (Vlasák, Svoboda in Pithart, Dostál a kol 2012).

V této práci byly vyhodnoceny a porovnány povodňové režimy horní Lužnice a Skřemelice před jejich soutokem. Nejdříve byla vyhodnocena období výskytu všech průtoků přesahujících hodnotu jednoleté vody a hodnotu dvouleté vody. Vyhodnoceny byly četnosti výskytu povodní



v rámci celé sledované řady a dále období jejich výskytu. Pozornost je věnována i průtokům přesahující Q5, jež nastaly jen v malém počtu případů. Při interpretaci výsledků je třeba pamatovat na fakt, že zpracována byla pouze data denních průtoků. Tímto dochází ke zkreslení závěrů kvůli podhodnoceným údajům, nemožnosti identifikace kulminačních průtoků nebo k nemožnosti odhalení případných krátce trvajících povodňových událostí z přívalových dešťů. Na závěr byly zjištěné výsledky porovnány se zjištěními zmiňovaných autorů a rozhodnuto, zda některá z oblastí hlavních zdrojnic Lužnice má zásadní vliv na formování povodňových průtoků.

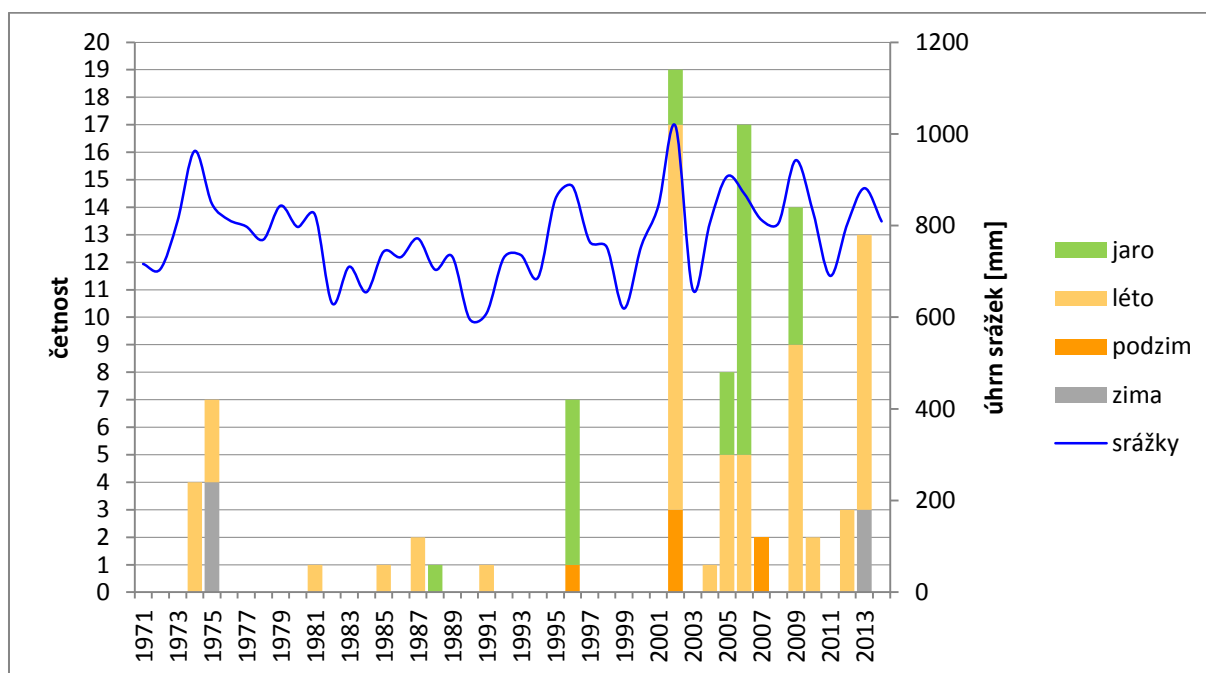
## 7.1 Lužnice - Ehrendorf

Všechny denní průtoky, které v jednotlivých letech dosáhly či přesáhly na Profilu Ehrendorf hodnotu jednoletého průtoky  $Q1 = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , jsou zaneseny v grafu č. 26 a v tomto jsou také rozlišeny roční období, během kterého se jednoleté denní průtoky objevily. Celkem byl Q1 na Lužnici dosažen či překonán ve 103 případech. Absolutní počty jednoletých průtoků v jednotlivých obdobích přehledně udává graf č. 27.

Z grafu č. 26 vyplývá, že nejvíce dnů s povodňovými průtoky se na Lužnici vyskytlo v letech 2002, 2006, 2009 a 2013 s počty 19; 17; 14 a 13 dní s povodňovým průtokem. Je zřejmé, že počet dní s povodňovými průtoky velmi výrazně narostl od roku 2002, což potvrzuje trend publikovaný již v řadě prací. Od roku 2002 (včetně) se na profilu Ehrendorf vyskytlo 77 % všech dní s povodňovým průtokem ve sledovaném období.

Z let, během kterých se vyskytlo více než 5 dní s povodňovým denním průtokem, byly v celém období dva z nich zároveň i roky mimořádně vodnými. Zbylé tři byly roky vodnými. Během mimořádně málo vodných let se v pozorované řadě neobjevil žádný povodňový průtok a během roků málo vodných došlo k výskytu alespoň jednoho povodňového průtoky pouze v letech 1991 a 2007. Zvýšený resp. nulový počet dní s povodňovými průtoky tak má vliv na celkovou vodnost toku během roku.

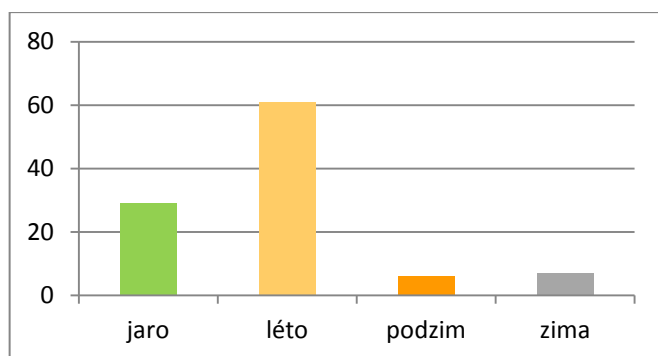
**Graf č. 26:** Četnost povodňových průtoků a jejich sezonalita, 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Z grafu absolutních počtů všech povodňových průtoků rozdělených do ročních období dle data výskytu jednoznačně vyplývá převažující výskyt povodňových průtoků v letních měsících. Druhé období s nejčastějším výskytem je jaro, během kterého se však na Lužnici vyskytne necelá polovina povodňových průtoků. Zimní a podzimní povodně se vyskytují minimálně.

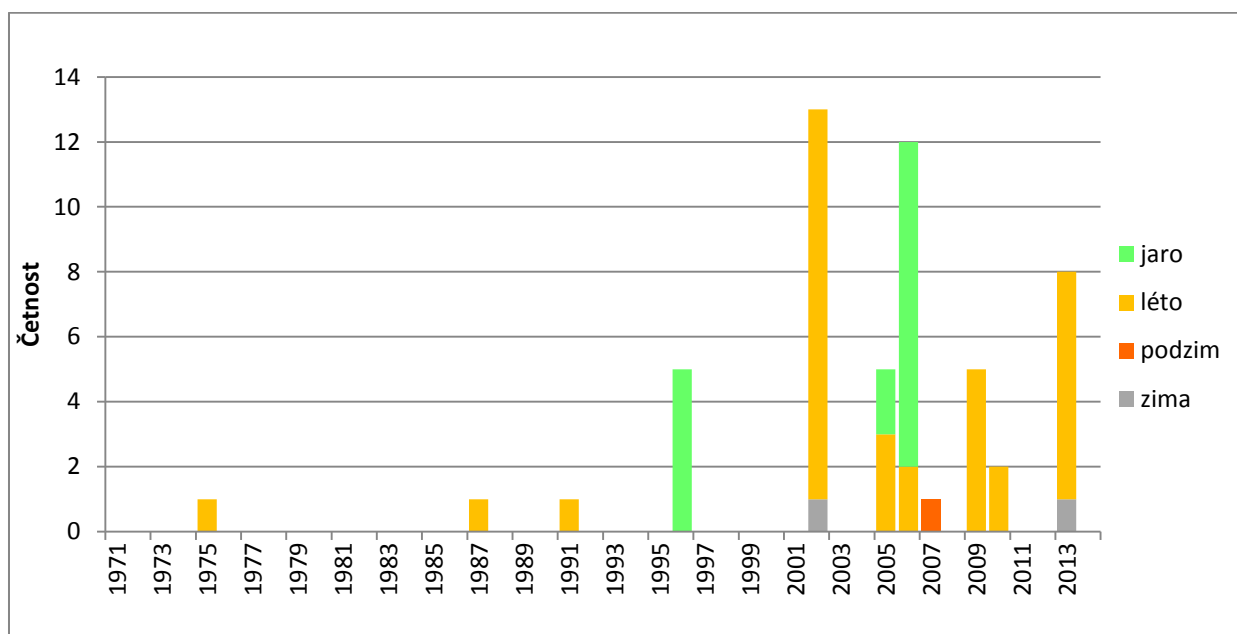
**Graf č. 27:** Četnost povodňových průtoků v ročních obdobích



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Z analýzy výskytu denních průtoků rovných a větších než úroveň dvouleté vody  $Q_2 = 22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ve sledovaném období na Lužnici jednoznačně vyplývá, že průtoky s delší periodou opakování se objevují v posledních přibližně 15 letech mnohem častěji a ve větším počtu dní než v předcházejících částech sledovaného období (viz graf 28). Stejný trend na Lužnici platí i pro průtoky jednoleté. Těch se pouze od roku 2002 vyskytlo 32, což činí 68 % všech výskytů. U dnů, během kterých bylo dosaženo denních průtoků s ještě menší dobou opakování ( $Q_5 = 35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  až  $Q_{100} = 110 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) je trend nárůstu extremity povodní v posledních letech ještě markantnější. Celkem se na Lužnici vyskytlo 11 pětiletých průtoků, 2 desetileté a 1 stoletý. Z toho polovina všech byla zaznamenána během srpnových dní v roce 2002. Ze zbývajících dní s výskytem vysokých průtoků se pouze dva objevily před rokem 2002, a sice v srpnu roku 1987 a v květnu 1996.

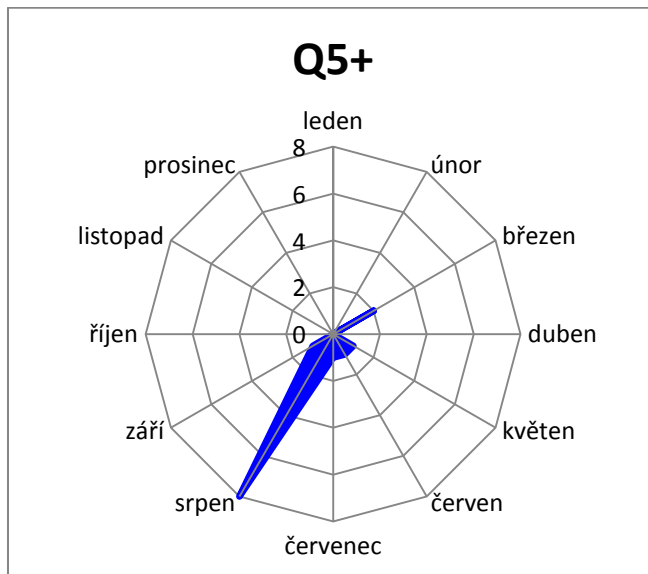
**Graf č. 28:** Výskyt povodňových rovných a větších než  $Q_2$ , 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Výskyt povodňových průtoků během jednotlivých měsíců ukazuje, že povodně s dlouhou periodou opakování se na Lužnici vyskytují téměř výhradně v letní polovině hydrologického roku (viz graf 29). Pouze dvakrát se na Lužnici objevil pětiletý průtok v době jarního tání v březnu 2006. Jarní tání na Lužnici tedy běžně výrazný nárůst průtoků nezpůsobuje a oblevy v průběhu zimy taktéž ne. U největších dosažených průtoků alespoň s desetiletou periodou opakování platí letní výskyt bez výhrad. Tyto však byly dosaženy pouze během srpnové povodně 2002.

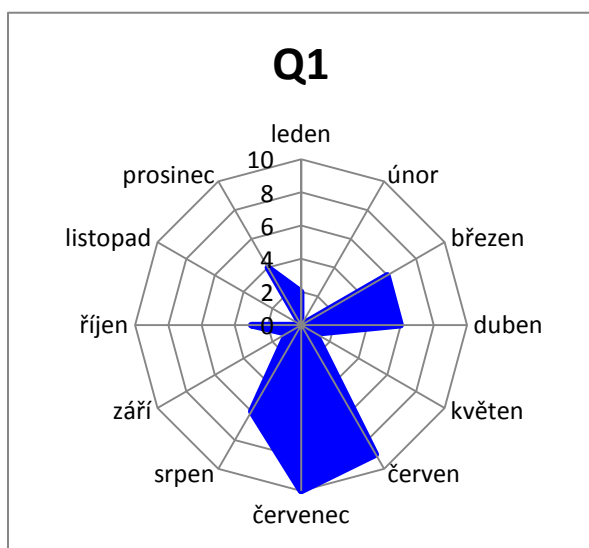
**Graf č. 29:** Sezónní výskyt pětiletých a vyšších průtoků



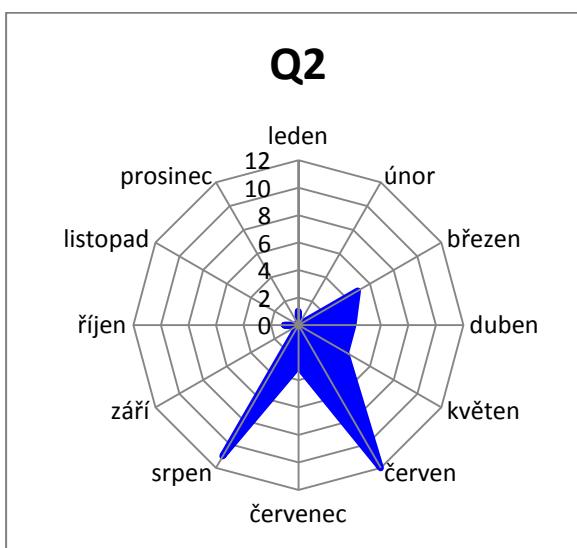
*Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI*

Jednoleté vody byly zaznamenány kromě února a listopadu ve všech měsících. Nejvíce se jich objevuje během června (9), července (10) a srpna (6) a i zde je zřejmá koncentrace do letních měsíců. Následují jarní měsíce březen a duben, během kterých se během 44 sledovaných let vyskytlo shodně 6 dnů s jednoletým průtokem. Mezi jednoletými průtoky se objevují i dny v průběhu prosince a ledna, které svědčí o výskytu zvýšených průtoků v zimním období způsobených oblevami. Průtoky s dobou opakování dva roky jsou již výrazněji koncentrovány do letního období. Vyskytují se i době tání v březnu a dubnu, ale již ne v takovém počtu jako průtoky jednoleté. Zimní oblevy také jen velmi zřídka způsobí denní průtok na úrovni Q2. Výskyt dní s jednoletými a dvouletými průtoky jsou zachyceny na grafech 30 a 31.

**Graf č. 30:** Sezonalita jednoletých povodní



**Graf č. 31:** Sezonalita dvouletých povodní



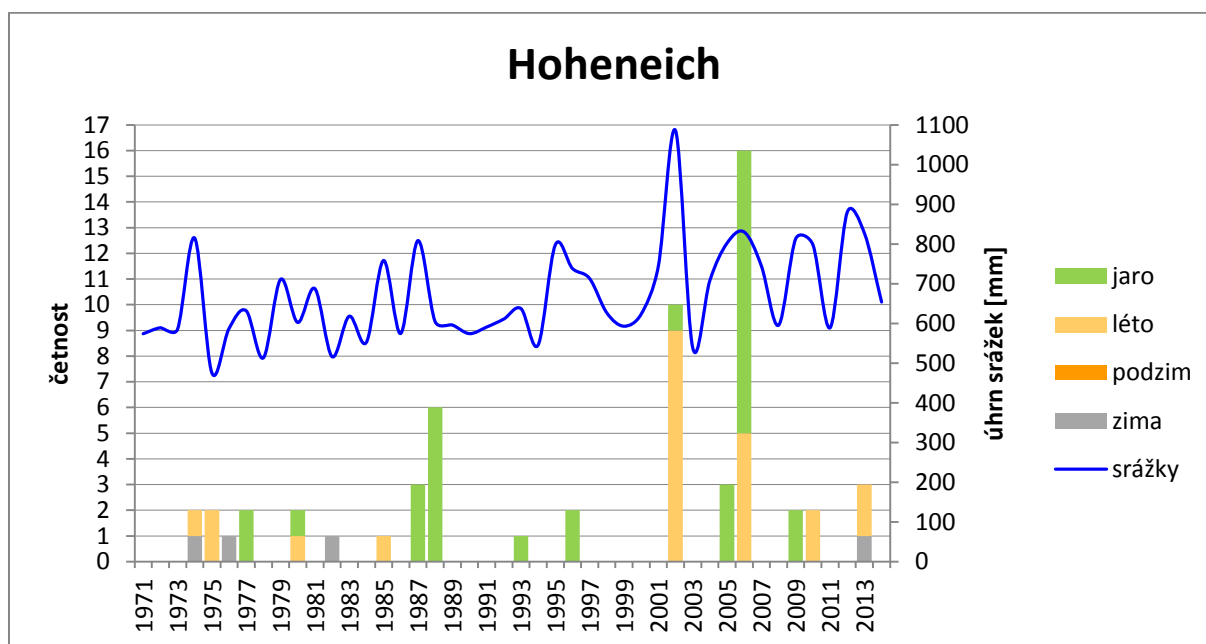
Zdroj dat: oba grafy e-HYD, PVI, Amt der NÖ

Landesregierung

## 7.2 Skřemelice - Hoheneich

Do stejného grafu četností a období výskytu povodní byly taktéž vyneseny všechny průtoky větších nebo rovných jednoletému průtoku na profilu Hoheneich, který se rovná  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , aby mohl být zhodnocen výskyt všech povodní. Z grafu č. 32 je patrné, že se ve sledovaném období na Skřemelici vyskytuje celkově menší počet dní s povodňovými průtoky (celkem 59) a zároveň ani počet povodňových dní během jednotlivých let nedosahuje takových hodnot jako na Lužnici. Dále je z grafu zřejmé, že na Skřemelici se ve studované řadě neobjevuje tak výrazný nárůst počtu dní s alespoň jednoletým průtokem. V profilu Hoheneich se povodňové průtoky vyskytují rovnoměrněji rozložené v celém období a roky, které se výrazně odchyľují, jsou pouze dva - 2002 a 2006, oba však s menším počtem dní s povodňovým průtokem než na Lužnici. Také na Skřemelici koresponduje zvýšená vodnost roků s četností výskytu povodňových průtoků a naopak.

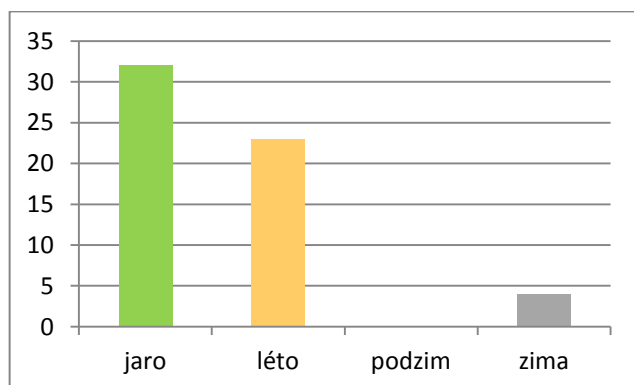
**Graf č. 32:** Četnost povodňových průtoků a jejich sezonalita, 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Sezónní rozložení počtu dní s povodňovými průtoky se od Lužnice liší. Největší počet dní s povodňovým průtokem se vyskytuje v jarních měsících a léto je s počtem povodňových průtoků až na druhém místě (graf č. 33). Rozdíl mezi oběma obdobími však není tak výrazný jako na Lužnici a jaro počtem povodňových dní překonává letní měsíce jen přibližně o třetinu. Za celé období se během podzimu nevyskytl žádný denní průtok rovný či větší Q1 a počet zimních povodní je minimální. Z grafu tak vyplývá, že pro Skřemelici ve sledovaném období je mírně převažující výskyt jarních povodní z tání sněhu.

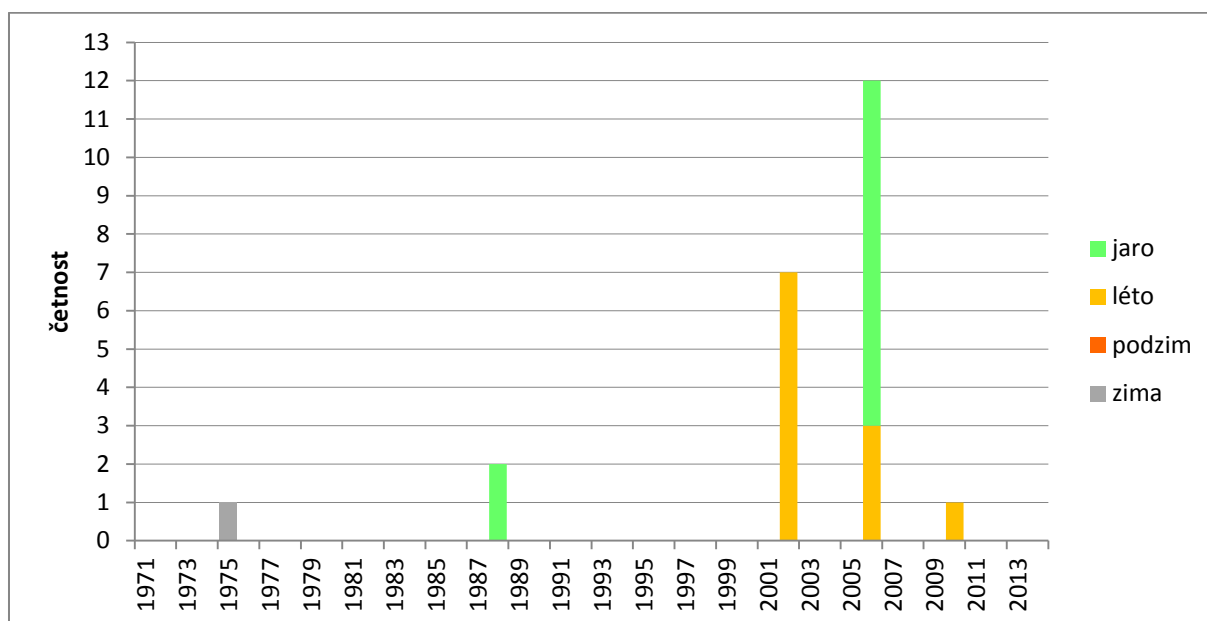
**Graf č. 33:** Četnost povodňových průtoků v ročních obdobích



Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Denní průtoky s alespoň dvouletou periodou opakování  $Q_2 = 27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se vyskytly celkem 23x a to z většiny v letech 2002 a 2006. Tyto jsou zobrazeny na následujícím grafu č. 34. Na Skřemelici u těchto větších průtoků není tak výrazná koncentrace do posledních 15 let, tak jako je tomu u Lužnice. Roky s výskytem alespoň  $Q_2$  jsou v celém období oproti Lužnici rozloženy rovnoměrněji a je jich o více než polovinu méně. Počet dní s průtokem  $Q_2$  a větším je výrazně navýšen pouze v letech 2006 a 2002, které byly velmi zatíženy povodněmi. Jednoleté průtoky se vyskytují v celém období rozloženy relativně rovnoměrně a není u nich zřetelný nárůst koncentrace v posledních letech. Od roku 2002 se na Skřemelici vyskytlo jen 16 % jednoletých průtoků z celého sledovaného období oproti 68 % na Lužnici. Samotnou četností  $Q_1$  v průběhu roku je odchýlen pouze rok 2006 s 13 dny s jednoletým průtokem.

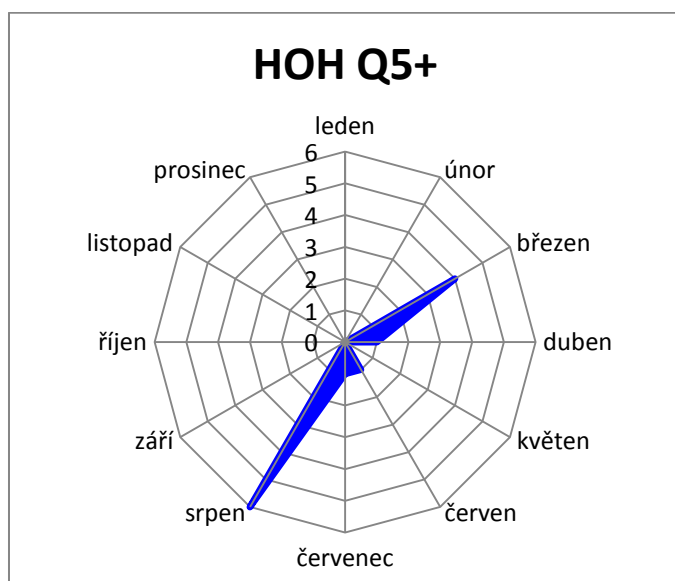
**Graf č. 34:** Výskyt povodňových rovných a větších než  $Q_2$ , 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich



*Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI*

Denní průtoky na úrovni alespoň  $Q_5$  se na Skřemelici vyskytly mezi lety 1971 a 2014 celkem 13x, z čehož 7 v roce 2002 a 6 v roce 2006. Extrémní průtoky na Skřemelici nejsou tolik koncentrovány do jedné části roku jako na Lužnici, ale do dvou období, přičemž kromě letních měsíců se s větší pravděpodobností mohou největší průtoky objevit i v době jarního tání (viz graf 35). Na základě těchto zjištění lze pro sledované období dojít k závěru, že na Skřemelici nestoupá počet dní s povodňovým průtokem tak výrazně jako na Lužnici, ale častěji se v poslední třetině sledovaného období vyskytují extrémnější průtoky s delší dobou opakování.

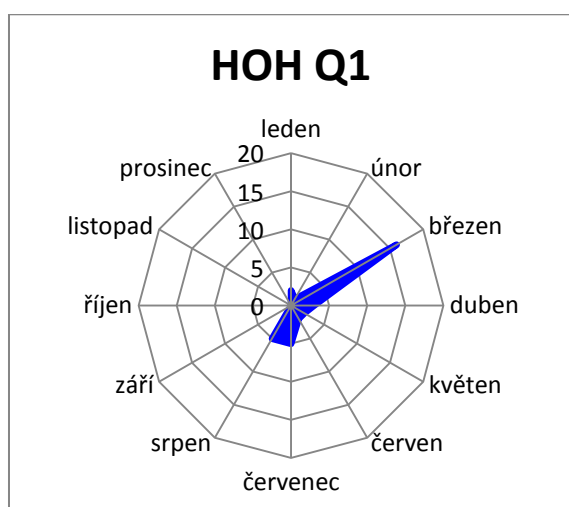
**Graf č. 35:** Sezonalita pětiletých a větších povodní



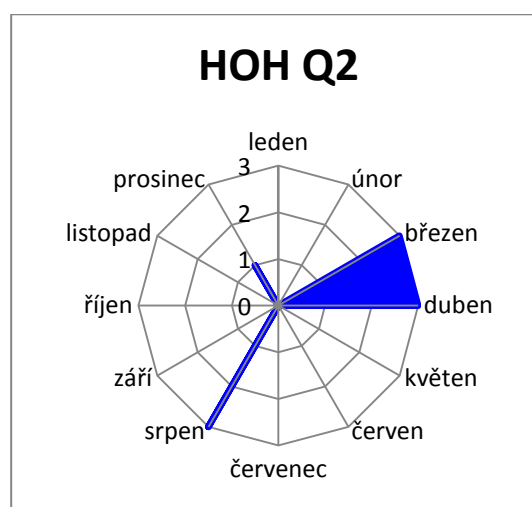
Zdroj dat: e-HYD, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation, PVI

Průtoky jednoleté vody nebyly na Skřemelici mezi lety 1971 a 2014 nikdy zaznamenány v době od září do prosince včetně. Občasný výskyt v ostatních měsících je zřejmý z grafu č. 36 a velmi výrazně převládá výskyt jednoletých vod v březnu se 16 dny s Q1. Dny s výskytem dvouletých průtoků jsou vyneseny na grafu č. 37, ze kterého je zřejmý nejčastější výskyt v době tání sněhu. Jednou byl zaznamenán Q2 v prosinci a 3x během srpna. Dvouleté vody se tedy vyskytují nejvíce při jarním tání, ale tyto větší průtoky můžeme zaznamenat i během léta a jarní výskyt není tolik převažující jako u jednoletých průtoků.

**Graf č. 36:** Sezonalita jednoletých povodní



**Graf č. 37:** Sezonalita dvouletých povodní



Zdroj dat: oba grafy e-HYD, PVI, Amt der NÖ Landesregierung



## 8. Povodeň 2013

Na přelomu května a června 2013 zasáhly Střední Evropu intenzivní srážky, které následně způsobily rozsáhlé povodně. Celý květen ve středoevropském prostoru patřil k srážkově nadprůměrně bohatým měsícům, čímž došlo k nasycení povodí a tím tak k ideálním podmínkám pro vznik povodní. Extrémní srážky na konci května a na počátku června 2013 způsobily rozvodnění toků v Česku, Německu, Rakousku, Slovensku, Polsku a Švýcarsku. Následně byly částečně zasaženy země, do kterých dorazily povodňové průtoky způsobené srážkami ve Střední Evropě. Jednalo se zejména o země ležící na Dunaji - Maďarsko, Chorvatsko a Srbsko (Wikipedia 2015). Na území Česka bylo povodněmi zasaženo zejména povodí Labe a to hlavně po srážkové epizodě 1. - 2.6.2013. Došlo k rozvodnění jak menších toků, tak řek a na řadě profilů byly zaznamenány hodnoty průtoku přesahující Q100 (ČHMÚ 2013).

### 8.1 Meteorologická situace

Povodním v červnu 2013 předcházely srážkově velmi bohatý květen. Během tohoto měsíce se nasýtila povodí a následné extrémní úhrny srážek na konci měsíce vedly k rychlému rozvodnění toků. Vydatné srážky se vyskytly celkem ve třech vlnách. První srážková epizoda nastala mezi 30.5.2013 a 3.6.2013, druhá 10.6.2013 a třetí mezi 22.6.2013 a 25.6.2013<sup>29</sup>. Jednotlivé srážkové epizody jsou spolu se srážkovými úhrny popsány v následujících podkapitolách. Grafy 38 a 39 zobrazující denní úhrny srážek spolu s hydrologickou odpovědí na příčinné srážky v jednotlivých profilech jsou v kapitole 8.2.

Květen i červen 2013 ve sledovaných povodích byly srážkově velmi nadprůměrné. Na povodí Lužnice po profil Ehrendorf dosáhl v květnu úhrn srážek 135 mm, což činí 167 % normálu<sup>30</sup>. Přibližně 26 % z celkového květnového úhrnu srážek vypadlo pouze během posledních dvou květnových dnů. I bez těchto dvou srážkově významných dnů zůstává květen 2013 srážkově nadprůměrný. Červen, který je z dlouhodobého hlediska po červenci srážkově nejbohatším měsícem, byl úhrnem srážek ještě bohatší. Celkově nad povodím po závěrový profil vypadlo 208 mm srážek, což je více než 200 % normálu. Většina srážek vypadla mezi 1. - 4. červnem 2013 a jednalo se tak o jednu výraznou srážkovou epizodu, která začala 30.5.2013.

Velmi podobná situace byla i na povodí Skřemelice se závěrovým profilem Hoheneich, kde však srážky dosáhly ještě větší relativní extremity. V červnu vypadlo na povodí Skřemelice sice méně srážek než nad povodím Lužnice, ale výrazněji se odchylovaly od normálu. V květnu vypadlo srážek dokonce ještě více než nad povodím Lužnice, které je z dlouhodobého pohledu srážkově bohatší.

<sup>29</sup> Uvedená data platí pro povodí horní Lužnice, na jiných povodích na území Česka se mohou rozmezí dat s výskytem vydatných srážek lišit o jednotky dnů.

<sup>30</sup> Normál byl stanoven u obou povodí z dat srážkoměrných stanic z let 1981 - 2012. Toto rozmezí bylo zvoleno, protože v tomto období jsou dostupná data ze všech srážkoměrných stanic nacházejících se v povodí.

Květnové srážky měly úhrn 143 mm a červnové 180. V obou měsících tak tvořil úhrn srážek více než 200 % normálu.

### **8.1.1 První srážková epizoda 30.5.2013 - 3.6.2013**

Nejvýraznější plošným rozsahem i extremitou byla první srážková epizoda způsobená cyklonální činností nad Střední Evropou a ze všech tří srážkových epizod způsobila nejvýraznější odtokovou odezvu. Tyto regionální srážky zasáhly najednou celé povodí Lužnice, přičemž největší úhrny zasáhly dolní část povodí, kde byly zesíleny konvektivními srážkami. Srážky přinesla nad oblast Střední Evropy tlaková níže, která se utvořila nad západním a centrálním Středomořím. Níže poté postupovala ve směru výškového proudění do vnitrozemí. Níže během postupu nabírala množství vlhkého středomořského vzduchu. Nad pevninou zároveň neustále regenerovala díky přílivu studeného vzduchu od severu a severozápadu do týlu níže (ČHMÚ 2013). Dění v atmosféře zapříčinilo velmi chladný závěr května s bohatou oblačností a četnými srážkami. Na konci května se nad Evropou držela rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu, jejíž střed se nacházel nad Švýcarskem, JV Francií a nad Itálií (ČHMÚ 2013). Postup níže byl v centrální Evropě blokován tlakovými výšemi nad severní a severovýchodní Evropou, které způsobily retrográdní postup níže k západu až severozápadu. Z jihozápadu na níže ještě působil výběžek Azorské výše a níže tak setrvala nad centrální Evropou po několik dní. Tato situace je typickým případem mechanismu vzniku letních povodní z cyklonálních srážek ve Střední Evropě.

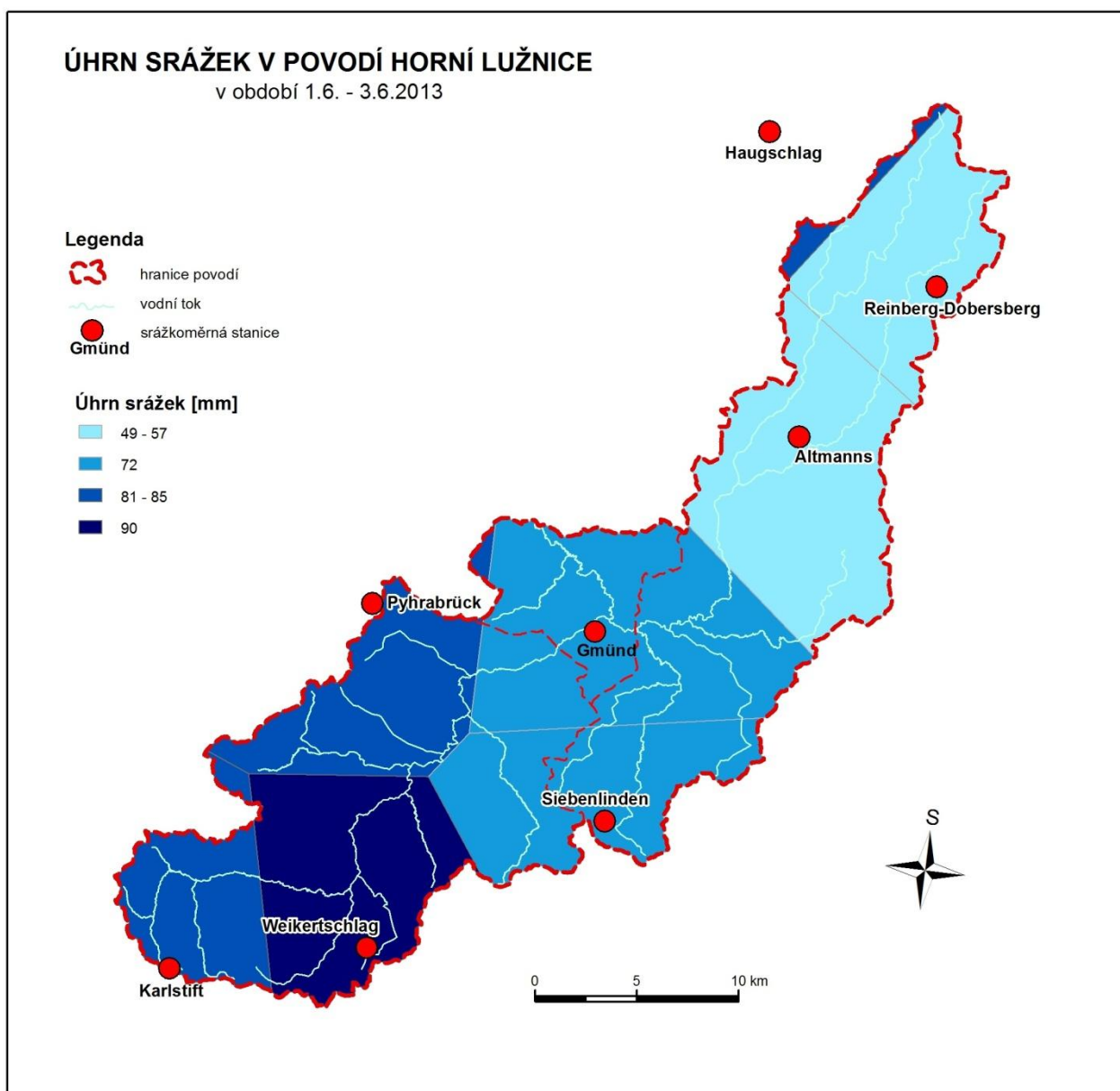
Výraznější srážky nad územím Česka vyskytly již 29. května a nejvyšší úhrny dosahovaly hodnoty 30 mm. Nad zájmovou oblastí se však silnější srážky objevily až 30. května. Nad povodím Lužnice po profil Ehrendorf spadlo během tohoto dne průměrně 19 mm srážek a nad povodím Skřemelice 20 mm. Poslední květnový den došlo oproti 30. květnu k mírnému poklesu úhrnu srážek na Lužnici na 15 mm na povodí Skřemelice z 20 mm na 10 mm. Dle dílčí zprávy ČHMÚ objasňující meteorologické příčiny povodní v červnu 2013 byl na území Čech 30. květen nejdeštivějším květnovým dnem. Tento den však byl v zájmové oblasti až druhým nejdeštivějším květnovým dnem. Na povodí Lužnice i Skřemelice byl deštivější 2. květen 2013. Srážky byly extrémní zejména v povodí Skřemelice, kde za tento den napršelo přes 50 mm. Prostorové rozložení intenzity srážek bylo velmi nerovnoměrné (nad povodím Lužnice dosáhly srážky jen poloviny nebo i méně než třetiny hodnoty úhrnu nad Skřemelicí). Velké srážky se objevily pouze během jednoho dne. Během předcházejících i následujících dní se vyskytovaly jen minimální úhrny srážek. Tento stav napovídá tomu, že silné úhrny ze dne 2.5.2013 byly pravděpodobně způsobené přívalovými dešti z bouřkové činnosti.

Cirkulace z konce května pokračovala i začátkem června - střed mohutné níže postupoval z JZ Evropy na severovýchod, ale výraznější postup byl blokován výšemi na severovýchodě. Příčinou

intenzivních srážek na počátku června bylo vytvoření níže na frontální vlně východně od našeho území, která postupovala k západu (ČHMÚ 2013). Tato byla nad Střední Evropou zablokována okolními výšemi a setrvala na místě. Srážky nad povodím horní Lužnice dosáhly dne 1.6.2013 průměrné hodnoty 46 mm a jednalo se o největší denní úhrn za celý květen i červen. Tyto srážky byly rozhodující pro velikost povodňových průtoků na Lužnici. Ve dvou předchozích a dvou následujících dní srážky nad Lužnicí dosahovaly denního úhrnu 15 - 20,6 mm. Srážky z 1. června tak výrazně vyčnívaly nad srážkami z ostatních deštivých dní.

Nad povodím Skřemelice srážky ze situace na přelomu května června dosahovaly také značných úhrnů, ale byly mezi jednotlivými dny rozloženy rovnoměrněji bez výrazného extrému, jako tomu bylo nad Lužnicí. Maximum denních srážek vypadlo také 1.6.2013, ale bylo to pouze 27 mm a během ostatních dní srážkové epizody vypadlo nejméně 9,6 mm a nejvíce 20 mm. První srážková epizoda byla na obou povodích významná nejen svou extremitou, jež vedla k tvorbě povodňových průtoků, ale také tím, že se během ní přesýtila povodí, což mělo vliv na tvorbu odtoku při následujících srážkách. Úhrn příčinných srážek nad povodími jsou zachyceny na mapě č. 6.

Mapa č. 6: Úhrn srážek nad zájmovou oblastí mezi 1. až 3.6.2013



Zdroj dat: databáze DIBAVOD, OpenStreetMap, e-HYD, Amt der Niederösterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

### 8.1.2 Druhá srážková epizoda 10.6.2013

Dále v průběhu června následovaly bezsrážkové dny, které byly výrazněji narušeny až 10.6.2013, kdy nastala druhá srážková epizoda. Oproti první epizodě byly srážky způsobeny konvektivními bouřemi a nezasáhly obě povodí stejnou intenzitou. Jednalo se pouze o krátkou srážkovou epizodu v porovnání s několikadenními srážkami z přelomu května a června 2013. Během tohoto dne vypadlo nad Lužnicí po profil Ehrendorf 20 mm srážek. Oproti povodí Lužnice byla výraznější jednodenní konvektivní srážková epizoda nad Skřemelicí, kde vypadlo průměrně 34 mm srážek.

### 8.1.3 Třetí srážková epizoda 22.6.2013 - 25.6.2013

Třetí epizoda po 20.6.2013 byla stejně jako první regionálního charakteru, ale nedosahovala takové intenzity srážek. Největší intenzity srážek byly naměřeny v Jizerských horách, na Českomoravské vrchovině a zejména v Krkonoších, kde se objevily srážkově bohaté konvektivní bouře (ČHMÚ 2013). Období s výraznějšími srážkami nastalo v zájmové oblasti na všech stanicích 22.6.2013 a trvalo až do 25.6.2013. Tyto dny byly zaznamenány jako srážkově bohatší na obou povodích s maximem srážek ve dni 24.6.2013. Během tohoto období vypadalo nad povodím Lužnice 76 mm srážek, což je přibližně o 25 mm méně než za stejně dlouhý časový úsek na začátku června. Na povodí Skřemelice, kde celkem během čtyř dnů vypadlo 72 mm, se úhrn srážek ze třetí epizody mezi 22.6.2013 a 25.6.2013 příliš nelišil od úhrnu nad Lužnicí. Zásadní rozdíl však nastal v rozložení intenzity srážek do jednotlivých dní. Na Lužnici bylo rozložení srážek během čtyř dnů rozloženo rovnoměrněji - viz následující tabulka.

**Tab. č. 7:** Denní srážkové úhrny na povodí Lužnice a Skřemelice

Srážky [mm]	22.6.2013	23.6.2013	24.6.2013	25.6.2013	Suma
Lužnice	5,8	15,5	36,3	18,8	76,4
Skřemelice	1	8	55	8	72

Zdroj dat: Amt der Niederösterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

## 8.2 Hydrologická situace

Výsledkem první intenzivní srážkové činnosti z přelomu května a června 2013 bylo rozvodnění toků zejména v povodí Labe. Povodně nezanedbatelně zasáhly i toky v povodí Lužnice a Lužnici samotnou. Lužnice byla nejdříve a také nejintenzivněji zasažena na svém dolním toku, protože ji nejvíce zasáhl extrémní přítok z mezipovodí. K této situaci vedly vysoké úhrny srážek v povodí Lužnice na území Táborské pahorkatiny. Denní úhrn (1.6.2013 08 SELČ - 2.6.2013 08 SELČ) na stanicích v Táborské pahorkatině dosahoval hodnot 83,5 mm (Bechyně) až 99,8 mm (Hlasivo) (ČHMÚ 2013). Z větších přítoků odvodňující toto území byly rozvodněny Chotovinský (Kozský) potok a Košínský (Tismenický) potok. Oba toky dosáhly úrovně 50-leté vody. Ještě silněji do vývoje situace na dolním toku Lužnice zasáhla řeka Smutná a její pravostranný přítok Milevský potok. Na obou tocích bylo 2.6.2013 dosaženo stoletého průtoku. Před 15. hodinou téhož dne kulminovala také Lužnice v Bechyni (ř. km 10,55) při průtoku  $611 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ( $Q_{100} = 577 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), který je na stanici druhým nejvyšším zaznamenaným průtokem po 16.8.2002 (ČHMÚ 2015, PVL 2015).

Povodí dolní Lužnice bylo zasaženo regionálními srážkami, které zejména v povodí Smutné byly zesíleny ještě intenzivními konvektivními srážkami. Povodeň na dolním toku Lužnice, měla velmi rychlý nástup nejen kvůli předchozímu nasycení povodí, ale také proto, že se povodňová vlna neměla kde

transformovat. Dolní část povodí Lužnice má jen minimální plochy, kde se povodňové průtoky mohou rozlít, protože tok i přítoky<sup>31</sup> jsou sevřené v hlubokém údolí se strmými svahy. Ve srovnání např. s povodní 2002 (Bechyně  $Q_{max} = 694 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), která zasáhla celé povodí od jeho horní části, nebyla vlna transformována třeboňskou rybníční soustavou ani možností širokého rozlivu na středním toku (PVL 205, ČHMÚ 2013). Druhá povodňová utvořená na horní části povodí, která přišla na dolní tok až 4.6.2013, byla ve srovnání s vlnou způsobenou přítokem z mezipovodí zanedbatelná. Na dolním toku se tato projevila pouze jako nepatrné zvýšení průtoku na sestupné větvi první povodňové vlny. Přesto lze konstatovat, že na dolní Lužnici se následkem srážek z 30.5.2013 - 3.6.2013 vyskytly v podstatě dvě povodně ze stejné srážkové události. První z přítoku z mezipovodí a druhá, která přišla z horní části povodí, a která v různé míře zasáhla horní a střední tok. Kulminační průtoky byly ve srovnání se srpnovou povodní 2002 méně extrémní, ale na řadě profilů byl nástup povodně rychlejší (ČHMÚ 2013).

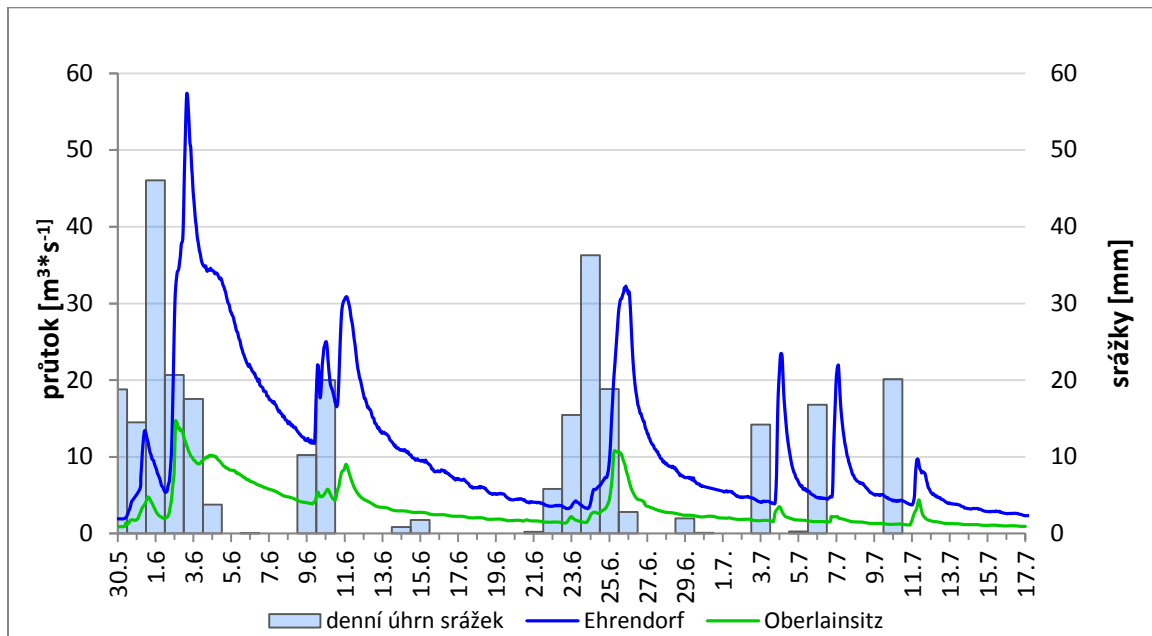
### **8.2.1 Povodeň 2013 v povodí horní Lužnice**

Kapitola se zabývá vyhodnocením červnové povodně z roku 2013 na Lužnici a Skřemelici. Vyhodnoceny byly postupové doby na obou tocích, extremity povodně, kulminační průtoky atp. Hodnocena byla pouze povodeň z přelomu května června 2013 vyvolaná první srážkovou epizodou, zejména srážkami z 1.6.2013. První povodeň byla na obou závěrových profilech největší ze všech vysokých průtoků, které se vyskytly později v průběhu června a července. Průběh průtoků a denních úhrnů srážek nad povodími během všech tří srážkových epizod na profilech Oberlainsitz - Ehrendorf a Altmanns - Hoheneich je zobrazen na grafech č. 38 a 39.

---

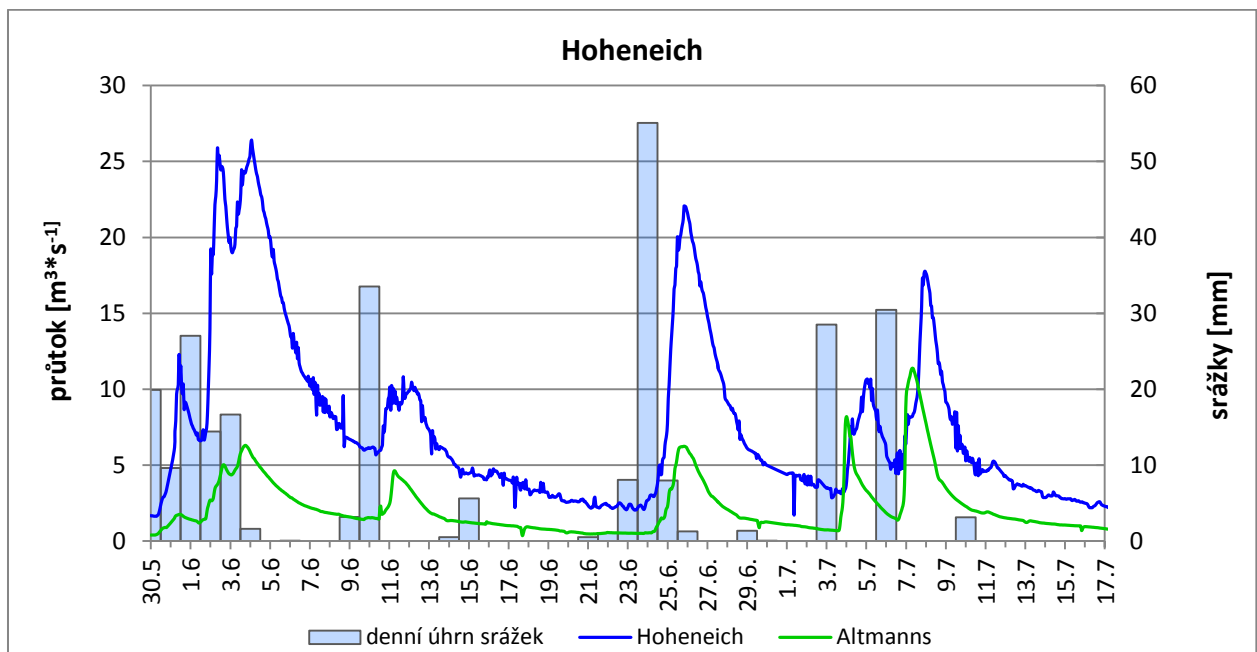
<sup>31</sup> Platí pouze pro dolní části přítoků.

**Graf č. 38:** Denní úhrny srážek nad povodím Lužnice po profil Ehrendorf a průtoky na stanici Oberlainsitz a Ehrendorf, 30.5.2013 - 17.7.2013



Zdroj dat: Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

**Graf č. 39:** Denní úhrny srážek nad povodím SKřemelice po profil Hoheneich a průtoky na stanici Altmanns a Hoheneich, 30.5.2013 - 17.7.2013



Zdroj dat: Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

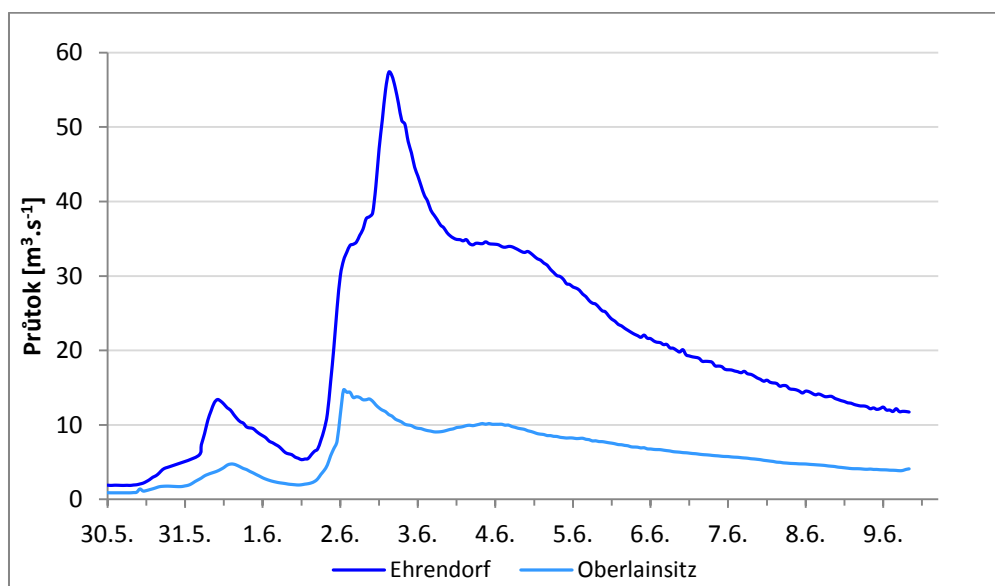
### 8.2.1.1 Lužnice

Za počátek povodně na profilu Ehrendorf autor zvolil 1.6.2013 21:00 hod. Od tohoto okamžiku prudce narůstá hodnota průtoků a za 8 hodin poté již je průtok na trojnásobku počáteční úrovně. Průměrně průtoky od počátku povodně po její kulminaci narůstaly o  $2 \text{ m}^3$  za hodinu. Počáteční hodnota průtoků byla ve 21:00 hod.  $5,48 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , což už je více než dvojnásobek  $Q_a$ . Povodeň kulminovala o 25 hodin později dne 2. 6. 2013 ve 22:00 hod. při průtoku  $57,35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , čímž povodeň v době kulminace přesáhla úroveň desetileté vody  $Q_{10} = 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Po kulminaci průtoky začaly prudce klesat, a to průměrně o  $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  za hodinu. Rychlý pokles trval až do 3. 6. 14:00 hod., kdy se rychlost poklesu značně snížila vlivem dalších srážek z 2. a 3. 6., jejichž intenzita nebyla tak velká, aby způsobily další výrazný nárůst průtoků, ale byla dostatečná na to, aby pokles byl téměř zastaven. Průtok na Lužnici se tak až do 4. 6. 17:00 hod, tj. 27 hodin, v podstatě ustálil na úrovni pětileté vody. Míra poklesu v těchto 27 hodinách byla v průměru o  $0,14 \text{ m}^3$  za hodinu. Od této doby na Lužnici přetrvával postupný pokles průtoků průměrně o  $0,26 \text{ m}^3$  za hodinu. Na úroveň  $Q_2 = 22 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  se dostala Lužnice 6. 6. ve 2:00 hod a na úroveň  $Q_1 = 17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  o dalších 33 hodin později. Poklesová tendence setrvala až do odpoledních hodin dne 9. 6. 2013 na úroveň průtoků  $11,74 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v 15:00 hod. Poté opět průtoky prudce rostly kvůli srážkám z druhé srážkové epizody.

Na profilu Oberlainsitz, jenž je situován u obce Oberlainsitz v místě, kde Lužnice opouští oblast Novohradských hor, Lužnice kulminovala 2. 6. 2013 při průtoku  $14,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v 8:00 hodin. Kulminační průtok na profilu přesahuje  $Q_2$ , ale nedosahuje hodnoty pětiletého průtoků. Tvar povodňové vlny odpovídá povodňové vlně na profilu Ehrendorf. Zásadně se liší pouze tvar sestupné větve. Srážky ze dní 2. a 3. 6., které se na profilu Ehrendorf projeví pouze zpomalením či téměř setrváním hodnot průtoků, vyvolaly na profilu Oberlainsitz nárůst průtoků, jež se projeví jako podružný vrchol povodně. Tento vrchol nastal 43 hodin po hlavní kulminaci. Poté následuje setrvalý pokles průtoků. Postupová doba povodně mezi oběma profily byla 14 hodin při rychlosti  $1,64 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1}$ . Profily mají výškový rozdíl  $139,7 \text{ m}$  a spád mezi nimi je  $6 \text{ ‰}$ . Průběh povodně na obou profilech je zobrazen v grafu č. 40.



**Graf č. 40:** Hydrogram povodně na profilech Oberlainsitz a Ehrendorf



Zdroj dat: PVI, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

### 8.2.1.2 Skřemelice

Na Skřemelici byl za počátek povodně stanoven okamžik s průtokem  $6,67 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dne 1. 6. 2013 ve 23:00 hodin. Od tohoto okamžiku průtoky na profilu stoupají rychlostí průměrně o  $1,2 \text{ m}^3$  za hodinu až po první vrchol povodně, jenž nastal 2. 6. v 14:00 hod s průtokem  $25,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Následoval pokles průtoků v průměru o  $0,35 \text{ m}^3$  za hodinu nejspíše kvůli přerušení vypadávání srážek<sup>32</sup>. Pokles trval ale pouze 9:00 hod. dne 3. 6., kdy průtoky opět narůstaly rychlostí  $0,4 \text{ m}^3$  za hodinu až do druhé kulminace, která byla hlavním vrcholem povodně při průtoku  $26,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dne 4.6. v 8:00 hod., tedy 57 hodin po začátku povodně a 41 hodin po prvním vrcholu. Tento průtok těsně nedostoupil hodnotu  $Q_2 = 27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Pomalejší nástup druhého, resp. hlavního vrcholu povodně s největší pravděpodobností svědčí o tom, že srážky z 2. a 3. 6. byly v čase rovnoměrněji rozloženy. K potvrzení této hypotézy by však byla třeba data o srážkách s menším časovým krokem. Přestože úhrn srážek ve dnech 2. a 3.6. byl přibližně poloviční oproti srážkám z 1.6., dosáhla kulminace z 4.6. mírně většího průtoku než při první kulminaci z 2.6.2013. Větší průtok než při kulminaci z 2.6. byl tedy nejspíše způsoben vypadáváním srážek na již zcela nasycené povodí, což vyvolalo intenzivnější hydrologickou odezvu. Po kulminaci průtoky s občasnými drobnými výkyvy klesaly až do 19. hod. 10.6.2013, kdy byl pokles přerušen srážkovou

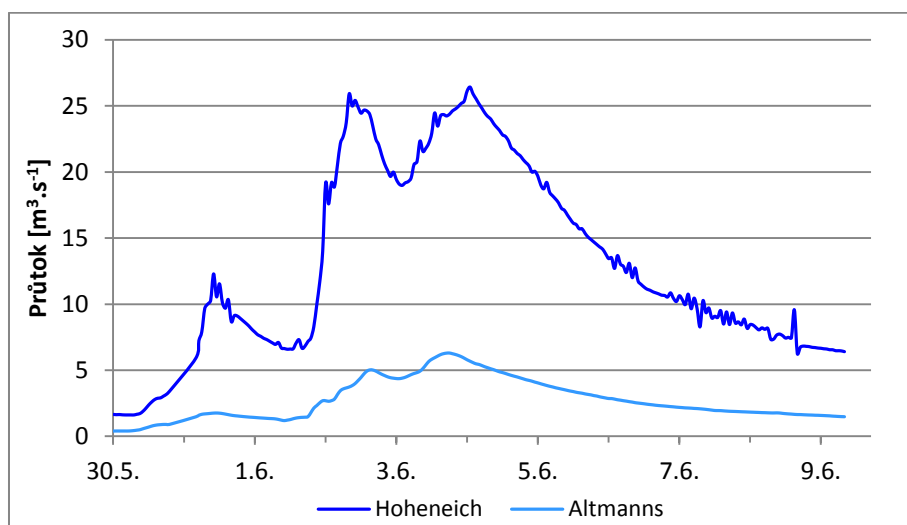
<sup>32</sup> Autor při práci využil denní srážkové úhrny, nelze tak přesně vyhodnotit kdy a na jak dlouho došlo k přerušení deště.

událostí ze stejného dne. Rychlost poklesu byla v průměru o  $0,23 \text{ m}^3$  za hodinu, tedy téměř stejná jako na Lužnici. Na úroveň  $Q1 = 20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  průtoky poklesly dne 5.6.2013 v ranních hodinách.

Profil Altmanns se nachází ve střední části toku Skřemelice a povodeň se na něm také projevila. Dva vrcholy povodně byly zaznamenány i na tomto profilu. Rozdíl mezi nimi byl větší než na profilu Hoheneich a první vrchol povodně byl na první pohled podružným. Podružný vrchol vrcholil 2.6.2013 ve 22:00 na hodnotě  $5,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a hlavní kulminace povodně nastala 4.6. v 1:00 hod. při hodnotě  $6,30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Povodeň na profilu Altmanns dosáhla úrovně  $Q2 = 6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . První vrchol povodně na profilu Altmanns se vyskytl o 8 hodin později než první kulminace na profilu Hoheneich. Z toho zřetelně vyplývá, že hlavní část povodňových průtoků na závěrovém profilu Hoheneich nepřišla po toku samotné Skřemelice, ale až z přítoků v dolní části povodí. V dolní části přítoky Schwarzabach, Teichbach a Elechsenbach tvoří vějířovité povodí. Tvar této části povodí měl zřejmě zásadní vliv na formování povodňových průtoků na profilu Hoheneich. Autor tak usuzuje zejména kvůli neodpovídajícím si kulminacím na toku, ale také proto že nad povodím samotné Skřemelice byl úhrn srážek z 2. a 3.6 větší než nad dolní částí celého povodí.

Hlavní vrchol povodně na profilu Altmanns kulminoval 27 hodin po kulminaci podružného vrcholu při hodnotě  $6,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . I tento časový interval se značně liší od doby mezi vrcholy na profilu Hoheneich a potvrzuje fakt, že povodeň dosažená na profilu Altmanns neodpovídá zaznamenané povodni na profilu Hoheneich. Hlavní kulminace na profilu Altmanns nastala na rozdíl od první kulminace dříve než na profilu Hoheneich. V tomto případě by postupová doba mezi profily byla 8 hodin při rychlosti  $1,88 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Vzhledem ke skutečnosti, že povodňová vlna na Skřemelici byla menší než na Lužnici a že spád mezi stanicemi je menší (4 ‰), je velmi nepravděpodobné, že by postupová rychlost povodně byla vyšší. Tento údaj o postupové době nelze považovat za relevantní. Postupová doba mezi oběma profily byla stanovena kontrolním výpočtem při dvouletém průtoku na profilu Altmanns, vyvolaném srážkou ze 6.7.2013. Tato krátká povodňová událost prokazatelně přišla přímo po toku samotné Skřemelice. Postupová doba mezi profily byla 15 hodin při rychlosti  $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Pokud tuto postupovou rychlost přijmeme jako relevantní, pak by hlavní vrchol povodně z profilu Altmanns dosáhl profilu Hoheneich 4.6. v 16:00 hod., v době, kdy zde již povodeň byla ve fázi poklesu. Přítok ze Skřemelice tak byl v porovnání s přítokem s mezipovodí zanedbatelný a na výsledném průtoku se nijak neprojevil. Průběh povodně na profilech Altmanns a Hoheneich je zobrazen v grafu č. 41.

**Graf č. 41:** Hydrogram povodně na profilech Altmanns a Hoheneich



Zdroj dat: PVI, Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

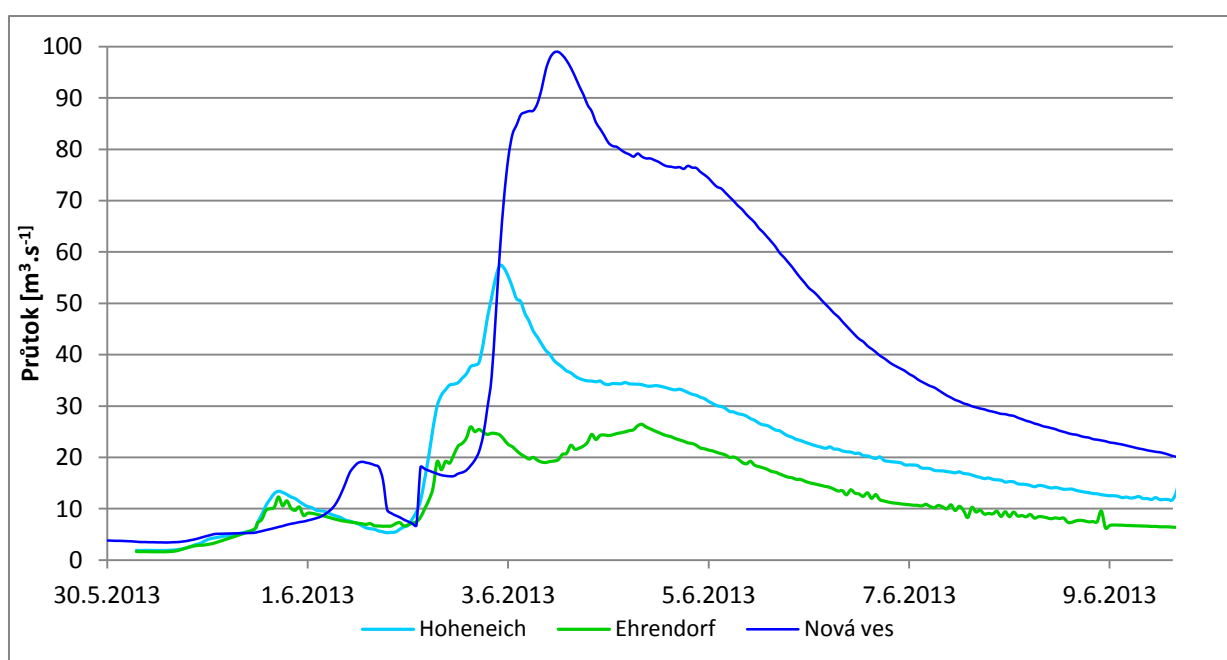
Rychlost nárůstu průtoků při vzestupu hladin byla větší na Lužnici, a to o  $0,7 \text{ m}^3$  za hodinu. Na rychlejší nárůst průtoků měla nejpravděpodobněji vliv větší intenzita srážek nad povodím Lužnice a také větší sklonitost povodí a nejspíše i zanedbatelný počet vodních děl v povodí Lužnice oproti Skřemelici. Na Lužnici nastal okamžik nárůstu průtoků o dvě hodiny dříve než na Skřemelici. Čas kulminace povodní na obou tocích se diametrálně lišily, a to o 34 hodin, přičemž pozdější kulminace nastala na Skřemelici. Pokud bychom brali jako kulminaci povodně na profilu Hoheneich její první vrchol, který se svým průtokem jen minimálně lišil od hlavního vrcholu, pak by rozdíl mezi kulminacemi na Lužnici a Skřemelici byl 8 hodin, ale tentokrát by nastala kulminace dříve na Skřemelici. V tomto případě se tedy nejspíše projevil vliv vějířovitého tvaru říční sítě v dolní části povodí Skřemelice. Toto vše svědčí, buď o různém časovém rozložení srážek nad povodími, nebo o vlivu výše zmíněných faktorů. K potvrzení jedné či druhé možnosti by byla potřeba podrobnější data srážkových úhrnů.

### 8.2.1.3 Lužnice - Nová ves

Na výsledném profilu Nová Ves měla povodňová vlna tvar téměř shodný s vlnou na profilu Ehrendorf, jak je zřejmé z hydrogramu na grafu č. 42. Průtoky v Nové Vsi začaly prudce narůstat 2.6. od 15. hodiny a až po kulminaci, která nastala 3.6. ve 12:00 rostly průměrně o  $3,8 \text{ m}^3$  za hodinu. Kulminační průtok dosáhl hodnoty  $98,97 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a na profilu přesáhl desetiletý průtok  $Q_{10}=92 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (PVI 2015), tedy stejné N-letosti jako na profilu Ehrendorf. Většina objemu povodně pocházela z povodí Lužnice samotné a přítok ze Skřemelice pouze navýšil maximální průtok. Vzhledem k rozdílným časům kulminace na profilech Ehrendorf a Hoheneich nedošlo k jejich setkání a tím k výraznému zvýšení extremity průtoků v Nové Vsi. Postupová doba mezi profily Ehrendorf a Nová Ves byla 14 hodin při

rychlosti  $1,04 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , což je pomaleji než mezi ostatními profily výše na povodí. Pomalejší postupová doba je způsobena výrazně menším spádem toku mezi profily (pouze 1,2 ‰) a vliv jistě měl i meandrující průběh toku s přirozenou nivou, která se na Lužnici objevuje pod Gmündem. V období během, kterého byly toky zasaženy povodní, většina vody na profil Nová Ves přitekla z Lužnice. Celkem na Lužnici samotnou připadlo mezi 30.5.2013 7:00 a 9.6.2013 15:00 53 % objemu odtoku, který protekl profilem Nová Ves. Na Skřemelici připadá pouze 33,5 % a zbylých necelých 14 % připadá na přítok z mezipovodí. Běžný poměr vycházející z dlouhodobých průtoků na jednotlivých profilech je 45 % Lužnice, 43 % Skřemelice a na mezipovodí připadá 12 %. Značná nevyváženost během povodně dokazuje výrazně větší povodňové průtoky na Lužnici.

**Graf č. 42:** Hydrogram povodně na profilech Hoheneich, Ehrendorf a Nová Ves



Zdroj dat: PVI

### 8.2.2 Extremita povodně

Extremita povodně byla řešena dle metody použité Čurdou, Janským a Kocumem (2011), která stanovuje tzv. index extremity odtoku. Postup metody je popsán v článku Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry, kap. 4.2.2 Postup hodnocení extremity odtoku. Výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 8.

**Tab. č. 8:** Indexy extremity průtoku na jednotlivých profilech

	DD	Cv1 D-8 až D-2	Cv2 D-1 až DD	PP D-8 až D-2	KP	$I_{EK}=KP/PP$
<b>Ehrendorf</b>	<b>2.6.2013</b>	0,72	1,34	3,66	57,35	15,7
<b>Hoheneich</b>	<b>4.6.2013</b>	1,15	0,82	5,42	26,42	4,9
<b>Oberlainsitz</b>	<b>2.6.2013</b>	0,27	1,79	1,44	14,7	10,2
<b>Altmanns</b>	<b>4.6.2013</b>	0,42	2,06	1,18	6,3	5,3
<b>Nová Ves</b>	<b>3.6.2013</b>	0,59	1,27	9,92	98,97	10,0

DD - den výskytu kulminačního průtoku

D-8, D-2 - počet dní před kulminací

Cv - variační koeficient

KP - kulminační průtok

$I_{EK}$  - index extremity

Z hodnot indexu extremity vyplývá, že extremita povodně na Lužnici byla větší na Lužnici. Index extremity na profilu Oberlainsitz dosáhl hodnoty 10,2 a na závěrovém profilu Ehrendorf dokonce 15,7. Tento nárůst nasvědčuje zvýšení extremity povodně přítokem z mezipovodí. Extremita povodně na Skřemelici byla menší a na obou profilech se hodnota indexu extremity pohybuje okolo 5. Na výsledném profilu Nová Ves měl index extremity hodnotu 10. Menší hodnota indexu extremity na tomto profilu oproti předchozímu profilu Ehrendorf nasvědčuje možné transformaci povodňové vlny mezi profily.

## 9. Diskuze

Povodí horní Lužnice patří mezi poměrně dobře zpracované a vyhodnocené oblasti z hlediska hydrografie a odtokového režimu, který byl jinými autory hodnocen z dostatečně dlouhých řad průtoků. Stejně tak byl již podrobně popsán povodňový režim Lužnice a mechanismus vzniku povodní. Méně podrobně jsou zatím v odborných publikacích hodnoceny období s nedostatkem vody. Podrobnější vyhodnocení dílčích povodí, jež jsou hlavními zdrojovými oblastmi výsledné vodnosti Lužnice, nebylo zatím zpracováno. Pouze odtokovému režimu samotné Skřemelice se věnovala ve své bakalářské práci Šafaříková (2009), ale nebyly podrobněji hodnoceny období s výraznými odchylkami odtoku. Samotná Lužnice před soutokem s výraznými zdrojnicemi Skřemelicí a Dračicí nebyla podrobně hodnocena.

Dlouhodobé denní průtoky na obou tocích vykazují zřetelné jarní maximum, přičemž oba toky dosahují nejvyšších hodnot v posledních březnových dnech. Jarní maximum denních průtoků dosahuje

na Skřemelici vyšší úrovně než na Lužnici. Dále je zřejmé, že období zvýšených průtoků na počátku jara má kratší trvání na Skřemelici kvůli strmému poklesu průtoků oproti postupnému poklesu na Lužnici. Rychlost nárůstu jarních průtoků je u obou toků srovnatelná. Ze zmíněných poznatků vyplývá, že na obou tocích dochází k rychlému tání zásob sněhu v pahorkatinných oblastech. Na Lužnici je na rozdíl od povodí Skřemelice ještě znát vliv horské části povodí s vyšší nadmořskou výškou, která se u Skřemelice nevyskytuje. V Novohradských horách tak ještě postupně odtává sníh a prodlužuje období jarního zvýšení průtoků i v době, kdy již v nižších polohách zásoby sněhu odtály a voda z nich otekla.

Na profilu Pilař tvar jarního maxima průtoků více odpovídá tvaru z profilu Ehrendorf. Je zřejmé, že na dobu trvání jarního maxima na Pilaři tak má vliv hlavně přítok z Lužnice samotné. Dále je z režimu denních průtoků patrné, že úroveň maxima je zvyšována přítokem z povodí Skřemelice, která má větší jarní maximum. Dá se předpokládat, že vzhledem k velmi podobnému charakteru povodí bude jarní maximum na Pilaři ještě zvyšováno přítokem z Dračice. Zvýšení úrovně jarního maxima přítoky z oblasti Javořické vrchoviny napovídá také úroveň srpnového maxima, které však způsobila jedna extrémní povodňová událost z roku 2002. Na profilu Ehrendorf srpnové maximum převyšuje úroveň jarního maxima, zatímco na Pilaři maxima více odpovídají průběhu na Skřemelici.

Chod měsíčních průtoků na Lužnici a Skřemelici se mírně liší. Největší část odtoku připadá na profilu Ehrendorf na duben, zatímco na Skřemelici již na březen. Tento rozdíl lze přisoudit vlivu nadmořské výšky na tání v povodích. Na Lužnici tak odtávají větší zásoby sněhu v Novohradských horách až v dubnu. Podle výsledků Svobody v jeho diplomové práci je na Pilaři nejvodnějším měsícem duben, což odpovídá průběhu měsíčních průtoků na profilu Ehrendorf. Výše uvedené tvrzení, že na výši jarního maxima u denních průtoků na Pilaři má hlavní vliv přítok ze Skřemelice, případně Dračice, které by se mělo projevit i na maximech měsíčních se nyní zdá jako chybné, když měsíční maximum na Skřemelici je v průběhu března. Hypotéza však je správná, protože maximum na Skřemelici nastává v samotném závěru března a postupové doby mezi profilem Hoheneich a Pilař posunují odpovídající si průtoky až do dubna.

Svoboda si dále ve své práci všímá průběhu měsíčních průtoků během letních měsíců, kdy jsou na Pilaři průtoky mírně nadprůměrné až průměrné. Stejný chod průtoků je patrný i na profilu Ehrendorf. Naopak na Skřemelici jsou průtoky již od května pod úrovní dlouhodobého průměru. Z uvedeného vyplývá, že na výsledný chod měsíčních průtoků v letních měsících má zásadní vliv samotná Lužnice, která dokáže vyrovnat i deficit Skřemelice. Svoboda vyšší letní měsíční průtoky na Pilaři přisuzuje doběhu jarního maxima s možným vlivem nivy horní Lužnice. Autor této práce se domnívá, že rozhodující vliv na výsledný průtok má větší úhrn srážek nad povodím Lužnice než Skřemelice, spíše než doběh jarního maxima. Výrazně větší srážkové úhrny jsou zejména v nejvyšší

části povodí v Novohradských horách. Vliv nivy z předložených výsledků se nezdá být průkazným, protože nad profilem Ehrendorf se niva v přirozené podobě, jakou má dále po toku nevyskytuje a přesto je měsíční chod průtoků na Pilaři i Ehrendorf v podstatě stejný. Povodí Skřemelice je kvůli své menší sklonitosti, nižší nadmořské výšce a většímu podílu vodních ploch náchylnější k výparu, čímž je zesilován výpar z již takto méně srážkami zásobeného povodí. Tomuto autor přisuzuje výskyt podprůměrných průtoků během léta objevujících se na toku na rozdíl od Lužnice.

Na celkovou nevyrovnanost odtoku v průběhu roku na profilu Pilař má podle zjištěných hodnot koeficientu  $K_r$  hlavní vliv přítok z povodí Skřemelice a nejspíše Dračice. Podle Svobody je hodnota koeficientu  $K_r$  na Pilaři 3,55, což se téměř rovná hodnotě  $K_r$  na Skřemelici (3,53). Lužnice na profilu Ehrendorf má hodnotu 2,67 a její odtok tak je vyrovnanější.

Odtokový režim z pohledu ročních průtoků si na obou závěrových profilech velmi věrně odpovídají, pokud se podíváme na tvar průběhu křivky klouzavých průměrů. Tato se u obou toků liší pouze v detailech a mírou odchylky od průměru, která je způsobena výskytem některého z extrémů. Z křivky klouzavých průměrů obou toků vyplývá, že více či méně vodné periody mají na obou tocích stejný průběh. Velmi věrně odpovídá vodným resp. málo vodným i křivka klouzavých průměrů ročních srážkových úhrnů na obou tocích. Mimořádně málo vodné roky jsou na sledovaných tocích shodné. Suché roky se shodují i s obdobími výskytu velmi málo vodných roků na Pilaři. Ve výsledcích Svobody je navíc ještě jeden suchý rok 1999. Ten byl na profilu Ehrendorf a Hoheneich zaznamenán pouze jako málo vodný. Na profilu Pilař byl nejspíše malý roční průtok, který na profilu Ehrendorf byl jen těsně nad úrovní mimořádně málo vodného roku, umocněn odběrem Zlaté stoky. Shodné výskyty suchých roků na všech tocích vypovídají o tom, že pokud je celkově nízký roční úhrn srážek, tak je zasaženo celé povodí horní Lužnice.

U mimořádně vodných roků se takováto přesná shoda ve sledovaném období neobjevuje. Na všech třech profilech panuje shoda pouze u velmi vodných roků 2002 a 2006, které byly postiženy velkými povodněmi. Mezi profily Ehrendorf a Pilař se mimořádně vodné roky shodují ve třech případech, krom zmiňovaných ještě v roce 1977. Zajímavé je, že na profilu Pilař dle výsledků Svobody nefiguruje mezi mimořádně vodnými roky rok 1996, který této úrovně průtoku dosáhl na profilu Ehrendorf i Hoheneich. Nejvíce vodných roků se vyskytlo na Skřemelici (celkem 5), ale žádný z roků, který nebyl zaznamenán i na Lužnici jako mimořádně vodný, nezpůsobil takové zvýšení ročních průtoků, aby se projevil i na Pilaři jako rok mimoř. vodný. Bylo zjištěno, že zvýšený roční odtok z povodí Skřemelice nezpůsobí výrazně větší vodnost na výsledném profilu Pilař, nevyskytne-li se mimořádně vodný rok na obou tocích.

Povodňový režim Skřemelice a horní Lužnice vykazuje mírné rozdíly. Celkový počet všech událostí s povodňovým průtokem je na obou tocích v podstatě stejný, ale liší se období, ve kterém se povodňové průtoky vyskytují. U Lužnice jednoznačně převažuje výskyt povodňových průtoků v letních měsících, zatímco u Skřemelice se většina povodňových průtoků objevila na jaře. Jednoleté průtoky na Lužnici jsou orientovány dominantně do letních měsíců a o něco méně do jarních měsíců. U Q2 je rozložení velmi podobné, ale ještě se zvyšuje dominance letních měsíců. Průtoky Q5 a větší se vyskytují výhradně v létě. Stejně rozložení povodňových průtoků na Pilaři udává i Svoboda a Vlasák. Na Skřemelici jsou jednoleté i dvouleté průtoky orientovány výhradně do března až dubna. Q5 a větší se objevují v létě a na jaře. Na výsledném profilu Pilař se tedy více projevují povodňové průtoky, které přicházejí po Lužnici nebo ty, které se vyskytnou současně na Skřemelici i Lužnici. Jarní průtoky na Skřemelici, které jsou větší než Q5, nevyvolají stejnou úroveň povodňového průtoku na Pilaři. K tomuto by došlo nejspíše, kdyby se setkaly vysoké jarní průtoky ze Skřemelice i Lužnice, což se kvůli pozdějšímu tání na Lužnici nestává.

## 10. Závěr

Diplomová práce hodnotí a porovnává odtokové režimy Lužnice a Skřemelice v závěrových profilech před jejich vzájemným soutokem. Hodnotí tedy řeku Lužnici ještě před jejím vstupem na území Česka, kde se její podrobnou charakteristikou zabývala již řada prací. Podrobněji byly vyhodnoceny odtokové události, které se výrazněji odchylovaly od normálního průběhu, a to v různých časových měřítkách. Výsledky byly zároveň konfrontovány s poznatky Svobody a Vlasáka, kteří hodnotili režim Lužnice níže na profilu Pilař. Vyhodnocen byl povodňový režim obou toků a opět porovnán se závěry zmíněných autorů. Průběh povodně z června 2013 byl podrobněji zkoumán v celém povodí.

K vyhodnocení byla použita data denních průtoků z let 1971 - 2014. Pro povodeň v červnu 2013 byla hodnocena hodinová data z celkem 5 profilů. Pracováno bylo také s daty z 8 srážkoměrných stanic. Ke stanovení závěrů z těchto a dalších dat byly použity běžné výpočty hydrografických charakteristik a hodnot popisujících odtokové režimy.

Za nejzajímavější výsledky autor považuje zjištění, že v režimu denních průtoků má na výsledný odtok z povodí přítok ze Skřemelice hlavní vliv na výšku jarního maxima, zatímco přítok z Lužnice prodlužuje jeho trvání. Tímto se potvrzuje rychlé tání v povodí Skřemelice a pomalé v povodí Lužnice. Dále na základě výzkumu bylo zjištěno, že velké letní povodně na Lužnici mají původ převážně v povodí Lužnice samotné a přítokem ze Skřemelice jsou tyto pouze zesilovány.

Z výsledků hodnotících letní povodeň z roku 2013 vyplynulo, že rozhodující část objemu povodně přišla z povodí Lužnice samotné, kde také povodeň dosáhla větší extremity. Jen menšina



přišla z povodí Skřemelice. Na výsledném profilu Nová Ves n. Luž. tvořil přítok z Lužnice v období od 30.5.2013 7:00 hod. do 9.6.2013 15:00 hod. 53 % objemu. Na Skřemelici za stejné období, ve kterém proběhla povodeň, připadá podíl pouze 33,5 %. Zbýlymi necelými 14 % se na výsledném odtoku podílel přítok z mezipovodí. Běžný podíl stanovený z dlouhodobých průměrných průtoků připadá v Nové vsi z 43 % na Skřemelici, ze 45 % na Lužnici a zbylými 12 % se na odtoku podílí přítok z mezipovodí. Mezi další zajímavé zjištění patří fakt, že na Skřemelici měl hlavní povodňový průtok původ v dolní části povodí s vějířovitým uspořádáním toků. V této části se vyskytly větší úhrny srážek, jejichž dopad na výsledný průtok mohl být zesílen právě tvarem říční sítě. Na Lužnici proběhla povodňová vlna celým povodím, ale její extrémita byla zvýšena až v mezipovodí, které bylo zasaženo větším množstvím srážek. Neobvykle tak největší srážkové úhrny nepřipadly na nejvyšší část povodí v Novohradských horách. Také proto povodeň těsně pod Novohradskými horami dosáhla pouze dvouletého průtoku, zatímco na závěrovém profilu Ehrendorf měla úroveň desetileté vody.

Hodnocení sucha bylo provedeno z hlediska četnosti výskytu denních průtoků menších než  $Q_{355}$  a ročních průtoků. Bylo zjištěno, že suché roky se vyskytují současně na obou povodích a stejně tak byl vždy i mimořádně málo vodný rok zaznamenán na výsledném profilu Pilař. Mimořádně málo vodné roky jsou spjaty s nižšími ročními úhrny srážek a s malými zásobami sněhu v povodí. Suchem zasaženo tak bývá celé povodí horní Lužnice. U denních průtoků menších než než  $Q_{355}$  bylo zjištěno, že Lužnice bývá zasažena větším počtem dní s nízkými průtoky, ale s nižší relativní extrémitou. K nižšímu počtu dní s nízkými průtoky na Skřemelici pravděpodobně přispívá větší počet vodních ploch v povodí, kterými mohou být nadlepšovány průtoky. K větší extrémitě nejnižších průtoků nejspíše dochází kvůli následnému vyčerpání kapacit VD k nadlepšování průtoků a více se projeví dlouhodobě nižší úhrny srážek nad povodím.

Diplomová práce splnila stanovené cíle a jako autor se domnívám, že alespoň částečně přispěla k podrobnějšímu poznání tvorby odtoku řeky Lužnice a k objasnění, která ze zdrojových oblastí má rozhodující vliv na výsledný odtok celého povodí v určitém období.

## 11. Seznam použité literatury a zdrojů

254/2001 Sb. ZÁKON (2001): Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). 59 stran.

ALEXANDER, D. (1993): Natural disasters. Springer Science & Business Media, 632 stran.

ASHOK, K., SINGH, V. (2010): A review of drought concepts. Journal of Hydrology 391, Elsevier, str 202 - 206.

AUWIPO (2014): Windatlas. Online dostupné na: [http://ispacevm11.researchstudio.at/index\\_v.html](http://ispacevm11.researchstudio.at/index_v.html), cit. 14.3.2014.

BÍLEK, M. (1999): Řeka Lužnice. Jihočeská univerzita, online dostupné na: <http://www.pf.jcu.cz/others/okoli/prir/luznice.htm>, cit 15.11.2013.

BRÁZDIL, R. (2002): Meteorologické extrémy a povodně v České republice – Přirozený trend nebo následek globálního oteplování?, Geografická společnost, roč. 107, č. 4, 2002.

CÍLEK, V. (2012): Sucho se živí suchem. Vesmír 91, 11/2012

ČERVENÝ, J. (1984): Podnebí a vodní režim v ČSSR. SZN, Praha, 416 stran.

ČHMÚ (2013): Vyhodnocení povodní v červnu 2013, dílčí zpráva, Hydrologický průběh povodní. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 172 stran.

ČHMÚ (2013): Vyhodnocení povodní v červnu 2013, dílčí zpráva, Meteorologické příčiny povodní. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 56 stran.

ČHMÚ (2014): Evidenční list hlásného profilu č. 100. Online dostupné na: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307235](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307235). cit. 17.1.2014

ČHMÚ (2014): Evidenční list hlásného profilu č. 111. Online dostupné na: <http://www.pvl.cz/portal/SaP/de/PC/Mereni.aspx?id=LUBE&oid=1>, cit. 15.1.2014

ČHMÚ (2014): Evidenční list hlásného profilu č. 96. Online dostupné na: [http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps\\_prfbk\\_detail.php?seq=307157](http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307157), cit. 17.1.2014

ČHMÚ (2014): Hydrologický seznam povodí. Online dostupné na: [http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky\\_seznam\\_povodi.xls](http://voda.chmi.cz/opv/doc/hydrologicky_seznam_povodi.xls), cit 9.9.2014

ČHMÚ (2014): Ledové povodně. Online dostupné na: [http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost\\_povoden\\_definice.html#priklad](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/verejnost_povoden_definice.html#priklad), cit. 24.5.2014.

DAS LAND NIEDERÖSTERREICH (2014). Wasserstandsnachrichten Hochwasserprognosen in Niederösterreich. Online dostupné na: <http://www.noel.gv.at/Externeseiten/wasserstand/static/stations/208462/station.html>, cit 7.3.2014.

DAS LAND NIEDERÖSTERREICH (2014). Wasserstandsnachrichten Hochwasserprognosen in Niederösterreich. Online dostupné na:

<http://www.noel.gv.at/Externeseiten/wasserstand/static/4.m.html>, cit 7.3.2014

DOSTÁL, T. (2015): Ochrana a organizace povodí - Retenční kapacita povodí. Online dostupné na:

[http://storm.fsv.cvut.cz/on\\_line/yoop/PEO\\_2%20retencni%20kapacita%20krajiny.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/on_line/yoop/PEO_2%20retencni%20kapacita%20krajiny.pdf), cit 9.7.2015.

DUDÁK, V. (2006): Novohradské hory a novohradské podhůří: příroda, historie, život. Baset, Praha, 847 stran.

ESTRELA, T. (2001): Sustainable water use in Europe. Part 3. Extreme hydrological events. Floods and droughts. Luxembourg: Office for official publications of the European communities, 84 stran.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2014): Eight facts about Europe's forest ecosystems. Online dostupné na: <http://www.eea.europa.eu/highlights/eight-facts-about-europe2019s-forest-ecosystems>, cit. 20.12.2013.

GEONOE: (2014) Darstellungsdienst Geologie Niederösterreich. Geologische Bundesanstalt (GBA), online dostupné na:

[http://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/projekte\\_noeatlas/GEONOE/MapServer](http://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/projekte_noeatlas/GEONOE/MapServer)

HYDRATE PROJECT (2014): Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting. Onlinedostupné na: <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/>, cit. 14.1.2014.

CHÁBERA, S. (1986): Jižní Čechy. Turistický průvodce ČSSR. Olympia, Praha, 383 s.

CHÁBERA, S. (1998): Fyzický zeměpis jižních Čech. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 139 s.

IWHW (2014): Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau. Online dostupné na: <http://www.wau.boku.ac.at/iwhw/>, cit. 15.8.2014.

JENÍČEK, M. (2011): Hydrometrie, hodnocení průtoku. Prezentace k předmětu Hydrologie, PŘF UK, 26 stran.

JENÍČEK, M. (2013): Pohyb povrchové vody. Prezentace k předmětu Aplikovaná hydrologie, PŘF UK, 52 stran.

KARVÁNKOVÁ, P. (2013): Český pramen Lužnice. Česká geografická společnost, online dostupné na: <http://m.taggmanager.cz/1293>, cit. 20.12.2013.

LANGHAMMER, J. (2009). Typologie povodní, extrémní povodně v Evropě a ČR. Prezentace k předmětu Povodně a změny v krajině, PŘF UK, 31 stran.

LANGHAMMER, J. (ed.) (2007): Povodně a změny v krajině. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině, Praha, 251 stran.

LANGHAMMER, J., JANSKÝ, B., ČEKAL, R. a kol. (2013): Povodně v krajině. Předmět vyučovaný na PŘF Uk.

LEBENS MINISTERIUM (2004): Ramsar in Österreich. Alpina Druck, Innsbruck, 21 stran.

LEBENS MINISTERIUM (2014): Waldviertler Teich-, Moor- und Flusslandschaft. Online dostupné na: <http://www.waldviertel.at/c/default.asp?id=84730&sstr=>, cit. 17.2.2014.

MATOUŠEK, V (2000): Ledové povodně. Online dostupné na: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/VTO/ke\\_stazeni/ostatni/LedoveJevy.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/VTO/ke_stazeni/ostatni/LedoveJevy.pdf), cit. 24.5.2014.

Meteorologické extrémy a povodně v České republice – Přirozený trend nebo ná- sledek globálního oteplování?, Geografie – Sborník České geografické společnosti, roč. 107, č. 4, 2002.

MINISTERIUM FÜR EIN LEBENSWERTES ÖSTERREICH (2014): Waldviertler Teich, Moor- und Flusslandschaft. Online dostupné na: <http://www.bmlfuw.gv.at/umwelt/naturartenschutz/feuchtgebiete/ramsar/waldviertl.html>, cit. 9.4.2014.

NETOPIIL, R. a kolektiv (1984): Fyzická geografie I. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 273 s.

NÖ Atlas 4.0 (2013, 2014, 2015): Online dostupné na: [http://atlas.noel.gv.at/webgisatlas/\(S\(0ke3gd5mnadqspojox0aniwf\)\)/init.aspx?karte=atlas\\_gst](http://atlas.noel.gv.at/webgisatlas/(S(0ke3gd5mnadqspojox0aniwf))/init.aspx?karte=atlas_gst)

PITHART, D., DOSTÁL T., LANGHAMMER, J., a kol. (2012): Význam retence vody v říčních nivách. Daphne, České Budějovice, 141 stran.

PRINZ, M (2014): Das Tal der Lainsitz. Online dostupné na: <http://www.prinzeps.com/lainsitz/>, cit. 15.12.2014.

PVI (2014): Stavby a průtoky na vodních tocích. Nová řeka, Rožmberk, Nežárka, online dostupné na: <http://www.pvl.cz/portal/SaP/cz/PC/Mereni.aspx?id=LUBE&oid=1>, cit. 9.6.2015

REJZEK, J. (2012): Český etymologický slovník. Leda, Voznice 752 stran.

SVOBODA, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce, PŘF UK, Praha, 99 stran.

ŠAFAŘÍKOVÁ, R. (2009): Srážko-odtoková analýza povodí Skřemelice. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 57 s.

ŠANDOVÁ, M. (2013): Sucho, prachové bouře a požáry. Prezentace k předmětu Nebezpečné meteorologické jevy, PŘF UK. 68 stran.

TRIGLAV POJIŠŤOVNA, A.S. (2014): Povodeň nebo záplava?. Online dostupné na: <http://www.eea.europa.eu/highlights/eight-facts-about-europe2019s-forest-ecosystems>, cit. 17.2.2014.

VÁŇOVÁ, V. (2008): Modelování vlivu změn v krajině na průběh povodní v povodí horní Lužnice. Diplomová práce, PŘF UK, Praha, 87 s.

VLASÁK, T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici. In: Langhammer, J. (ed.): Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevů extrémních povodní. Sborník příspěvků projektu VaV SM/2/57/05 Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami, PŘF UK, Praha, s. 37 – 44.

VLASÁK, T. (2007): Povodňové režimy Otavy a Lužnice. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PŘF UK, Praha, s. 105 – 113.

VLČEK, V. (ed.) et al. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. Academia, Praha, 315 stran.

WALDVIERTEL (2014): Naturparke im Waldviertel. Online dostupné na:  
<http://www.waldviertel.at/c/default.asp?id=84730&sstr=>, cit. 14.3.2014.

WIKIPEDIA (2015): Hochwasser in Mitteleuropa 2013. Online dostupné na:  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Hochwasser\\_in\\_Mitteleuropa\\_2013#cite\\_note-OHanlon-6](http://de.wikipedia.org/wiki/Hochwasser_in_Mitteleuropa_2013#cite_note-OHanlon-6), cit. 12.4.2015.

## **Ostatní zdroje**

### **Data o průtocích srážkových úhrnech**

e-HYD, online dostupné z: [www.gis.lebensministerium.at/eHYD/](http://www.gis.lebensministerium.at/eHYD/)

Povodí Vltavy, s. p., Závod Horní Vltava

Amt der Niederoesterreichischen Landesregierung - Abteilung Hydrologie und Geoinformation

### **Mapové podklady**

AMT DER NIEDERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUN: Hochwasseranschlagslinien 30-, 100- und 300-jährig. Online dostupné z: <http://www.noel.gv.at/Land-Zukunft/Karten-Geoinformation/Karten-Geodaten-Angebot/DownloadGeodatenKarten.html>

ARCDATA Praha, Databáze ArcCR 500

VÚV TGM: Databáze DIBAVOD

GEOFABRIK, ONLINETREETMAP, online dostupné z: <http://download.geofabrik.de/europe/austria.html>

UMWELTBUNDESAMT, CORINE Landebedeckung 2006, online dostupné z:  
[http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/umweltinfo/opendata/oed\\_landbedeckung/?cgiproxy\\_url=http%3A%2F%2Fhttpapp5.umweltbundesamt.at%2Fdata%2Fdataset.jsf%3Bjsessionid%3D29B8DB8E467B7EBB76EC515EB343C36A%3Fid%3D1](http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/umweltinfo/opendata/oed_landbedeckung/?cgiproxy_url=http%3A%2F%2Fhttpapp5.umweltbundesamt.at%2Fdata%2Fdataset.jsf%3Bjsessionid%3D29B8DB8E467B7EBB76EC515EB343C36A%3Fid%3D1)

RAMSAR - Ramsar Austria, online dostupné z: [http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-pubs-notes-anno-austria/main/ramsar/1-30-168%5E16730\\_4000\\_2](http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-pubs-notes-anno-austria/main/ramsar/1-30-168%5E16730_4000_2)

## Obrázky

Obrázek č. 10: <http://static.panoramio.com/photos/original/43799767.jpg>

Obrázek č. 14: [http://www.metro.cz/foto.aspx?r=co-se-deje&c=A140422\\_173844\\_metro-extra\\_row&foto=ROW4baf4d\\_147.jpg](http://www.metro.cz/foto.aspx?r=co-se-deje&c=A140422_173844_metro-extra_row&foto=ROW4baf4d_147.jpg)

## 12. Přehled použitých zkratk

AuWiPot - Austria wind potential

ČHMÚ - Český hydrometeorologický úřad

CHKO - chráněná krajinná oblast

IWHW - Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiver Wasserbau

JE - jaderná elektrárna

m n. m. - metry nad mořem

MVE - malá vodní elektrárna

n. L. - nad Lužnicí

NPR - národní přírodní rezervace

PR - přírodní rezervace

PVL - Povodí Vltavy

ř. km - říční kilometr

VD - vodní dílo

## 13. Seznam map, obrázků, grafů a tabulek

### Grafy

**Graf č. 1:** Podélný profil studovaných toků

**Graf č. 2:** Průměrné měsíční srážkové úhrny pro povodí Lužnice a Skřemelice po závěrové profily Ehrendorf a Hoheneich

**Graf č. 3:** Krajinný povrch v povodí Lužnice

**Graf č. 4:** Krajinný povrch v povodí Skřemelice

**Graf č. 5:** Konsumpční křivka Lužnice

**Graf č. 6:** Konsumpční křivka Skřemelice

**Graf č. 7:** Hydrogram řeky Almanzora zachycující přívalovou povodeň v říjnu 1973

**Graf č. 8:** Chod denních průtoků na profilu Ehrendorf, 1971 - 2014

**Graf č. 9:** Dlouhodobý chod denních průtoků, 1971 - 2014

**Graf č. 10:** Chod denních průtoků v roce 2013

**Graf č. 11:** Čáry překročení denních průtoků 1971 - 2014 a 2013, Lužnice - Ehrendorf

**Graf č. 12:** Chod denních průtoků na profilu Hoheneich, 1971 - 2014

**Graf č. 13:** Dlouhodobý chod denních průtoků, 1971 - 2014

**Graf č. 14:** Chod denních průtoků v roce 2013

**Graf č. 15:** Čáry překročení denních průtoků 1971 - 2014 a 2013, Skřemelice -Hoheneich

**Graf č. 16:** Průměrné měsíční průtoky za období 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf

**Graf č. 17:** Průměrné měsíční průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf

**Graf č. 18:** Rozložení odtoku v ročních obdobích,

**Graf č. 19:** Rozložení odtoku v ročních obdobích, Lužnice - Ehrendorf 1971 - 2014

**Graf č. 20:** Průměrné měsíční průtoky za období 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich

**Graf č. 21:** Průměrné měsíční průtoky v roce 2013, Skřemelice - Hoheneich

**Graf č. 22:** Rozložení odtoku v ročních obdobích,

**Graf č. 23:** Rozložení odtoku v ročních obdobích, Lužnice - Ehrendorf 1971 - 2014

**Graf č. 24:** Roční průtoky 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf

**Graf č. 25:** Roční průtoky 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich

**Graf č. 26:** Četnost povodňových průtoků a jejich sezonalita, 1971 - 2014, Lužnice -Ehrendorf

**Graf č. 27:** Četnost povodňových průtoků v ročních obdobích

- Graf č. 28:** Výskyt povodňových rovných a větších než Q2, 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf
- Graf č. 29:** Sezónní výskyt pětiletých a vyšších průtoků
- Graf č. 30:** Sezonalita jednoletých povodní
- Graf č. 31:** Sezonalita dvouletých povodní
- Graf č. 32:** Četnost povodňových průtoků a jejich sezonalita, 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich
- Graf č. 33:** Četnost povodňových průtoků v ročních obdobích
- Graf č. 34:** Výskyt povodňových rovných a větších než Q2, 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich
- Graf č. 35:** Sezonalita pětiletých a větších povodní
- Graf č. 36:** Sezonalita jednoletých povodní
- Graf č. 37:** Sezonalita dvouletých povodní
- Graf č. 38:** Denní úhrny srážek nad povodím Lužnice po profil Ehrendorf a průtoky na stanici Oberlainsitz a Ehrendorf, 30.5.2013 - 17.7.2013
- Graf č. 39:** Denní úhrny srážek nad povodím SKřemelice po profil Hoheneich a průtoky na stanici Altmanns a Hoheneich, 30.5.2013 - 17.7.2013
- Graf č. 40:** Hydrogram povodně na profilech Oberlainsitz a Ehrendorf
- Graf č. 41:** Hydrogram povodně na profilech Altmanns a Hoheneich
- Graf č. 42:** Hydrogram povodně na profilech Hoheneich, Ehrendorf a Nová Ves

## **Mapy**

- Mapa č. 1:** Povodí horní Lužnice
- Mapa č. 2:** Zaplavované plochy v zájmovém povodí při stoletém průtoku
- Mapa č. 3:** Roční srážkové úhrny v zájmovém území
- Mapa č. 4:** Krajinný povrch v povodí horní Lužnice
- Mapa č. 5:** Oblasti chráněné Ramsarskou úmluvou a oblasti součástí CHOPAV
- Mapa č. 6:** Úhrn srážek nad zájmovou oblastí mezi 1. až 3.6.2013



## **Obrázky**

**Obrázek č. 1:** Pramen Lužnice v době velmi

**Obrázek č. 2:** Horní tok Lužnice

**Obrázek č. 3:** Pohled ze svahu Bärensteinu do údolí

**Obrázek č. 4:** Lužnice v horní části údolí Joachimstal

**Obrázek č. 5:** Lužnice a její inundace v obci Oberlainsitz

**Obrázek č. 6:** Údolí Lužnice na modelu reliéfu s dobře viditelným zaříznutým údolím

**Obrázek č. 7:** Balvanité koryto Lužnice v úzkém údolí u obce Anger

**Obrázek č. 8:** Studny v nivě Lužnice

**Obrázek č. 9:** Zemědělsky využívaná niva Lužnice

**Obrázek č. 10:** Balvanitý úsek toku se skalním podložím v Gmündu

**Obrázek č. 11:** Soutok Lužnice (na obrázku přitékající zprava) a Skřemelice

**Obrázek č. 12:** Písečné lavice na březích a v korytě Lužnice v Gmündu

**Obrázek č. 13:** Skřemelice pod obcí Langgeg

**Obrázek č. 14:** Ledová povodeň v Praze roku 1940, která zasáhla i Lužnici

**Obrázek č. 15:** Poškozená hráz Kapelníkova rybníka s vývěrem prosakující vody

**Obrázek č. 16:** Lužnice v dubnu 2014 v lokalitě Benešův mlýn - nízký vodní stav umocněn MVE

## **Tabulky**

**Tab. č. 1:** Údaje o závěrových profilech Ehrendorf a Hoheneich

**Tab. č. 2:** N-leté průtoky na profilech Ehrendorf a Skřemelice

**Tab. č. 3:** m-denní průtoky 1971 - 2014, Lužnice - Ehrendorf

**Tab. č. 4:** m-denní průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf

**Tab. č. 5:** m-denní průtoky 1971 - 2014, Skřemelice - Hoheneich

**Tab. č. 6:** m-denní průtoky v roce 2013, Lužnice - Ehrendorf

**Tab. č. 7:** Denní srážkové úhrny na povodí Lužnice a Skřemelice

**Tab. č. 8:** Indexy extremity průtoku na jednotlivých profilech